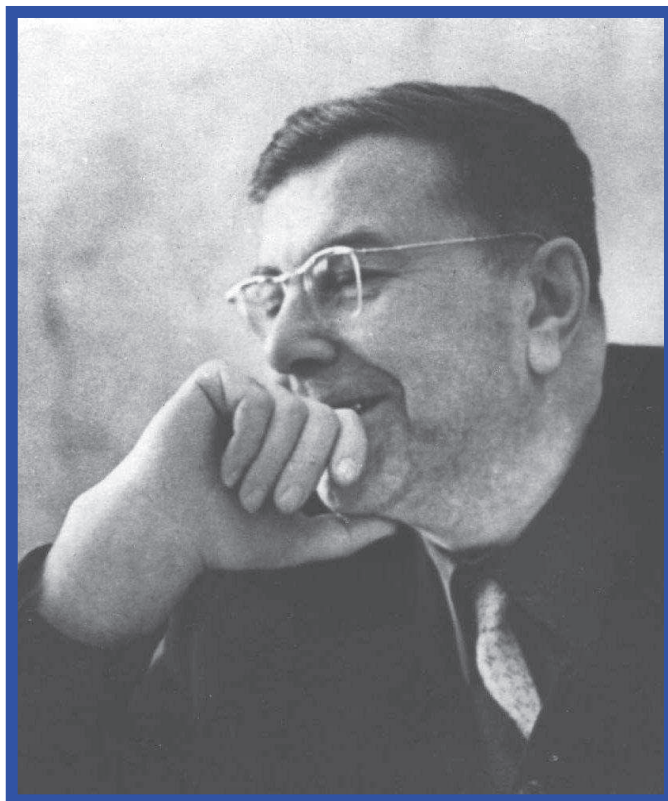


*ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ*

ИНСТИТУТ ГЕОФИЗИКИ им. Ю.П. БУЛАШЕВИЧА



ДЕВЯТЫЕ НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ Ю.П. БУЛАШЕВИЧА

*ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ, ГЕОДИНАМИКА,
ТЕПЛОВОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ,
ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ*

***МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ С
МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ***

18 – 22 сентября 2017 года

г. ЕКАТЕРИНБУРГ

*ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ*

ИНСТИТУТ ГЕОФИЗИКИ им. Ю.П. БУЛАШЕВИЧА

Девятые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича

***ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ,
ГЕОДИНАМИКА,
ТЕПЛОВОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ,
ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ***

**Материалы всероссийской конференции
с международным участием**

Екатеринбург, 2017

УДК 550.83

ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ, ГЕОДИНАМИКА, ТЕПЛОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ, ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ. Девятые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Материалы конференции. Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2017. -491 с.

Приведены материалы докладов, сделанных на Девятых научных чтениях памяти первого директора Института геофизики УрО РАН, члена-корреспондента РАН Ю.П. Булашевича, состоявшихся в Екатеринбурге с 18 по 22 сентября 2017 г.

Представленные материалы посвящены исследованиям, традиционным для творчества Ю.П. Булашевича: геофизические исследования глубинного строения земной коры, геодинамики, теплового поля Земли и интерпретации геофизических полей. Представлены новые научные знания и практические разработки в области глубинного строения и физики твердой Земли, а также новые методы исследований и гипотезы, основанные на новейших геофизических данных.

Сборник представляет интерес для широкого круга специалистов научных и производственных организаций, занимающихся геофизическими и геологическими исследованиями природных и природно-техногенных объектов.

©ИГФ УрО РАН, 2017

ОРГКОМИТЕТ

Беликов В.Т. – д.ф.-м.н., врио директора ИГФ УрО РАН
Барях А.А. – член-корр. РАН, директор ГИ УрО РАН
Белоглазова Н.А. – к.т.н., зав. лабораторией скважинной геофизики ИГФ УрО РАН
Бычков С.Г. – д.г.-м.н., зав. лабораторией геопотенциальных полей ГИ УрО РАН
Вотяков С.Л. – академик, зав. лабораторией физико-химических методов анализа ИГиГ УрО РАН
Глико А.О. – академик, академик-секретарь ОНЗ РАН
Иголкина Г.В. – д.г.-м.н., зав. лабораторией промышленной геофизики ИГФ УрО РАН
Козлова И.А. – к.г.-м.н., зам. директора по научной работе ИГФ УрО РАН
Кусонский О.А. – к.г.-м.н., зав.обсерваторией “Арти” ИГФ УрО РАН
Мартышко П.С. – член-корр. РАН, д.ф.-м.н., зав. лабораторией математической геофизики ИГФ УрО РАН
Начапкин Н.И. – к.г.-м.н., зав. лабораторией региональной геофизики ИГФ УрО РАН
Ратушняк А.Н. – к.т.н., зав. лабораторией электрометрии ИГФ УрО РАН
Сенин Л.Н. – д.т.н., зав. лаборатории сейсмометрии ИГФ УрО РАН
Хуторской М.Д. - д.г.-м.н., заведующий лабораторией тепломассопереноса ГИ РАН
Шестаков А.Ф. – д.ф.-м.н., зав. лабораторией экологической геофизики ИГФ УрО РАН
Юрков А.К. – к.г.-м.н., зав. лабораторией геодинамики ИГФ УрО РАН
Jan Šafanda – доктор, Вице-президент Чешской Академии наук
Magdy Attia – профессор, NRIAG, Египет
Mahmoud Mekawi – Professor, NRIAG, Египет
Said Gaci – профессор, Sonatrach-Division Exploration, Алжир
Yakymchuk N.A. – член-корр НАНУ, ЦММ ИГН НАНУ, Киев.

Секретарь конференции:

Баженова Евгения Анатольевна - м.н.с. ИГФ УрО РАН

Время проведения: 18-22 сентября 2017 года

Место проведения: – Институт геофизики УрО РАН

Адрес Оргкомитета: ул. Амундсена 100

620016 Екатеринбург

Телефон: (343) 267 88 89, 267 88 66

Факс: (343) 267 88 72

Е-mail: conf_bulashevich_2017@mail.ru

Редакционная коллегия:

П.С. Мартышко – член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук

Ю.В. Хачай - доктор физико-математических наук

И.А.Козлова – кандидат геолого-минералогических наук

LAKE ASWAN SEISMICITY, EGYPT

Awad Hassoup

e-mail: awad_hassoup@hotmail.com

Fax: +20225548020

National Research Institute of Astronomy and Geophysics, Cairo, Egypt

Abstract. The hypothesis of reservoir induced seismicity (RIS) is widely investigated over nearly 70 known cases in the world. In most cases, increased seismicity follows the impoundment, large lake-level changes. The classification of Lake Aswan seismicity is still an open question, whether it is reservoir induced seismicity (RIS) or tectonic activity case. The November 14, 1981 $M = 5.7$ is the main shock of 20 km focal depth took place 17 years after- the initial filling of the Lake Aswan in 1964. This event and its aftershocks occurred along the well-defined Kalabsha fault, of 300 km length in the east-west direction, perpendicular to the lake main course, and 60 km south of the Aswan High Dam.

This study presents seismicity –tectonics relationship as an important factor controlling the earthquake activity and the correlation between seismicity temporal variation and water level fluctuations in the Aswan Lake. Sometimes, this seismicity exhibits a swarm series of low magnitude earthquakes and it is characterizing by occurrence of the seismic quiescence periods.

Introduction

The Kalabsha fault passes beneath a large western embayment of Lake Aswan 55 km south of Aswan High Dam (Fig. 1) This area is characterized by well-identified tectonic fault system trending mainly in the east-west (i.e., Kalabsha and Seiyal faults) and north-south (i.e., Khor El-Ramla fault, Kurkur fault, Gazelle fault and Abu Dirwa fault) directions (Issawi, 1969). Several papers have been published describing the Aswan seismicity (e.g., Kebeasy et al., 1987; Hassib, 1997; Awad et al., 2002). Since 1982, the Aswan seismicity is regularly monitored by the Aswan local seismological network.

Seismicity

The continuous operation of the Aswan seismic network since 1982 allowed us to detect few observations such as concentration of seismicity in 6 active zones (Fig. 1). Zone (A) is the active zone and is located along the Kalabsha fault with relatively deep focal depth events (H) ($15 < H < 25$ km). The B, C, D, E and F zones are characterized by shallow seismicity ($H < 10$ km) with concentration along other fault segments in the area.

The June 1987 swarm occurred along a fault segment of 8 km length, abruptly within a relatively quiet period of earthquake activity forming a swarm cluster of 194 shocks of magnitude (M) < 3.7 (Fig. 2). The June 1987 swarm succeeded a seismic quiescence about 5 months from January to May 1987.

The August- December 2004 swarm of with maximum magnitude $M = 4.1$ was clustered at the intersection between the E-W Seiyal and N-S Kurkur faults ~ 40 km southwest the Aswan High Dam (Fig.3). It contains 93 shocks of focal depths range from 2 to 7 km and succeeded a seismic quiescence from April to July 2004.

Abruptly, a swarm sequence occurred on April 12, 2007. It consists of 262 shocks took place over the duration from April 12 to 14, 2007 with maximum $M = 4.2$ along the most eastern segment of the Kalabsha fault (Fig. 4).

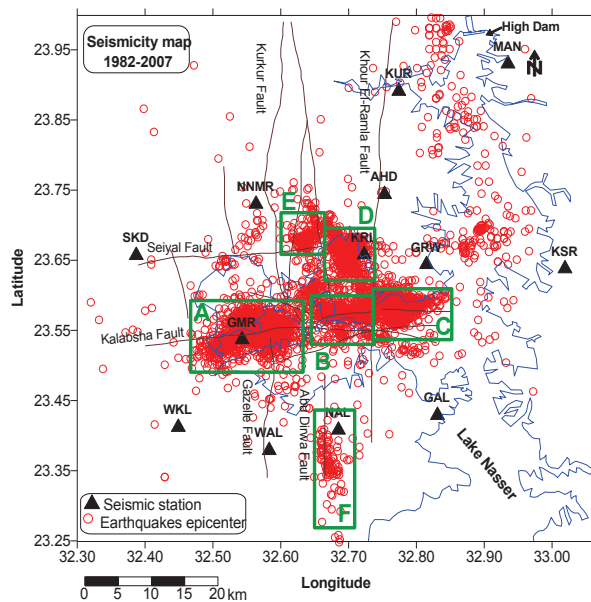


Fig. 1 Seismicity map of Aswan Lake; A, B, C, D, E and F are identified seismic zones.

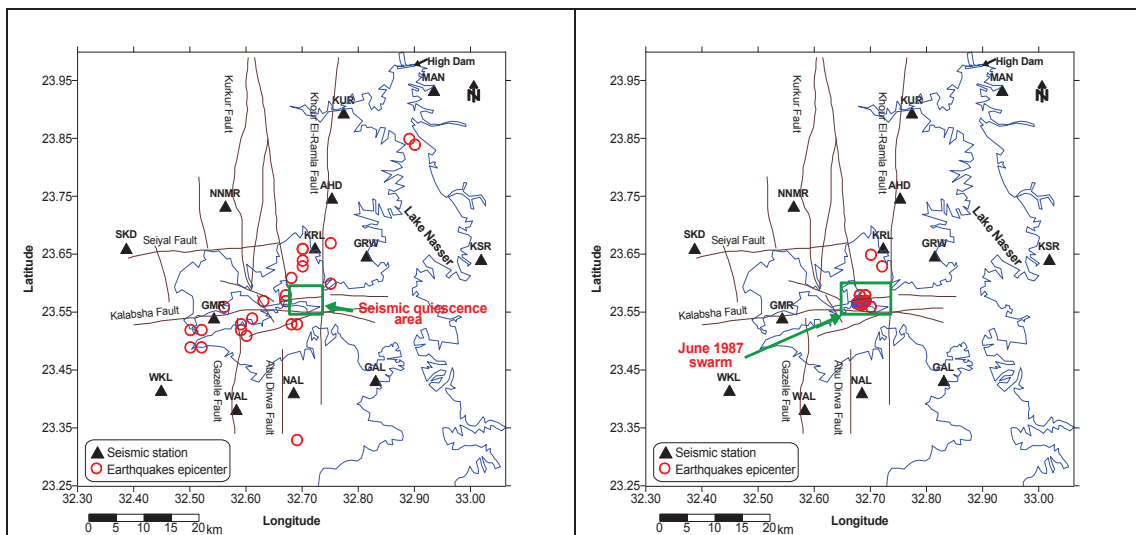


Fig. 2 the June 1987 seismicity swarm that took place within the rectangle

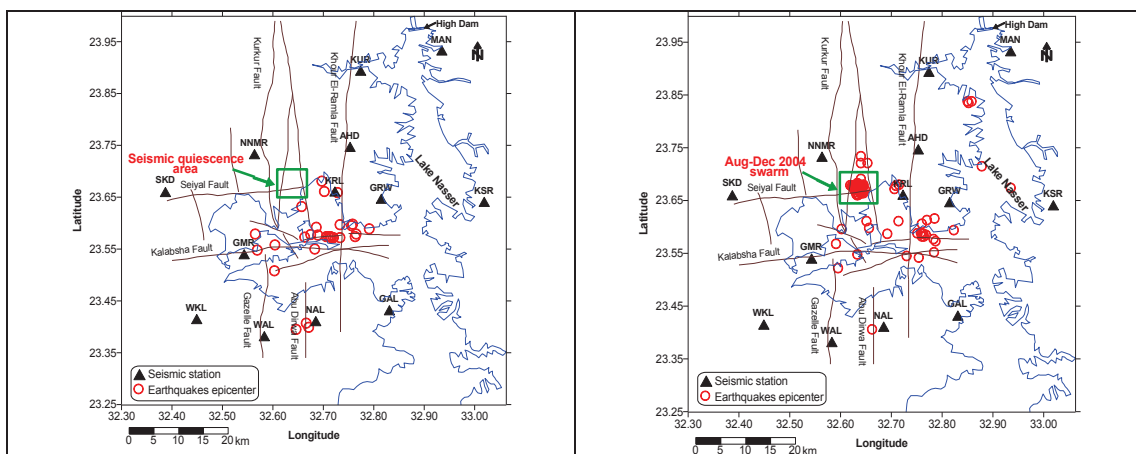


Fig. 3 the August to December 2004 swarm that took place within the square

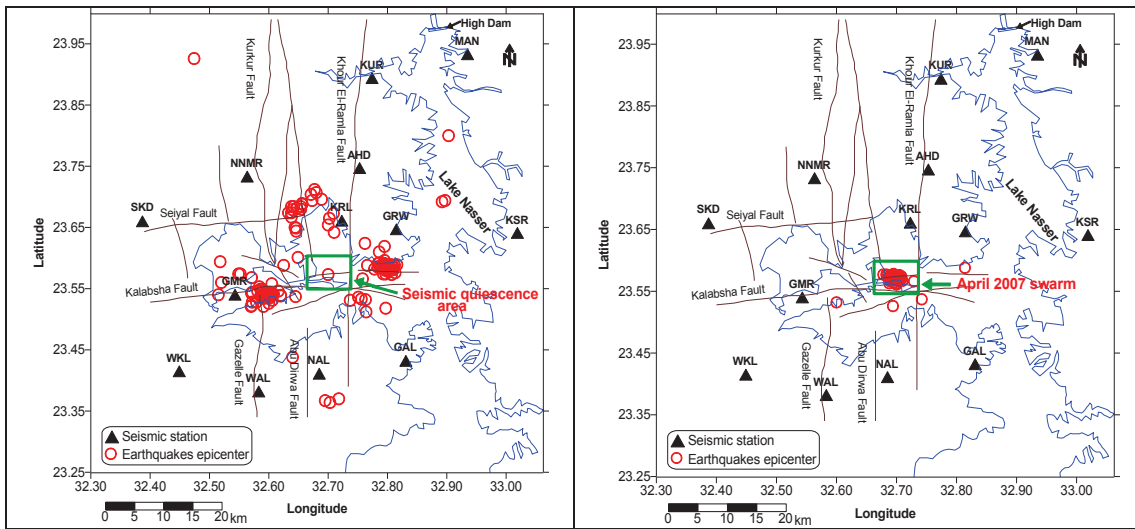


Fig. 4 the April 2007 swarm that took place within the square

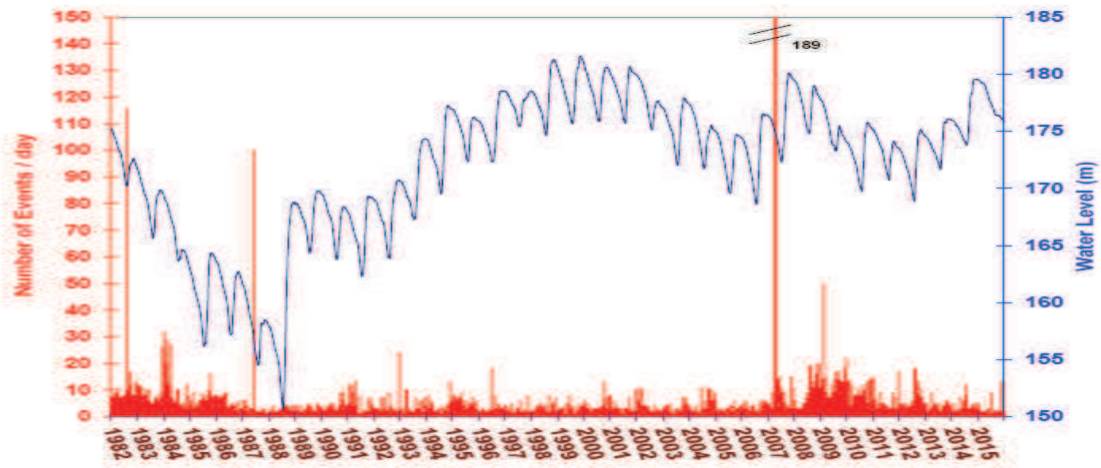


Fig. 5 The Aswan seismicity temporal variations and water level fluctuation in Aswan Lake

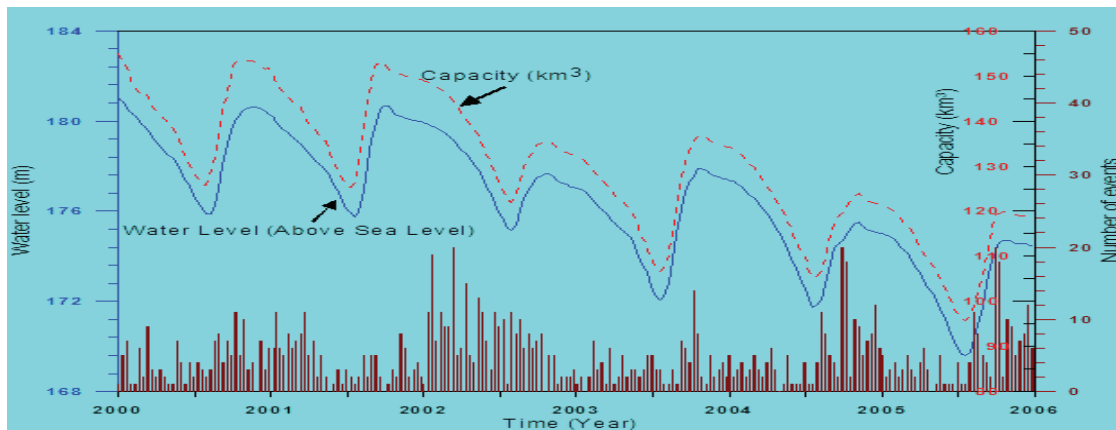


Fig. 6 Seismicity-water level fluctuation correlation in Aswan Lake area.

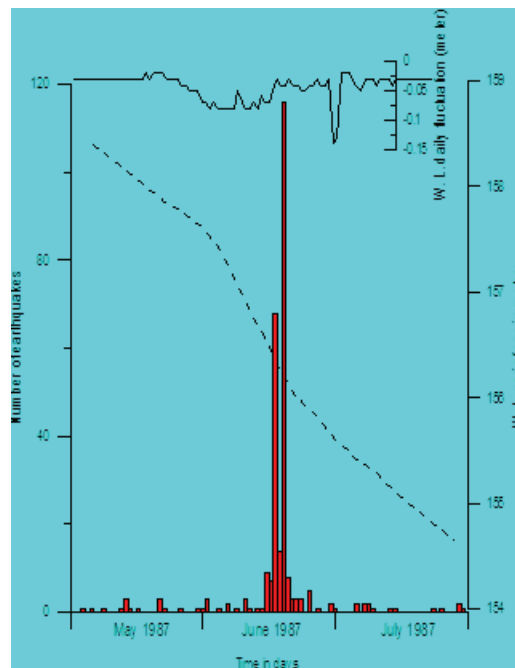


Fig. 7 an abruptly swarm sequence associated with rapid water level change in June 1987

Discussion

Due to High Dam construction in Aswan in 1964, the second largest man-made lake started to fill with extension over 350 km along the old Nile River in Egypt. This area is tectonically occupied by a net of the east-west and north-south faults. The Kalabsha fault is a right-lateral strike-slip fault of the east-west trend and was the source location of 14 November 1981 Aswan earthquake (Fig. 1) (Issawi, 1969; 1982; Kebeasy *et al.*, 1982; Simpson *et al.*, 1990; Awad, 1994). The Seyail fault is another east-west trend located 12 km north of the Kalabsha fault. The area between Kalabsha and Seyail faults is occupied by a graben structure (Awad, 1994). The earthquakes took place also along the N-S faults such Khour El-Ramla and Kurkur faults. Igneous and metamorphic outcrops exist in the area west of the lake and constitute the main geological formation on its eastern side. Based on the spatial and temporal distribution of this seismicity, Awad, (1994); Awad and Mizoue, (1995a) separated into shallow and deep seismic zones. From a three-dimensional structural seismic velocity analysis, Awad (1994) and Awad and Mizoue (1995b) have shown that the shallow and deep seismic zones are characterized by low and high seismic velocity anomalies, respectively. Seismicity of the deep seismic zone exhibits a tight cluster and is characterized by a permanent low level activity since 1984 until now. In contrast, the shallow earthquakes occurred more frequently and were distributed along different fault segments (e.g. Kalabsha, Seyail and Kurkur faults) (Awad, 1994; 2002; Awad and Mizoue, 1995a; Hassib, 1990). Gahalaut and Awad, 2012) concluded that Aswan earthquake activity is strongly influenced by the change in pore pressure due the reservoir acting factors. As the seismogenic faults of the region are stabilized when only stresses due to water load are considered, get destabilized when the effect of pore pressure is included.

An extended sequence of small earthquakes occurred beneath the Aswan Lake during the period from 1982 to 2016 (Fig.5). Its temporal distribution demonstrates seismic quiescence periods and swarms observations. Aswan seismicity was initiated in a small volume of the Kalabsha fault. It covers now wide area in the northern part of Aswan Lake due to its lateral extent and/or seismic activity migration. The tectonic setting of that area supports both mechanisms as the area is occupied by several fault segments performing a conjugate fault system in location such Kalabsha fault zone. Some of these faults are located very close to the High Dam in Aswan are characterized by seismic activity (Fig 1). The swarm earthquakes succeeded seismic quiescence periods are observed in Aswan activity. They demonstrate seismic bursts of large number of small shocks. The

June 1987 and April 2007 swarms occurred along Kalabsha fault and August- December 2004 took place along Seiyal fault. Their locations are well defined at intersection zone between the E-W and N-S fault system (Figs. 2, 3 and 4). Figs (5, 6 and 7) illustrate observed cases of the correlation between the seismicity temporal variations and the Lake water level fluctuations in Aswan.

Conclusions

This study presents some of the seismicity observations in Aswan Lake such: 1) presence of an active tectonic setting; 2) lateral extent of the seismicity; 3) earthquake swarm (clusters) and 4) seismic quiescence.

Acknowledgments

I would like to thank the staff in Aswan Regional Seismological Center for their hard works in collecting the seismological data in Aswan.

References

- Awad, H., 1994, *Investigation of the tectonic setting, seismic activity and crustal deformation in Aswan seismic region, Egypt*, Ph.D. Thesis, Tokyo University
- Awad Hassoup and Megume Mizoue (1995a): Earthquake activity in Aswan seismic region, Egypt. Pure and Applied Geophys. Vol. 145, No. 1, 69-86
- Awad, H. and Mizoue, M. (1995b); Tomographic inversion for the 3-dimensional structure of the Aswan region, Egypt, Pure Appl. Geophys 145, 1, 193-207
- Awad, H., A., G. Hassib and S.Dahy (2002); Seismicity of the lake Aswan area ,Egypt between 1991-1999, Acta Geophysica Polonica, vol. 50, No.3, 361-372
- Kalpna Gahalaut and Awad Hassoup, (2011); Role of fluids in the earthquake occurrence around Aswan reservoir, Egypt, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, Vol., 117, B. 2303, 13, pp., 2012.
- Hassib, G. H. (1997), A study on the earthquake mechanics around the High Dam Lake, Aswan, Egypt, Ph. D. Thesis, Faculty of Science, Sohag, South Valley University.
- Issawi, B. (1969), The geology of Kurkur-Dungle area General Egyptian organization for Geological Research and Mining, paper No. 46, p. 102, Cairo.
- Issawi, B., 1982, *Geology of the southwestern desert of Egypt*, Ann. Geol. Survey Egypt
- Kebeasy, R. M., M. Maamoun, E. Ibrahim, A. Megahed, D. W. Simpson and W. S. Leith (1987); Earthquake studies at Aswan reservoir, J. of Geodynamics, 7, 173-193
- Simpson, D.W., A.A. Gharib and R.M. Kebeasy, 1990, *Induced seismicity and changes in water level at Aswan reservoir, Egypt*, Gerlans. Beitr. Geophysik Leipzig 99, 191-204

A NEW TECHNIQUE FOR ESTIMATING S-WAVE VELOCITY COMBINING EMPIRICAL MODE DECOMPOSITION AND MULTILAYER PERCEPTRON NEURAL NETWORKS

Said Gaci

E-mail: said.gaci@iap.dz; said_gaci@yahoo.com

Sonatrach- IAP, Avenue 1er Novembre, Boumerdes (35000), Algeria.

Abstract. The consistency of oil/gas reservoirs characterization depends on the availability of data (well logs, seismic data, etc.). In this view, P- and S-wave velocity well logs (V_p and V_s) are a key input in this process.

In practice, V_s log data are not available at all the boreholes. They are, therefore, estimated (or predicted) using V_p measurements. Due to the complexity of this procedure, conventional prediction techniques fail to apprehend non-stationarity and non-linear properties of V_s and to precisely calculate it. This study aims at suggesting a forecast model combining Hölderian regularity, empirical mode decomposition (EMD), and a multiple layer perceptron artificial neural network (MLP ANN) to estimate V_s from V_p .

Firstly, it is demonstrated that for any borehole, the regularity logs (or the Hölder exponent profiles) computed from both velocity logs V_p and V_s) show a strong correlation. The regularity is then a significant attribute of lithology, and can be used as an additional input for neural network models.

Secondly, EMD is implemented to decompose V_p log data into a collection of intrinsic mode functions (IMFs). Then, using the regularity-based fine-to-coarse reconstruction algorithm, the obtained IMFs are exploited to create a high frequency (HF) component, a low frequency (LF) component and a trend component.

Thirdly, the MLP ANN algorithm is employed to predict V_s log from V_p log taking into consideration four combinations in inputs: a) merely V_p log, b) V_p and its regularity H_p log; c) V_p log, and (HF, LF and trend) components, and finally, d) V_p , H_p , and (HF+LF+trend) components. For training and testing, the suggested MLP ANN model used V_p log data recorded at the main KTB borehole (KTB-HB). Afterwards, it is exploited to estimate V_s log from V_p log measured at the pilot KTB borehole (KTB-VB).

Our findings reveal that the MLP ANN with the 4th input combination leads to the most precise predicted V_s values. This is to conclude that the MPL ANN taking into account in input: P -wave velocity log, its Hölderian regularity log, and the 3 components derived from the fine-to-coarse reconstruction algorithm, is an efficient tool for predicting S -wave velocity.

Results and discussion

The dataset used in this study is composed of: the P- and S-wave velocity recorded at the pilot and main boreholes (in short, VB and HB respectively), drilled in the frame of the German Continental Deep Drilling Program (KTB) (Figure 1).

The boreholes site is situated in eastern Bavaria (Oberpfalz, Germany). The wells cross the crystalline metamorphic rocks of a Hercynian continental collision zone. From a lithological point of view, this area contains three main types of rocks: paragneisses, metabasites and alternations of gneiss and amphibolites.

The MLP ANN model is trained and tested on the main KTB borehole (KTB-HB) log data, and then used to predict the V_s velocity log from the V_p log recorded at the pilot KTB borehole (KTB-VB).

Here, four input combinations are used to predict V_s logs from V_p logs with MLP ANN:

- Case 1: V_p log;
- Case 2: V_p log and its associated regularity (H_p) log;
- Case 3: V_p and the three components obtained from the EMD and the regularity-based fine-to-coarse reconstruction algorithms (HF, LF and trend)

- Case 4: V_p , H_p and HF, LF and trend components;

The predicted V_s log from V_p log at the KTB-VB borehole related to the four studied cases are illustrated in Figure 2. Here, the mean square error (MSE) value is the main criterion used to assess the prediction performance. The obtained MSE values, expressed in $(\text{m/s})^2$, corresponding to cases 1, 2, 3 and 4 are 73765, 113320, 63773 and 56749, respectively. As can be noted, the highest degree of the prediction accuracy is yielded in case 4. For comparison purposes, V_s values are estimated using the formulae proposed by Castagna et al. (1985), Han (1986), and Mavko et al. (1998). The obtained MSE values, expressed in $(\text{m/s})^2$, are $6.6326 \cdot 10^{10}$, $3.7956 \cdot 10^{10}$ and $3.6536 \cdot 10^{10}$, respectively. The MLP ANN prediction using the four-input selection surpasses the other techniques.

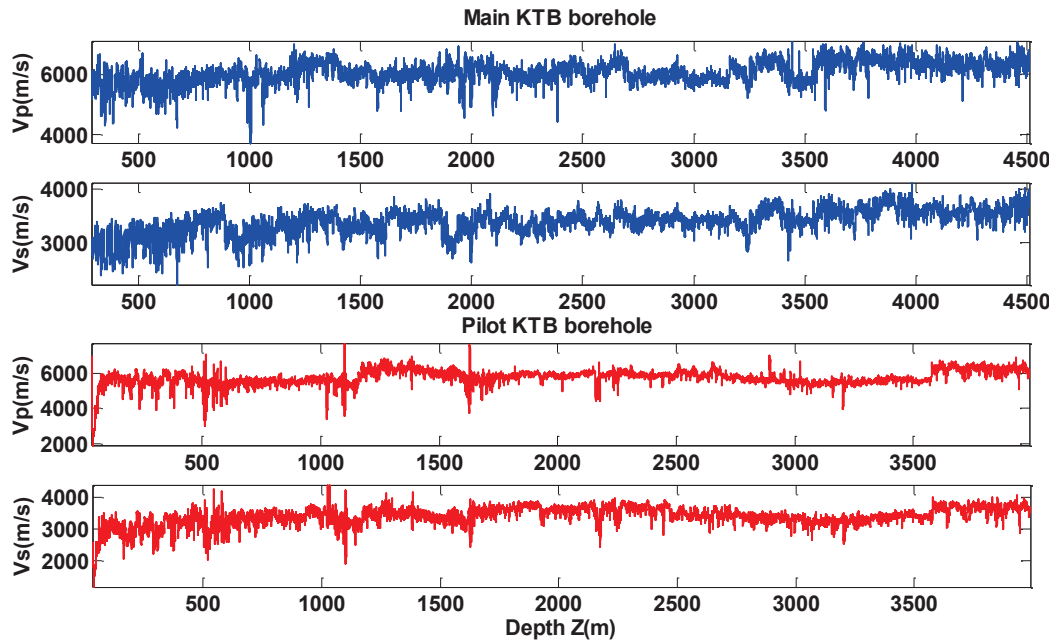


Fig. 1. P- and S-seismic wave velocity logs (V_p and V_s) recorded at well KTB-HB (top, in blue) and KTB-VB (bottom, in red).

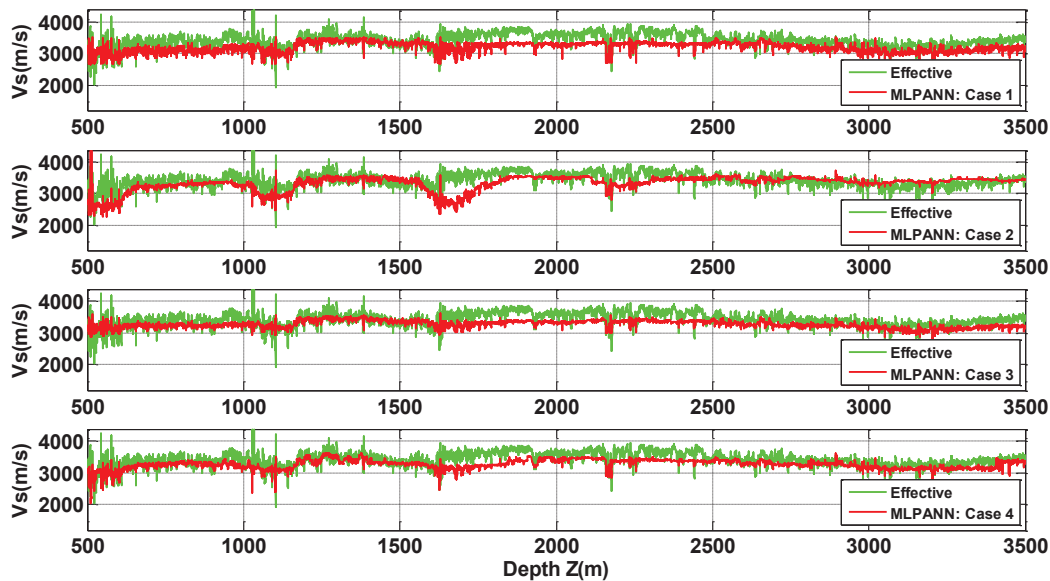


Fig. 2. Estimations of S-seismic wave velocity (V_s) log at well KTB-VB using the dataset related to well KTB-HB corresponding to the four considered cases. In red: MLP ANN predicted V_s ; in green: effective V_s log recorded at well KTB-VB.

References

- Antcil, F. & Lauzon, N. (2004) Generalization for neural networks through data sampling and training procedure, with applications to stream flow predictions. *Hydrology and Earth System Science*, 8(5), 940-958.
- Bekara, M., & Van der Baan, M. (2009) Random and coherent noise attenuation by empirical mode decomposition. *Geophysics*, 74 (5), V89–V98, doi:10.1190/1.3157244.
- Calderón-Macías, C., Sen, M. & Stoffa, P. (2000) Neural networks for parameter estimation in geophysics. *Geophysical Prospecting*, 48, 21-47.
- Castagna, J., Batzle, B. & Eastwood, R. (1985) Relationships between compression-wave and shear-wave velocities in elastic silicate rocks. *Geophysics*, 50, 571–581.
- Castagna, J., Batzle, M. & Kan, T. (1993) Rock physics – The link between rock properties and AVO response. In Castagna, J. P. & Backus, M. (eds.) *Offset-dependent reflectivity - Theory and practice of AVO analysis*, Investigations in Geophysics, 8, 135–171.
- Chen, S. & Billings, S. (1992) Neural networks for non-linear dynamic systems modeling and identification. *International Journal of Control*, 56, 319-346.
- Chen, S., Cowan, C. & Grant, P. (1991) Orthogonal least squares learning algorithm for radial basis function networks. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 2 (2), 302-309.
- Cersosimo, D. & Wanliss, J. (2007) Initial studies of high latitude magnetic field data during different magnetosphere conditions. *Earth, Planets and Space*, 59 (1), 39-43.
- Chiew, F., Peel, M., Amirthanathan, G. et al. (2004) Identification of oscillations in historical global stream flow data using empirical decomposition. *Proc. 7th IAHS Scientific Assembly-Symposium on Regional Hydrological Impacts of Climate Variability and Change with an Emphasis on Less Developed Countries, Foz do Iguacu, Brazil*.
- De Vos, N. & Rientjes, T. (2005) Constraints of artificial neural networks for rainfall-runoff modeling: trade-offs in hydrological state representation and model evaluation. *Hydrology and Earth System Science*, 7(5), 693-706.
- Frayssinet, D., Thiria, S., Badran, F. et al. (2000) Use of neural networks in log's data processing: prediction and rebuilding of lithological faces. *Petrophysics Meets Geophysics - Paris, France*, 6–8 November 2000.
- Gaci, S. (2014a) On modeling oil borehole logs using local fractal processes: A case study from Algeria. In: *Advances in Data, Methods, Models and Their Applications in Oil/Gas Exploration, Gaci and Hachay edition*, 2014, Chapter 6, 225-253.
- Gaci, S. (2014b) A multi-scale analysis of Algerian oil borehole logs using the empirical mode decomposition. In: *Advances in Data, Methods, Models and Their Applications in Oil/Gas Exploration, Gaci and Hachay edition*, 2014, Chapter 7, 255-276.
- Gaci, S. (2014c) A Hilbert-Huang transform-based analysis of heterogeneities from borehole logs. In: *Advances in Data, Methods, Models and Their Applications in Oil/Gas Exploration, Gaci and Hachay edition*, 2014, Chapter 8, 277-295.
- Gaci, S. & Zaourar, N. (2010) A new approach for the investigation of the local regularity of borehole wire-line logs. *J. Hydrocarbon. Mines Environ. Res.*, 1(1), 6-13.
- Gaci, S. & Zaourar, N. (2014a) A new regularity-based algorithm for analyzing Algerian airborne spectrometric measurements. *Proc. EGU 2014, Energy Procedia*, 59, 36–43.
- Gaci, S. & Zaourar, N. (2014b) On exploring heterogeneities from well logs using the empirical mode decomposition. *Proc. EGU 2014, Energy Procedia*, 59, 44–50.
- Gaci, S., Zaourar, N., Hamoudi, M. et al. (2010) Local regularity analysis of strata heterogeneities from sonic logs. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 17, 455-466. Available from: www.nonlin-processes-geophys.net/17/455/2010/doi:10.5194/npg-17-455-2010.
- Gloersen, P. & Huang, N. (2003) Comparison of inter annual intrinsic modes in hemispheric sea ice covers and others geophysical parameters. *IEEE Trans. Geosciences and Remote Sensing*, 41 (5), 1062–1074.
- Goutorbe, B., Lucazeau, F. & Bonneville, A. (2006) Using neural networks to predict thermal conductivity from geophysical well logs. *Geophysical. J. Int.*, 166, 115–125.

- Han, D. (1986) *Effects of porosity and clay content on acoustic properties of sandstones and unconsolidated sediments*. Ph.D. thesis, Stanford University.
- Han, J. & Van der Baan, M. (2011) Empirical mode decomposition and robust seismic attribute analysis. *CSPG CSEG CWLS Convention*, 114.
- Huang, N. (2005) Hilbert-Huang transform and its applications. Ch. 1. *Introduction to the Hilbert-Huang transform and its related mathematical problems*, World Scientific, pp. 1-26.
- Huang, N., Shen, Z. & Long, R. (1999) A new view of nonlinear water waves — the Hilbert spectrum. *Ann. Rev. Fluid Mech.*, 31, 417–457.
- Huang, N., Shen, Z., Long, S. et al. (1998) The empirical mode decomposition method and the Hilbert spectrum for non-stationary time series analysis. *Proc. Roy. Soc. London*, 454A, 903–995.
- Mandelbrot, B. & Van Ness, J. (1968) Fractional Brownian motion, fractional noises and applications. *SIAM Rev.*, 10, 422–437.
- Nayebi, M., Khalili, D., Amin, S. et al. (2006) Daily stream flow prediction capability of artificial neural networks as influenced by minimum air temperature data. *Biosystems Engineering*, 95(4), 557-567.
- Peltier, R. & Lévy-Véhel, J. (1994) *A New Method for Estimating the Parameter of Fractional Brownian Motion*. INRIA, RR, 2396.
- Pickett, G. (1963), Acoustic character logs and their applications in formation evaluation. *Journal of Petroleum Technologies*, 15, 650–667.
- Wang, K. (2005) *Applied Computational Intelligence (CI) in Intelligent Manufacturing Systems (IMS)*. Australia, Advanced Knowledge International.
- Williams, D. (1990) Acoustic log hydrocarbon indicator. *Society of Petrophysicists and Well Log Analysts, 31st Logging Symposium, Paper W*.

УДК 622.014.2: 550.835.41

ЯДЕРНО–ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ «ON–LINE» КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИСХОДНОЙ РУДЫ НА ЖЕЗКАЗГАНСКИХ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИКАХ

*Абдрахманова Зауре Толегеновна, Шаханов Амирхан Мухитжанович,
Ефименко Сергей Анатольевич
serg_yef@mail.ru*

ТОО «Корпорация Казахмыс», г. Караганда, Казахстан

Аннотация: Представлена новая технология многокомпонентного «on-line» контроля руд, поступающих на переработку на жезказганские обогатительные фабрики ТОО «Корпорация Казахмыс», с использованием энергодисперсионных рентгенофлуоресцентных рудоконтролирующих станций РЛП–21Т. Приведены технические характеристики станций РЛП–21Т. Обсуждены результаты стендовых и производственных испытаний станций РЛП–21Т.

NUCLEAR GEOPHYSICAL TECHNOLOGIES OF «ON–LINE» QUALITY CONTROL OF ORIGIN ORE AT ZHEZKAZGAN ORE–PROCESSING FACTORIES

*Zaure Abdrakhmanova, Amirkhan Chakhanov, Sergei Yefimenko
serg_yef@mail.ru*

«Corporation Kazakhmys» LLC, Karaganda, Kazakhstan

Abstract: A new technology of multi-component "on-line" control of ores entering processing for Zhezkazgan ore-processing factories of LLP "Corporation Kazakhmys" is presented, using energy dispersive X-ray fluorescent ore control stations of RLP-21T. The technical characteristics of the RLP-21T stations are given. The results of bench and production testing of the RLP-21T stations are discussed.

Настоящая работа является логическим продолжением работ 2015 года, достаточно подробно обсужденных в работах [1, 2]. Поэтому нет необходимости повторять исходную информацию по техническим характеристикам Жезказганских обогатительных фабрик № 1 и № 2 (ЖОФ–1, ЖОФ–2) Обогаительно–производственного комплекса Филиала ТОО «Корпорация Казахмыс» – ПО «Жезказганцветмет» (ОПК), по вещественному составу руд, поступающих на переработку, по производственной актуальности задачи исследований.

Успешный опыт производственного применения рудоконтролирующей станции (РКС) РЛП–3–02 (ООО «Геотех», С–Пб, Россия) на тяжелом конвейере № 1А комплекса дробления КД–1 ЖОФ–1 (с внедрением этой РКС был упразднен пункт опробования руды ОТК на конусной дробилке крупного дробления типа ККД 900/160), а также острая производственная необходимость в получении в «on-line» режиме достоверной информации о содержании серебра в руде, поставляемой Горно–производственным комплекса Филиала ТОО «Корпорация Казахмыс» – ПО «Жезказганцветмет» (ГПК), побудили руководство ГПК распространить «on-line» контроль качества руд на три оставшихся тяжелых конвейера.

Актуальность данного решения: во–первых, охватить «on-line» контролем весь объем руды, поставляемой ГПК на ЖОФ–1 и ЖОФ–2; во–вторых, аргументировано отстаивать интересы ГПК перед фабриками в случаях больших расхождений содержаний меди и серебра по данным РКС и слива гидроциклонов ЖОФ–1 и ЖОФ–2; в–третьих, более справедливо распределять металл (Ag, Cu), извлеченный ЖОФ–1 и ЖОФ–2 в медный концентрат, между поставщиками руды.

Подчеркнем, что реализация в полном объеме задумок руководства ГПК могла быть осуществлена только в случае, если новые РКС обеспечат высокую достоверность многоэлементного «on-line» контроля вещественного состава исходной руды: серебро (в

первую очередь), медь, цинк, свинец, кадмий и железо. Мировой же опыт применения энергодисперсионных рентгенофлуоресцентных РКС свидетельствует: на рудах класса – 300 мм и низких (5 – 20 ppm) нет положительных решений.

Так как РКС РЛП–3–02 с задачами по серебру и кадмию однозначно не справилась бы, то было решено привлечь ТОО «Аспап Гео» (Алма–Ата, Казахстан) – казахстанского лидера по производству ядерно–геофизической аппаратуры «on–line» контроля качества полиметаллических руд и давнего (с 1994г.) делового партнера ТОО «Корпорация Казахмыс». В очень сжатые сроки РКС были разработаны, изготовлены, поставлены и с октября 2016г. по январь 2017г. запущены в работу на КД–1 ЖОФ–1 и КД–2 ЖОФ–2 три РКС РЛП–21Т (рис. 1, 2). Так как все РКС установлены до электромагнитов, то особое внимание было уделено защите РКС от ударов металла, находящегося в руде.

Основными конструктивными элементами РКС РЛП–21Т являются: рентгеновская трубка – VF–50J/W/S; высоковольтный источник питания – uX50P50/XCC; полупроводниковый детектор – XR–100SDD X–Ray Detector; ультразвуковой датчик расстояния – MaxBotix MB7067; термоэлектрический модуль – Laird Technologies AA–150–24–44–00–XX; майларовая пленка толщиной не более 20 мкм. РКС оборудованы многочисленными датчиками для самодиагностики. Информация обо всех параметрах РКС выдается как в виде подробного отчета, так и в виде краткого отчета. Инновационную информацию дает отчет за смену по конвейеру: сколько конвейер стоял (с рудой и без руды), сколько находился в движении (с рудой и без руды). Программное обеспечение предусматривает ведение электронного «Журнала событий на РКС», в котором фиксируются все события, включая все случаи ударов металла по РКС или по её защите [3]..



Рис. 1. РКС РЛП–21Т на конвейерах №1 (слева) и № 2 (справа) КД–2 ЖОФ–2. Общий вид РКС РЛП–21Т



Рис. 2. РКС РЛП–21Т на конвейере № 1А и РКС РЛП–3–02 на конвейере № 1

В методическом и программном обеспечении РКС РЛП–21Т, как и во всей продукции ТОО «Аспап Гео», реализован базовый принцип фирмы: месторождения разные, исходная руда, продукты обогатительного передела разные – градуировка одна. Это позволило реализовать равноточность измерений всех фракций крупности исходной руды.

Инновационный подход проявился и в том, что вторичные рентгеновские спектры измеряются каждую секунду. Это позволило контролировать небольшие порции руды (0,69т) и, следовательно, более точно определять средние содержания элементов по составам. Содержания серебра и кадмия выдаются по 40 спектрам, меди, цинка, свинца и железа – по 20 спектрам. АРМ «Весы» и АРМ РКС объединены в единое целое. Результаты «on–line» контроля качества руд сейчас доступны любому пользователю корпорационной сети.

РКС РЛП–21Т выдает на экран монитора динамику (в виде графика) загрузки конвейера рудой. В конвейерной ленте содержится цинк. Когда лента идет пустая, то эти временные интервалы исключаются из обработки. В случае остановки конвейера измерения

продолжаются, но измерения на стоящем конвейере исключаются из расчета средних содержаний элементов по составу.

Разработана, апробирована и широко используется оптимальная схема контроля за параметрами РКС (измерения на пустой ленте конвейера, калибровка на контрольном образце, измерение эталонной порошковой пробы руды в противне больших размеров).

Обсудим результаты комплекса исследований, выполненных как в процессе стендовых испытаний РКС, так и непосредственно на тяжелых конвейерах ЖОФ–1 и ЖОФ–2.

Расстояние от РКС до руды на ленте конвейера определяется двумя способами: а) ультразвуковым датчиком расстояния (основной); б) по величине рассеянного излучения рентгеновской трубки. Сходимость результатов оценки расстояния обеими способами показана в таблице 1. Исследованиями доказано, что оба метода дают близкие результаты. Это подтверждает высокую эффективность используемого математического аппарата РКС.

Таблица 1. Сходимость расстояний, определенных ультразвуковым датчиком (УЗВД) и по рассеянному излучению рентгеновской трубки (РИ)

Метод	Расстояние «датчик–проба», см										
	22	27	32	37	42	47	52	57	62	67	72
УЗВД	22,00	27,31	32,65	37,38	41,00	45,63	52,18	58,77	64,22	68,11	71,35
РИ	22,00	27,31	32,65	37,38	41,00	45,63	52,18	58,77	64,22	68,11	71,35

В таблице 2 приведены данные о динамике изменения содержаний Cu, Zn, Pb, Ag, Cd, Fe в одной из порошковых эталонных проб в зависимости от высоты подвески РКС. Измерения проведены на стадии стендовых испытаний. Проба насыпалась в железный противень большого размера, высота насыпки пробы в противне выдерживалась одинаковой по всей его площади. Противень с пробой мог перемещаться по вертикали. Исследованиями доказано, что работа РКС РЛП–21Т мало зависит от высоты зазора «датчик – поверхность пробы». Именно это обстоятельство считается главным камнем преткновения для большинства РКС, анализирующих крупно кусковую руду. Рабочая высота подвески РКС РЛП–21Т выбрана равной 72 см (до нижней точки прогиба ленты не загруженного рудой конвейера).

В таблице 3 приведены результаты стендовых испытаний РКС РЛП–21Т на эталонных пробах при экспозиции измерений на каждой пробе 300 секунд и высоте подвески РКС 72 см. Всего было проанализировано 18 эталонных проб (в таблице 3 приведены результаты по 11 пробам). Все пробы предварительно были проанализированы в Центральной химической лаборатории ПО «Жезказганцветмет». Сходимость результатов РКС и химии по всем элементам хорошая.

В таблице 4 сравниваются текущие результаты работы РКС РЛП–21Т на конвейере № 1 КД–2 ЖОФ–2 с данными вагонного опробования ОТК за период с 14 по 25 октября 2016г. по поставщикам. Столь небольшой период взят из соображений оптимизации размера текста данной работы. Аналогичные результаты получены и по остальным двум РКС РЛП–21Т. Исследованиями доказано, что РКС РЛП – 21Т обеспечивает высокий уровень достоверности определения содержаний всех элементов.

Таблица 2. Динамика изменения содержаний элементов в эталонных пробах в зависимости от высоты подвески РКС РЛП–21Т

Высота,	Cu, %	Zn, %	Pb, %	Ag, ppm	Cd, ppm	Fe, %
22	0,778	0,613	0,556	10,96	24,38	6,30
27	0,778	0,608	0,547	10,28	22,72	6,20
32	0,763	0,623	0,556	9,71	22,06	6,07
37	0,788	0,620	0,561	12,18	24,23	5,97
42	0,791	0,625	0,563	10,37	23,79	6,01
47	0,771	0,630	0,567	10,68	25,81	5,96
52	0,776	0,609	0,559	12,18	24,92	6,05
57	0,753	0,602	0,553	10,04	23,17	5,82
62	0,733	0,617	0,540	10,22	24,67	6,08
67	0,784	0,633	0,548	11,08	23,07	6,16

72	0,785	0,617	0,545	10,86	23,02	6,17
Среднее	0,773	0,618	0,554	10,78	23,80	6,07

Таблица 3. Результаты измерения эталонных проб с помощью РКС РЛП–21Т

№№ п/п	Cu, %		Ag, ppm		Cd, ppm		Zn, %		Pb, %		Fe, %	
	х/а	РКС	х/а	РКС	х/а	РКС	х/а	РКС	х/а	РКС	х/а	РКС
25	0,60	0,59	5,9	4,39	6	5,88	0,1	0,12	0,17	0,18	2,70	2,79
8	0,67	0,68	12,1	12,33	5	6,40	0,08	0,08	0,05	0,03	2,91	2,91
4	0,69	0,70	13,4	15,82	4	5,52	0,03	0,03	0,05	0,06	2,85	2,82
7	0,70	0,76	15,9	14,76	4	3,36	0,03	0,03	0,06	0,07	2,83	2,81
14	0,77	0,70	11,2	12,33	5	3,89	0,08	0,07	0,05	0,06	3,11	3,03
13	0,77	0,76	14,4	13,48	3	3,02	0,02	0,02	0,05	0,06	3,18	3,11
16	0,81	0,80	12,2	13,98	3	2,26	0,03	0,02	0,13	0,14	3,14	3,09
19	0,85	0,87	14,8	16,43	21	25,84	0,21	0,21	0,07	0,09	3,08	2,97
17	0,88	0,89	11,9	12,45	10	9,29	0,14	0,13	0,05	0,05	3,26	3,17
20	1,00	1,06	21,4	22,32	14	15,78	0,15	0,15	0,07	0,08	2,83	2,92
1	1,13	1,14	12,3	13,04	34	32,26	0,26	0,24	0,18	0,17	2,83	2,86
2	1,23	1,18	12,2	10,94	37	41,44	0,07	0,05	0,20	0,19	2,83	2,78
23	2,65	2,66	37,5	37,95	26	24,28	0,34	0,33	0,34	0,33	2,66	2,68
22	2,68	2,56	40,0	39,09	18	16,72	0,26	0,25	0,22	0,23	2,70	2,74
Ср.	1,10	1,10	16,80	17,09	13,57	13,00	0,13	0,12	0,12	0,12	2,92	2,91

Таблица 4. Сопоставление содержаний металлов в руде, прошедшей по конвейеру № 1 КД – 2 ЖОФ – 2 , по данным РКС РЛП – 21Т и вагонного опробования ОТК за период с 14 по 25 октября 2016 года

Поставщик	Cu, %		Ag, ppm		Cd, ppm		Zn, %		Pb, %		Fe, %	
	х/а	ркс	х/а	ркс	х/а	ркс	х/а	ркс	х/а	ркс	х/а	ркс
шх. 57	0,75	0,74	9,95	9,40	5,56	4,83	0,034	0,031	0,016	0,013	3,10	2,97
шх. 736	0,73	0,70	17,89	17,73	3,57	3,68	0,026	0,032	0,052	0,049	3,01	2,98
шх. Анн.	0,89	0,85	17,57	15,50	17,23	16,82	0,117	0,101	0,050	0,046	2,77	2,73
зап. порт.	0,64	0,63	9,41	8,93	2,68	3,75	0,008	0,013	0,007	0,009	2,99	3,11
кресто ц.	1,09	1,14	11,44	14,14	3,94	4,48	0,004	0,013	0,011	0,009	3,08	3,17
шх. 65гл	0,66	0,67	14,26	15,18	2,88	4,09	0,013	0,011	0,040	0,032	2,73	2,72
шх. 67	0,67	0,70	14,31	13,98	6,29	5,28	0,008	0,010	0,178	0,167	3,02	2,96
кресто 7	2,61	2,58	37,44	36,23	3,54	3,72	0,021	0,025	0,049	0,064	2,74	2,80
Среднее	1,00	1,00	16,53	16,39	5,71	5,83	0,029	0,030	0,050	0,049	2,93	2,93

В таблице 5 сравниваются среднесуточные содержания меди и серебра по РКС РЛП–21Т на конвейере № 1 КД–2 ЖОФ–2 с данными слива классификатора ГК–2 ЖОФ–2 за период с 15 по 25 октября 2016 года. Аналогичные таблицы сравнений есть по конвейеру № 2 КД–2 ЖОФ–2 и конвейеру № 1А КД–1 ЖОФ–1. Расхождения в этих таблицах такого же порядка, что и в таблице 5. Таким образом, проведенными исследованиями доказано, что конструктивные, методические и математические решения, заложенные в РКС РЛП – 21Т, обеспечивают в полном объеме решение задачи, заявленной в начале данной работы: РКС РЛП – 21Т уверенно справляются с поставленной аналитической задачей при крупности руды от 0 до 300 мм и низких содержаниях серебра в рудах.

В таблице 6 сравниваются среднемесячные содержания меди и серебра по РКС РЛП–21Т на конвейерах №1 и №2 и слива классификатора ГК–2 ЖОФ – 2 с начала 2017 года. Доказано, что: а) сходимость среднемесячных содержаний меди и серебра на крупнокусковой руде класса – 300 мм хорошая; б) представительность данных опробования исходной руды выше, чем при традиционной системе ОТК; в) «on-line» контроля исходной руды реализован в полной мере. Все это позволило ликвидировать пункт опробования ОТК на конусной дробилке типа ККД 1500/1800 КД–2 ЖОФ–2.

Таблица 5. Среднесуточные содержания меди и серебра по данным РКС РЛП – 21Т и слива классификатора ГК–2 ЖОФ–2 за период с 15 по 25 октября 2016 года

Число	Cu, %	Ag, ppm
-------	-------	---------

октября 2016г	ОТК	РКС	ОТК	РКС
15	0,83	0,82	16,30	14,86
16	0,88	0,88	14,90	16,65
17	0,90	0,99	14,80	14,73
18	0,86	0,88	15,30	16,10
19	0,92	0,98	14,10	15,51
20	0,87	0,77	14,90	11,97
21	0,72	0,71	12,40	12,89
22	0,79	0,75	14,00	12,47
23	0,69	0,70	10,70	11,51
24	0,80	0,80	13,40	13,72
25	0,83	0,84	12,80	12,92
Среднее	0,826	0,829	13,96	13,94

Таблица 6. Среднемесячные содержания меди и серебра по данным РКС РЛП–21Т и слива классификатора ГК–2 ЖОФ–2

Месяц 2017г.	Cu			Ag		
	ОТК, %	РКС, %	σ , %	ОТК, ppm	РКС, ppm	σ , %
Январь	0,701	0,720	2,71	11,64	11,94	-2,58
Февраль	0,772	0,741	4,02	12,09	12,38	-2,40
Март	0,737	0,743	0,81	11,31	11,82	-4,51
Апрель	0,751	0,781	3,99	13,35	13,45	-0,75
Май	0,738	0,723	2,03	12,47	12,30	1,36
Июнь	0,811	0,842	3,82	12,04	12,25	1,74
Июль	0,779	0,835	7,19	10,33	11,69	3,48
Среднее	0,756	0,769	1,82	12,19	12,47	2,30

Выводы.

1. В результате выполненных работ и исследований запущены в работу на тяжелых клнвейерах ЖОФ–1 и ЖОФ–2 три РКС РЛП–21Т производства ТОО «Аспап Гео».
2. Впервые в цветной металлургии Казахстана решена задача достоверного опробования в режиме «on–line» крупнодробленых руд класса –300 мм на Cu, Zn, Pb, Fe, а также, – что самое главное, – на Ag и Cd при низких (5+ ppm) содержаниях последних в рудах.
3. При выборе аппаратуры акцент делался (Программа по импортозамещению РК) на использование в первую очередь продукции казахстанских производителей.
4. Результатом выполненных работ и исследований явилось закрытие пунктов опробования ОТК на конусных дробилках ККД 900/160 (ЖОФ–1) и ККД 1500/1800 (ЖОФ–2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефименко С.А., Ефименко О.С., Портнов В.С., Маусымбаева А.Д. Ядерно–геофизические технологии «on–line» контроля качества руд, поступающих на Жезказганскую обогатительную фабрику № 1 // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. 8-е научные чтения памяти Ю.П.Булашевича. Материалы конференции. Екатеринбург: УрО РАН, 2015. – С. 156-160.
2. Yefimenko S., Yefimenko O., Portnov V., Maussymbayeva A, Makarov D. Nuclear–geophysical technologies for online quality control of ores and their processing products applied at corporation Kazakhmys PLC // 20th Conference on Environment and Mineral Processing. Ostrava: VŠB-TU, 2016. P.325-331.
3. Yefimenko S., Yefimenko O., Shakhanov A., Abdrakhmanova Z., Makarov D. Multicomponent online analysis of coarse ore on conveyors of Kazakhmys LLC processing plants // 21th Conference on Environment and Mineral Processing. Ostrava: VŠB-TU, 2017. P.245-249. ISBN сборника 978-80-248-4049-9

УДК 550.38: 519.644.2

**О РЕШЕНИИ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ НАХОЖДЕНИЯ
ВТОРОЙ ПРОИЗВОДНОЙ НЬЮТОНОВСКОГО ПОТЕНЦИАЛА**

*Акимова Елена Николаевна^{1,2}, Мисилов Владимир Евгеньевич^{1,2},
Третьяков Андрей Игоревич^{1,2}
e-mail: aen15@yandex.ru
e-mail: out.mrscreg@gmail.com
e-mail: fr1z2rt@gmail.com*

¹*Институт математики и механики им. Н. Н. Красовского Уральского отделения
Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия*

²*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия*

Аннотация. Построена схема аппроксимации интегрального оператора задачи нахождения поля значений второй производной ньютоновского потенциала для контактной поверхности в случае произвольно направленных векторов намагниченности слоев. На модельном примере показано увеличение точности аппроксимации интегрального оператора по сравнению с аппроксимацией по квадратурной формуле.

**ON SOLVING THE FORWARD PROBLEM OF FINDING
THE SECOND DERIVATIVE OF NEWTONIAN POTENTIAL**

*Elena Akimova^{1,2}, Vladimir Misilov^{1,2}, Andrey Tretyakov^{1,2}
e-mail: aen15@yandex.ru
e-mail: out.mrscreg@gmail.com
e-mail: fr1z2rt@gmail.com*

¹*Krasovskii Institute of Mathematics and Mechanics, Ural Branch of Russian Academy of Sciences,
Yekaterinburg, Russia*

²*Yeltsin Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia*

Summary. A new scheme of approximation for the integral operator of the problem of finding the field of values of the second derivative of Newtonian potential of the contact surface in the case of arbitrary directed total magnetization of layers was constructed. Improvement of the precision of the approximation of the integral operator in comparison with the approximation using quadrature rules was demonstrated for the model problem.

В работах [1,2] рассматривается обратные трехмерная структурная задача нахождения поверхности раздела двух слоев с различными намагниченностями по полю значений второй производной ньютоновского потенциала для случая произвольно направленных векторов суммарной намагниченности слоев. Задача описывается интегральным уравнением первого рода и является некорректно поставленной. После дискретизации и аппроксимации интегрального оператора задача сводится к решению нелинейных уравнений большой размерности. В этих работах для аппроксимации интегрального оператора используется квадратурная формула прямоугольников.

В работе [3] для аппроксимации интегрального оператора первой производной предлагается альтернативная конструкция с привлечением схемы конечных элементов.

В данной работе для повышения точности строится схема аппроксимации интегрального оператора задачи нахождения второй производной потенциала и проводится сравнение точности двух способов аппроксимации для модельного примера.

Введем трехмерную декартову систему координат, в которой координатная плоскость xOy совпадает с земной поверхностью, а ось z направлена вертикально вниз. Нижнее полупространство состоит из двух слоев с постоянными намагниченностями J_1, J_2 , разделенных поверхностью $\zeta(x, y)$. Поверхность имеет горизонтальную асимптоту, т. е., $\lim_{x, y \rightarrow \infty} \zeta(x, y) = h$. Вертикальная компонента напряженности H поля, порождаемого таким полупространством и измеренная на уровне $z = 0$, находится по следующей формуле [1]:

$$\Delta Z(x, y, 0) = \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{\Delta J_x \xi - x + \Delta J_y \eta - y - \Delta J_z h}{\xi^2 - x^2 + \eta^2 - y^2 + h^2} - \frac{\Delta J_x \xi - x + \Delta J_y \eta - y - \Delta J_z \zeta(\xi, \eta)}{\xi^2 - x^2 + \eta^2 - y^2 + \zeta^2(\xi, \eta)} \right] d\xi d\eta, \quad (1)$$

где $(\Delta J_x, \Delta J_y, \Delta J_z)$ — компоненты разности намагниченностей слоев $\Delta J = J_1 - J_2$.

В операторном виде формулу (1) можно записать следующим образом:

$$A \zeta = \Delta Z. \quad (2)$$

Для дискретизации задачи задается разбиение переменных интегрирования x', y' по прямоугольной сетке $n \times m$: $x_i = \xi_i, y_j = \eta_j, 1 < i < n, 1 < j < m$ с шагами $\Delta x, \Delta y$. Значения поверхности $\zeta(x, y)$ будут задаваться сеточной функцией z_{ij} .

Одним из способов аппроксимации интегрального оператора $A(\zeta)$ является использование квадратурных формул прямоугольников [2]:

$$\Delta Z(x, y) \approx \frac{\Delta x \Delta y}{4\pi} \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^m \left[\frac{\Delta J_x x_k - x + \Delta J_y y_l - y - \Delta J_z h}{x_k^2 - x^2 + y_l^2 - y^2 + h^2} - \frac{\Delta J_x x_k - x + \Delta J_y y_l - y - \Delta J_z z_{k,l}}{x_k^2 - x^2 + y_l^2 - y^2 + z_{k,l}^2} \right] \quad (3)$$

Построим другой способ аппроксимации. Для каждой ячейки сетки с индексами (i, j) строится элементарный параллелепипед высотой $\Delta \zeta$, $\Delta \zeta = \zeta(x_i, y_j) - h$, имеющий намагниченность $J = (J_x, J_y, J_z) = \text{sign}(\Delta \zeta) \Delta J$. Поле от криволинейной поверхности будет равно сумме полей от всех элементов разбиения:

$$\Delta Z(x, y) \approx \sum_{ij} \Delta Z_{ij}. \quad (4)$$

Найдем явное выражение для поля прямоугольного параллелепипеда со сторонами, параллельными координатным осям. Для этого воспользуемся теоремой Пуассона [4]:

$$\Delta Z = -\frac{1}{4\pi} \frac{\partial}{\partial z} J, \nabla V = -\frac{1}{4\pi} (J_x V_{xz} + J_y V_{yz} + J_z V_{zz}).$$

Выражения для вторых производных потенциала V_{xz} и V_{yz} приводятся в работе [5]:

$$V_{xz} = \frac{\eta - y}{\xi - x} + \frac{\xi_2 \eta_2 \zeta_2}{\xi_1 \eta_1 \zeta_1} \frac{\xi_2 \eta_2 \zeta_2}{\xi_1 \eta_1 \zeta_1},$$

$$V_{yz} = \frac{\xi - x}{\xi - x} + \frac{\xi_2 \eta_2 \zeta_2}{\xi_1 \eta_1 \zeta_1} \frac{\xi_2 \eta_2 \zeta_2}{\xi_1 \eta_1 \zeta_1}.$$

Выражение для V_{zz} получим следующим способом. Потенциал для однородного тела произвольной формы V равен [5]

$$V_{zz} = 3 \int_V \frac{\zeta - z^2}{\xi - x^2 + \eta - y^2 + \zeta - z^2} d\xi d\eta d\zeta.$$

Поочередно проинтегрируем по каждой из переменных с пределами от ζ_1 до ζ_2 , от η_1 до η_2 и от ξ_1 до ξ_2 :

$$\begin{aligned} V_{zz} &= - \int_{\eta_1}^{\eta_2} \int_{\xi_1}^{\xi_2} \frac{\zeta - z}{\xi - x^2 + \eta - y^2 + \zeta - z^2} d\xi d\eta = \\ &= \int_{t_1}^{t_2} \frac{wu}{w^2 + t^2} dt, \end{aligned}$$

$\eta - y = u; \zeta - z = w; \xi - x = t; w^2 + t^2 = c^2; q = \tan^{-1} \frac{u}{c}$

После интегрирования по dt и обратной замены получаем

$$V_{zz} = \tan^{-1} \frac{(\xi - x)(\eta - y)}{\zeta - z \sqrt{\xi - x^2 + \eta - y^2 + \zeta - z^2}}.$$

Для сравнения точности аппроксимации интегрального оператора двумя способами найдем оценки погрешности вычисления, используя правило Рунге [6]. Найдем значения поля ΔZ^{ij} в точке сетки $n \times m$. Для области интегрирования используется две сетки: $n \times m$ и $2n \times m$. Погрешность вычислений для сетки $2n \times m$ находится по формуле Рунге:

$$\Delta_2^{ij} \approx \frac{1}{3} \Delta Z_2^{ij} - \Delta Z_1^{ij}.$$

Далее берется максимальное значение погрешности из всех точек сетки $\Delta_{2n} = \max_{ij} \Delta_2^{ij}$. Найдем оценки погрешности двух подходов на модельном примере. Рассмотрим поверхность, заданная следующей формулой:

$$\begin{aligned} \zeta(x, y) &= 20 - 5.21e^{-x/6.13 - y/9.59} + 6.11e^{-x/4.11 + 8.12} - y/7.5 - 3.65^2 \\ &+ 8.27e^{-x/6.13 - 4.9} - y/6.72 - 3.65^2. \end{aligned}$$

Глубина залегания асимптотической плоскости бралась равной $h = 20$ км. Разность намагниченностей $\Delta J = 0,2; 0,2; 0,1$ А/м. Размеры сеток 128×256 и 256×256 . Вид поверхности представлен на рис. 1.

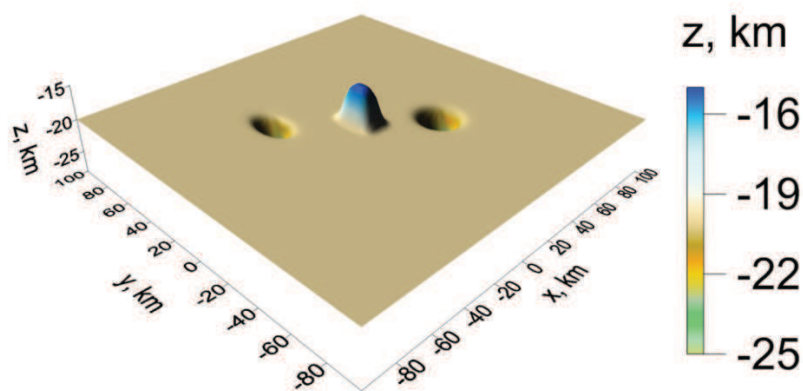


Рис.1. Модельная поверхность

Поля были получены двумя способами (рис. 2):

- 1) численным интегрированием по формулам прямоугольников (3);
- 2) использованием новой схемы (4).

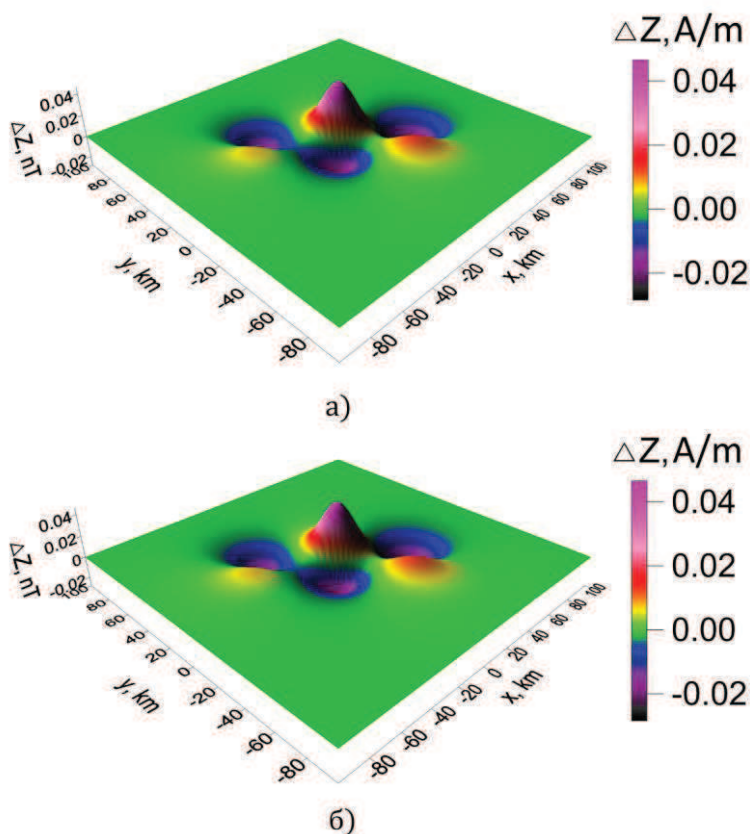


Рис.2. Поля, полученные численными интегрированием (а) и новой схемой (б)

Для сетки 256×256 разность полей, полученных двумя способами, не превышает 0,0001 А/м, а погрешности вычисления составили 0,02 и 0,01 для первого и второго способа соответственно.

Таким образом, новая схема аппроксимации обеспечивает большую точность, чем численное интегрирование по формулам прямоугольников.

Работа выполнена при поддержке проекта 15-7-1-3 Программы УрО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Akimova E. N., Martyshko P. S., Misilov V. E., Tretyakov A. I. On solving the inverse structural magnetic problem for large grids on GPUs // AIP Conference Proceedings, 1863, 050010. 2017. DOI: [10.1063/1.4992207](https://doi.org/10.1063/1.4992207)
2. Misilov V. E. On solving the structural inverse magnetic problem of finding a contact surface in the case of arbitrary directed magnetization. 15th EAGE International Conference on Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects (EAGE, Kiev, 2016).

DOI: [10.3997/2214-4609.201600473](https://doi.org/10.3997/2214-4609.201600473)

3. Мартышко П. С., Ладовский И. В., Цидаев А. Г. Построение региональных геофизических моделей на основе комплексной интерпретации гравитационных и сейсмических данных // Физика земли. 2010. № 11. С. 23–35.

DOI: [10.1134/S1069351310110030](https://doi.org/10.1134/S1069351310110030)

4. Яновский Б. М. Земной магнетизм. Л: ЛГУ, 1978.
5. Шванк О. А., Люстих Е. Н. Интерпретация гравитационных наблюдений. Л.: Гостоптехиздат, 1947.
6. Березин И. С., Жидков Н. П. Методы вычислений. М.: Наука, 1962.

УДК 550.837

**ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗРЕЗА ВОСТОЧНОЙ ОКРАИНЫ
ПРЕДУРАЛЬСКОГО КРАЕВОГО ПРОГИБА В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ
ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ «АРТИ»**

*Арзамасцев Евгений Владимирович¹, Бородин Павел Борисович²,
Коноплин Алексей Дмитриевич³, Кусонский Олег Александрович⁴*

¹brigan88@yandex.ru

²borodin@arudaemon.gsras.ru

³pbs002@mail.ru

⁴zavlab@arudaemon.gsras.ru

^{1,2,3,4} Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. Приводятся результаты построения одномерной геоэлектрической модели разреза восточной окраины Предуральского краевого прогиба до глубин более 630 км. Модель построена по данным магнитотеллурического зондирования, проведенного в стационарных условиях геофизической обсерватории «Арти». Совместно проанализированы данные зондирования за прошлые годы, имеющиеся для этого района. Особенности модели источника региональной Манчажской магнитной аномалии в геоэлектрическом разрезе не проявляются. Полученные данные важны для понимания строения зоны сочленения Предуральского прогиба и Уральской складчатой системы и интерпретации данных мониторинговых геофизических наблюдений обсерватории «Арти».

**GEOELECTRIC MODEL OF SECTION OF A EASTERN MARGIN THE
PREURALIAN FOREDEEP IN THE GEOMAGNETIC OBSERVATORY «ARTI» SITE**

Abstract. The results of construction a 1D geoelectric model of a section of the eastern margin the PreUralian foredeep to a depth over 630 km are presented. The model is constructed by the data of magnetotelluric sounding carried out in stationary conditions in the "Arti" geophysical observatory. The sounding data of the past years, available for this region, are jointly analyzed. The features of the model of source the regional Manchazh magnetic anomaly are not showed in the geoelectric section. The obtained data are important for understanding the structure of the zone of articulation the PreUralian foredeep and the Ural folding system, and for "Arti" observatory geophysical monitoring data interpretation.

Введение. Геофизические обсерватории, предназначенные для проведения мониторинговых наблюдений физических полей Земли расположены в районах с различным геологическим строением. Уникальные особенности геологического строения находят свое отражение в вариациях регистрируемых полей. Поэтому исследование геологического разреза, петрофизических свойств горных пород различными методами в местах размещения геофизических обсерваторий должно являться неотъемлемой частью их работы. А полученные данные о геологическом строении могут быть также использованы при изучении закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых.

Геофизическая обсерватория «Арти» расположена на восточной окраине Предуральского краевого прогиба (ПКП), относящегося к периферийной структуре Восточно-Европейской платформы (ВЕП). Координаты её нахождения 56° 25' 50" СШ, 58° 33' 40" ВД. Район расположения обсерватории в геологическом и геофизическом отношении изучен не достаточно. Это объясняется тем, что он был отнесен к категории неперспективных для поиска основных видов полезных ископаемых. Район характеризуется наличием плавных региональных положительных магнитометрической и гравиметрической аномалий достигающих в максимуме соответственно $\Delta(T)_a = 1200$ нТл и $\Delta g = 14$ мГал. Источники аномалий и глубинное строение района изучалась многими исследователями с

использованием различных геофизических методов и методов геологических аналогий [1, 2, 3]. Намагниченные горные породы, являющиеся источником магнитной аномалии оказывают влияние на характер протекания вековых вариаций геомагнитного поля в районе. Вариации около пятидесяти лет фиксируются мониторинговыми наблюдениями в обсерватории «Арти». Они могут быть отражением глубинных геодинамических процессов. Новые данные о строении земной коры в месте расположения обсерватории «Арти» в сравнении с прежними результатами исследований повышают достоверность обсерваторских наблюдений в целом, помогают найти объяснения тем или иным особенностям вариаций, отличающих их от значений, полученных в глобальной модели главного магнитного поля Земли.

Краткие сведения о технике и методике наблюдений методом МТЗ в обсерватории «Арти». В 2016 г. в обсерватории «Арти» в стационарных условиях впервые была развернута полностью автоматизированная цифровая станция магнитотеллурического зондирования MTU-5A производства канадской фирмы «Phoenix Geophysics». Станция выполняет регистрацию вариаций естественного магнитного поля по трём пространственным составляющим (H_x , H_y , H_z) и естественного электрического поля по двум составляющим (E_x , E_y). Диапазон периодов колебаний поля 0,25-10000 сек. при частоте выборки 15 Гц, 0,025-10000 сек при частоте выборки 150 Гц, 0,0025-1000 сек при частоте выборки 2400 Гц.

В течение зимнего сезона 2016-2017 г. была выполнена регистрация магнитотеллурического поля суммарной длительностью более 120 суток с максимальной продолжительностью непрерывной записи 43 суток. Основная запись выполнялась с частотой выборки 15 Гц, но кроме этого часть времени измерения проводились с частотой выборки 2400 Гц, что позволило построить кривые магнитотеллурического зондирования в диапазоне периодов 0,002 - 70000 с. Диапазон глубин зондирования по результатам решения обратной задачи составил от десятков метров до более чем 600 км. Для регистрации магнитотеллурического поля была использована типовая расстановка станции: диполи измерения электрического поля были размещены по симметричной схеме с длиной 100 м, для измерения вариаций магнитного поля были использованы входящие в состав комплекта аппаратуры индукционные датчики МТ-50. Полученные временные ряды обрабатывались с использованием разработанного в Институте геофизики УрО РАН оригинального программного обеспечения обработки данных МТЗ. В результате обработки были вычислены тензоры магнитотеллурического импеданса на сетке периодов в диапазоне времён зондирования, по которым строилась кривая зондирования и решалась обратная задача МТЗ (восстановление геоэлектрического разреза). Для построения геоэлектрического разреза по кривым зондирования использовалась программа IPI2Win.MT [4] позволяющая интерактивно или автоматически решать обратную одномерную задачу МТЗ. Обратная задача решалась с минимизацией невязки амплитудной кривой ρ_k и фазовой кривой φ_k , которые вычислялись как:

$$\rho_k = 0,2 |Z_{\text{эфф}}|^2 T, \quad \varphi_k = \text{Arg}(Z_{\text{эфф}}),$$

где T – период, $Z_{\text{эфф}}$ - эффективный импеданс — инвариант тензора магнитотеллурического импеданса, определяемый как:

$$Z_{\text{эфф}} = \sqrt{\det(Z)} = \sqrt{Z_{xx}Z_{yy} - Z_{xy}Z_{yx}}$$

среднеквадратичная невязка подбора по амплитудной кривой составила 10 %, по фазовой кривой — 2.3° (рис. 1).

Результаты МТЗ. В полученной модели можно отметить следующие особенности: до глубины ~ 1.6 выделяются несколько относительно низкоомных слоёв, относящихся к верхней осадочной толще. На глубине ~ 1,6 наблюдается переход к более высокоомному слою (~ 320 Ом·м), в пределах которого до глубины 140 км не отмечается каких-либо существенных неоднородностей проводимости в зависимости от глубины. В интервалах глубин 140 - 220 км удельное сопротивление слоя определяется от 1200 Ом·м и выше, причём диапазон возможных значений весьма широк, т. к. его сопротивление очень

незначительно влияет на кривую и общую невязку. На глубине 220 км отмечается переход к более низкоомному слою, который прослеживается до глубины 630 км. Удельное электрическое сопротивление слоя ~ 62 Ом·м. С глубины 630 км выделяется проводящее основание с удельным электрическим сопротивлением $< 0,1$ Ом·м, нижняя граница которого не определяется.

Полученная слоистая модель зондирования не выделяет каких-либо особенностей в разрезе, указывающих на наличие ферромагнитного материала в породах, слагающих источник Манчажской магнитной аномалии. Модель источника аномалии предполагала содержание ферромагнитного минерала в породах в пределах глубин 4-30 км. Намагниченностью пород 4,5 А/м до глубины 15 км и 1,1 А/м – до 30 км [3]. Причин тут может быть много - возможно ферромагнитный материал не имеет большой контрастности по проводимости или он представлен в виде изолированного вкрапления намагниченных частиц в породе, возможно, источником является большой объём пород, содержащих относительно слабомагнитные ферромагнетики. В общем, по МТЗ не выделяется каких-либо неоднородностей в этом интервале глубин. Более того, моделирование показывает устойчиво однородную среду в этом интервале глубин.

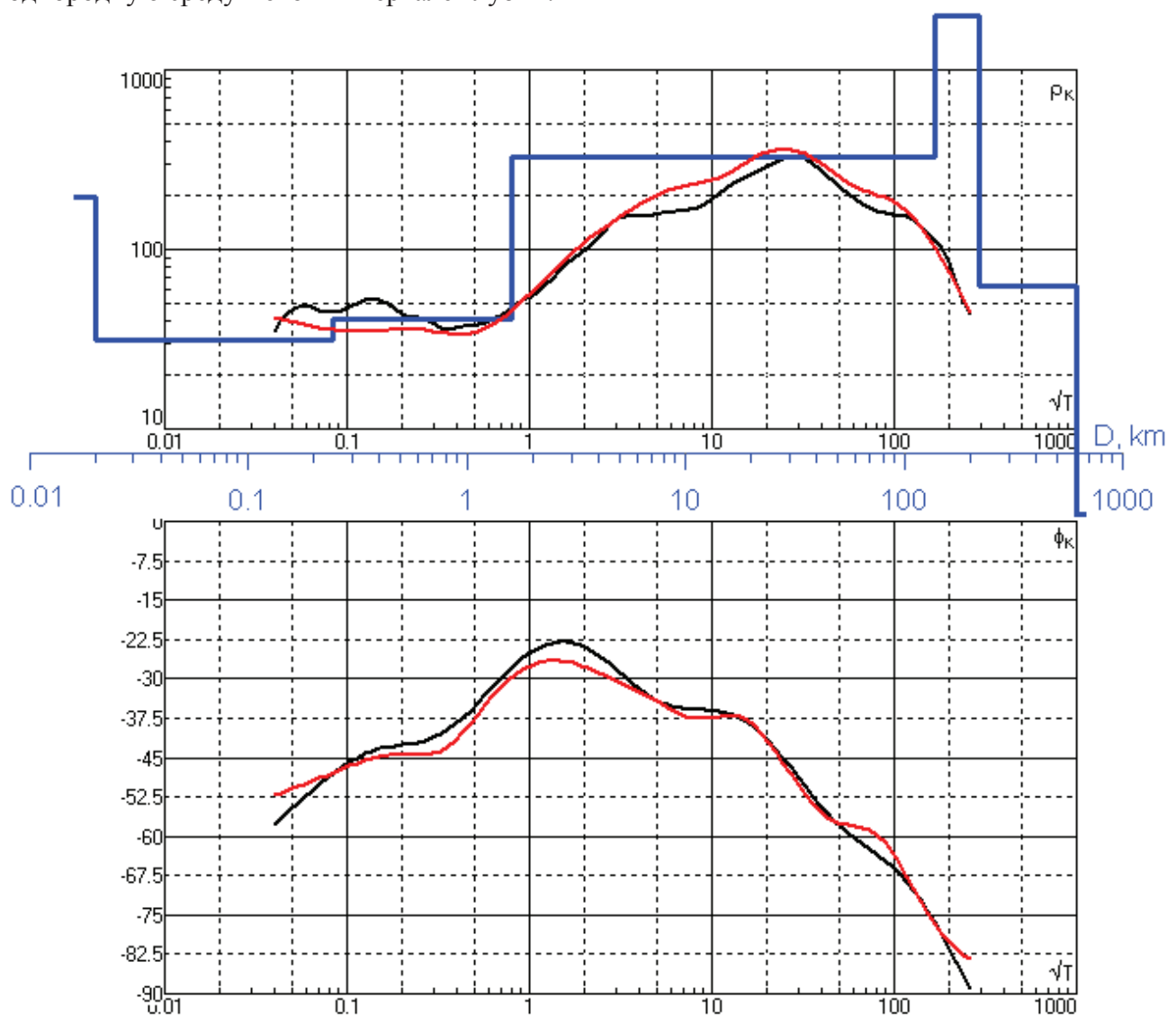


Рис. 1. Результаты решения обратной задачи МТЗ: чёрная кривая — наблюдаемые данные, красная кривая — модельные данные, синяя линия — подобранная слоистая модель.

Выводы. По данным длительных магнитотеллурических зондирований, выполненных в обсерватории «Арти» в широком диапазоне частот отчетливо установлены границы слоев горных пород в верхней части земной коры восточной окраины Предуральского краевого прогиба. Выделены слои в интервалах глубин 0-1,6 км, 1,6-140 км, 140-220 км, 220-630 км и свыше 630 км имеющих различные удельные электрические сопротивления слагающих их горных пород. Полученные данные хорошо сходятся с данными прошлых лет, в частности подтверждается наличие высокопроводящего основания на глубине 630 км, и отмечается хорошее совпадение правой нисходящей ветви МТЗ с глобальной кривой магнитовариационного зондирования. Однако часть результатов, например, коровый проводник и астеносферный слой - наоборот, не подтверждаются, что требует продолжения исследований для выяснения причин расхождения в полученных результатах.

Выделенный слой в интервале глубин 1,6-140 км включает намагниченные породы, являющиеся источником региональной Манчажской магнитной аномалии, которые предполагалось залегают в интервале глубин 4-30 км. Магнитные породы не выделяются по МТЗ. Это может свидетельствовать о том, что ферромагнитные минералы содержащиеся в породах заметно не влияют на их электрические свойства. Можно предположить, что ферромагнитные минералы присутствуют в породах в виде не связанных между собой зерен редкой вкрапленности, имеющих высокую термоостаточную намагниченность. Верхняя кромка источника может залежать на глубине 1,6 км. Наличие ниже 140 км слоя с высоким удельным электрическим сопротивлением свидетельствует об отсутствии связи магнитных пород с более глубокими горизонтами. Источник аномального магнитного поля изолирован от прямого влияния процессов, происходящих на больших глубинах (например, гидротермального), но может подвергаться переменному воздействию тепла поступающего от них. Этим можно объяснить факт наличия вариаций во времени аномальной составляющей магнитного поля, регистрируемого в обсерватории «Арти».

Полученные данные будут иметь в дальнейшем важное значение при интерпретации геофизических полей, регистрируемых в обсерватории «Арти».

Работа выполнена при поддержке проекта № 15-18-5-54 и в рамках НИР ИГф УрО РАН по теме № 394-2014-0001.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дружинин В.С., Дьяконова А.Г., Колмогорова В.В. и др. Геолого-геофизическая модель литосферы западной части профиля Арти-Байкалово // Урал. геофиз. вестн., 2002. №4. С. 10-22.
2. Дьяконова А.Г., Вишнев В.С., Астафьев П.Ф. и др. Новые данные о геологическом строении Предуральского прогиба и природе Манчажской магнитной аномалии // Урал. геофиз. вестн., 2002. №4. С. 23-27.
3. Кусонский О. А. Геофизические обсерваторские исследования на Урале. Екатеринбург: ИСО УрО РАН, 2012. 287 с.
4. Бобачёв А. А. Программное обеспечение IPI2Win.MT [Электронный ресурс] // URL http://geophys.geol.msu.ru/ipi_mts/ipi_mts.htm (дата обращения 20.07.2017)

УДК 550.832

ВЫДЕЛЕНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКИ НАРУШЕННЫХ ЗОН ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СКВАЖИННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

¹Астраханцев Юрий Геннадьевич, ²Белоглазова Надежда Анатольевна,
³Баженова Евгения Анатольевна, ⁴Вдовин Алексей Геннадьевич, ⁵Федосов Максим Андреевич
³Bazenova_jena@mail.ru
^{1,2,3,4,5}Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Аннотация. Представлены примеры выделения зон тектонической нарушенности и приконтактового метаморфизма по результатам скважинных измерений геоакустических сигналов, электромагнитного излучения и скважинной магнитометрии

THE ALLOCATION OF TECTONICALLY DISTURBED ZONES OF THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT ACCORDING TO THE RESULTS OF BOREHOLE INVESTIGATIONS

¹Astrachantsev Yu.G., ²Beloglazova N.A., ³Bazhenova E.A.,
⁴Vdovin A.G., ⁵Fedosov M.A.
³Bazenova_jena@mail.ru
^{1,2,3,4,5}Institute of Geophysics UB of RAS, Yekaterinburg

Summary. The article presents examples of definition of zones of tectonic disturbance and near-contact metamorphism using measurements in borehole geoacoustic signals, electromagnetic radiation and borehole magnetometry.

Распределение напряжений в земной коре зависит не только от действующих нагрузок, но и от степени неоднородности и трещиноватости горных пород. Изменение напряженного состояния вызывает их деформацию, приводит к перестройке в контактных поверхностях, в системе трещин, к появлению новых дефектов, что сопровождается акустической и электромагнитной эмиссиями геосреды. Наиболее чувствительными к воздействию деформационных процессов различной физической природы оказываются зоны тектонической нарушенности пород. Эти зоны представлены в разной степени трещиноватыми, раздробленными породами и по физико-механическим свойствам обладают меньшей прочностью, то есть являются ослабленными зонами в земной коре [3].

Исследование современного динамического состояния массивов горных пород в их естественном залегании путем скважинных измерений значительно повышает информативность измеренных параметров. При проведении исследований скважин применялся аппаратно-программный комплекс МЭШ-42, разработанный в Институте геофизики УрО РАН, позволяющий осуществлять одновременную регистрацию сигналов геоакустической эмиссии (ГАЭ) и электромагнитного излучения (ЭМИ) [1].

Регистрация сигналов электромагнитного излучения производится в трех частотных диапазонах: 45 (F1), 80 (F2) и 120 (F3) кГц.

Геоакустические сигналы регистрируются тремя ортогонально расположенными датчиками-акселерометрами (что позволяет фиксировать сигналы с трех направлений) в разных полосах частот в единицах регистрируемого ускорения мм/с². По частотам измеренные параметры распределяются следующим образом:

- X1, Y1, Z1 – сигналы с горизонтальных и вертикального датчиков в диапазоне 100–500 Гц;
- X2, Y2, Z2 – сигналы с горизонтальных и вертикального датчиков в диапазоне 500–5000 Гц;
- X4, Y4, Z4 – сигналы с горизонтальных и вертикального датчиков в диапазоне 2500–5000 Гц.

Интерпретация результатов исследований геоакустических сигналов основана на анализе величин измеренных и расчетных параметров.

Геоакустические сигналы, измеряемые горизонтальными датчиками, программным способом преобразуются в горизонтальные составляющие геоакустических сигналов H , для каждого диапазона частот: $H1$, $H2$, $H4$ [2].

Результаты каротажа представляются в виде диаграмм измеренных и расчетных параметров геоакустических сигналов.

Цикл опроса всех датчиков составляет 2 с. На каждой точке проводятся 10 циклов записи всего массива данных. Общее время нахождения прибора на каждой точке измерений составляет порядка 30 с. Выбор шага каротажа зависит от поставленной задачи и может изменяться от 1 до 100 м.

Одним из примеров выделения тектонически нарушенных зон, представленных на рис.1, являются результаты комплексных геофизических исследований в скважине №1 в районе города Троицк (Южный Урал).

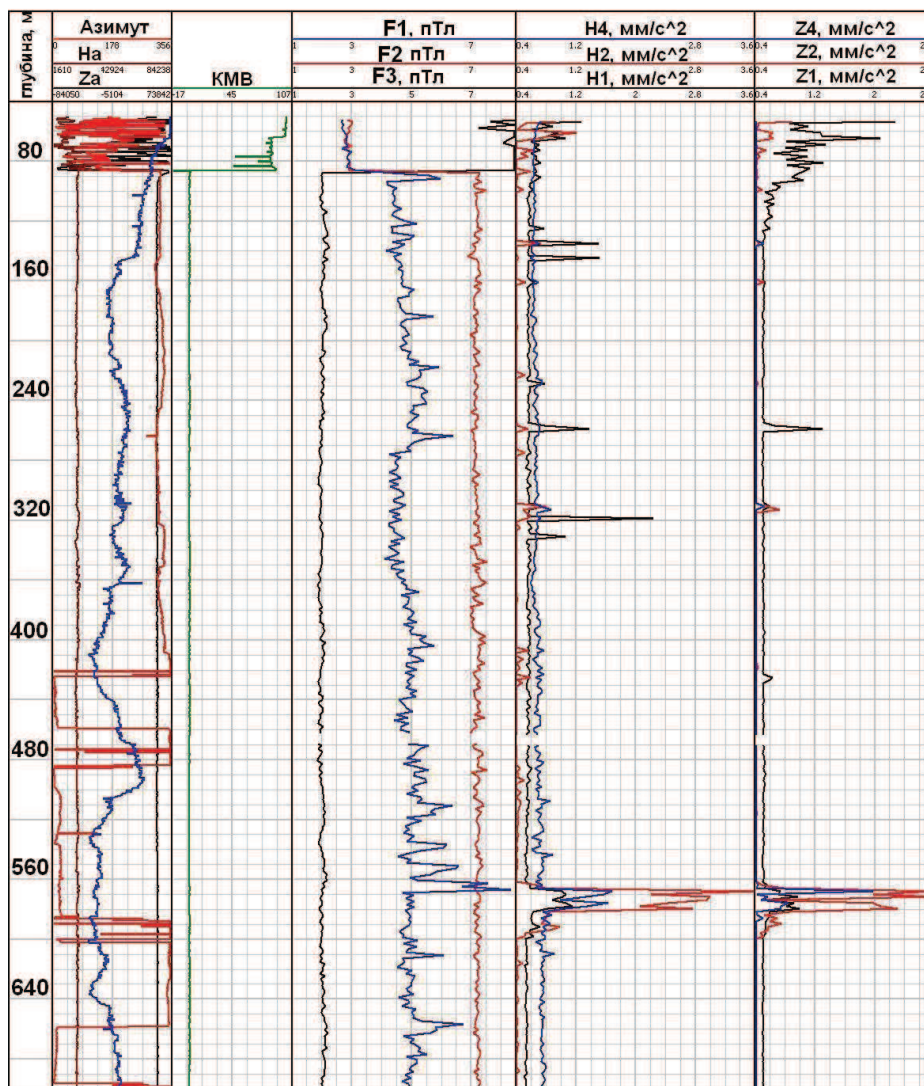


Рис.1. Результаты комплексных измерений геоакустической эмиссии, электромагнитного каротажа, каротажа магнитной восприимчивости и магнитного каротажа в скважине №1, Троицк, Южный Урал.

Геологический разрез скважины представлен переслаиванием гранитов и гранодиоритов различной структуры. Породы в основном монолитные. Местами встречаются зоны трещиноватости и дробления, что отражается на данных комплексных измерений геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения. Так, в интервале 55-

100 м выделяется мощная аномалия по ГАЭ в трех диапазонах частот, связанная с активной зоной трещиноватости за обсадной колонной. Мощная аномалия по ГАЭ в интервале глубин 570-600 м связана с зоной дробления пород, что подтверждается выходом керна. Как видно из графиков ЭМИ, на частоте 45 кГц (F1) на глубине 510-570 присутствует участок с большими значениями сигналов электромагнитного излучения. Данная аномалия граничит с аномальным участком по ГАЭ. Таким образом, можно предположить, что весь интервал глубин 510-600 является тектонически нарушенной зоной, в которой протекают активные процессы трещинообразования.

На рис. 2 приведены результаты скважинной магнитометрии, измерения геоакустических сигналов и электромагнитной эмиссии в параметрической скважине «Восточно-Пайдугинская».

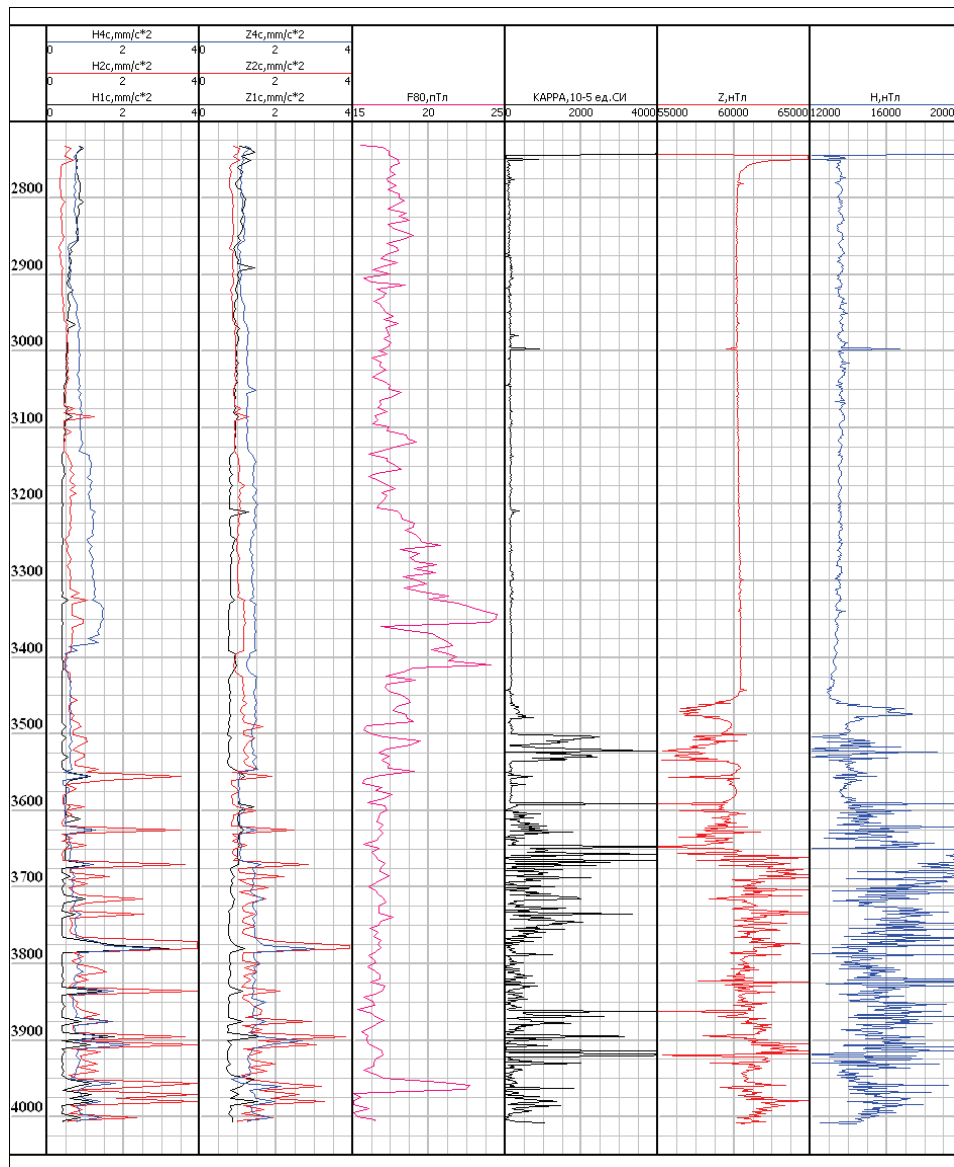


Рис. 2. Комплексные исследования параметрической скважины «Восточно-Пайдугинская» (ФГУП «Недра»).

При изучении геодинамического состояния горных пород в скважинах комплексирование методов измерения магнитных и акустических параметров позволяет получать дополнительную информацию о деформационных процессах, происходящих в районе исследования, и более уверенно производить расчленение геологического разреза [1]. Измерение магнитной восприимчивости и напряженности геомагнитного поля по стволу скважины позволяет проводить геологическое расчленение пород по магнитным свойствам и

выявлять потенциально динамически активные интервалы, которые приурочены к зонам оруденения или контактам пород с различными магнитными свойствами.

Верхняя часть измеренного интервала представлена породами осадочного комплекса: песчаниками, аргиллитами, алевролитами и редкими пропластками углистых материалов, которые, являясь, как правило, слабомагнитными и слабо дифференцируются по магнитным свойствам. По измерениям геоакустических и электромагнитных сигналов наблюдается дифференциация их фоновых уровней по глубине в зависимости от литологического состава пород. Отмечено несколько аномалий геоакустической эмиссии, вызванных возможным присутствием флюидогазодинамики или процессами разрушения пород: С глубины 3220 м наблюдается повышение уровня ЭМИ, что свидетельствует об изменении геодинамического состояния массива горных пород в этом интервале.

Интервал 3390-3425 м, который захватывает кору выветривания и туфы палеозоя выделяется по диаграмме ЭМИ резким изменением амплитуды сигнала, а по диаграммам акустических сигналов отрицательными аномалиями высокочастотных параметров Z2 и Z4 на фоне положительной аномалии низкочастотных сигналов вертикального датчика Z1. Из этого можно предположить, что это водонасыщенный коллектор без проявлений газодинамики.

Эффузивные породы палеозоя отбиваются по данным скважинной магнитометрии с глубины 3456 м. Скважиной подсечено несколько пластов различной мощности с повышенными магнитными свойствами, которые перемежаются с немагнитными осадочными отложениями.

Интервал 3540-3565 м, по описанию керна представленный аргиллитами, отмечается повышением акустических сигналов всего диапазона измеряемых частот и ЭМИ, что свидетельствует об интенсивном трещинообразовании в пласте и присутствии здесь флюидов воды и нефти. В пределах этого пласта *интервал 3563,3-3563,5 м* отмечается знакопеременной аномалией по магнитной восприимчивости, на диаграммах же составляющих магнитного поля практически нет аномальных отклонений. Такой эффект проявляется при значительных вкраплениях сульфидов железа (линзы халькопирита по керну).

Интервал 3552-366 м выделяется по диаграммам акустических сигналов отрицательными аномалиями высокочастотных параметров Z2, H2 и Z4, H4 на фоне положительной аномалии низкочастотных сигналов вертикального датчика Z1 и H1. Из этого можно предположить, что это водонасыщенный коллектор без проявлений газодинамики.

Далее, с глубины 3590 м и практически до забоя скважины по данным скважинной магнитометрии выделяется пласт эффузивных пород, представленных преимущественно базальтами. Магнитные свойства подсеченного пласта очень сильно дифференцированы, что характерно для эффузивных пород, неоднородных по составу и содержанию вкраплений ферромагнитных минералов. Для этого интервала характерно то, что общая намагниченность пород постепенно меняет свое направление и, на глубине 3565 м приобретает обратную полярность. Фактор Q по всему интервалу изменяется от 1 до 2,9, что свидетельствует о преобладании остаточной намагниченности пород этого интервала. Носителем намагниченности является магнетитовая и гематитовая вкрапленность. Присутствие знакопеременных аномалий магнитной восприимчивости с интенсивными отрицательными (до минус $4000 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ) свидетельствует о наличии минералов с высокой проводимостью (пирит, халькопирит).

По измерениям ЭМИ, данный интервал отмечается понижением фоновых значений, что свидетельствует об изменении текстуры пород.

По измерениям ГАЭ, при общем понижении фоновых значений выделяются интенсивные локальные аномалии во всех частотных диапазонах, что указывает на процессы флюидогазодинамики и интенсивного трещинообразования, что косвенно подтверждается низким выходом керна.

В интервале глубин 3962-3967 м по данным магнитометрии отбивается пласт немагнитных интрузивных пород кислого состава. В пользу того, что это именно интрузивные, а не осадочные породы, которые встречаются выше, свидетельствует то, что по данным магнитометрии они определяются как однородные с практически нулевой магнитной восприимчивостью. В зоне внедрения интрузии кислого состава на глубине 3950-3965 уровень ЭМИ резко возрастает до аномально высоких значений. Данный интервал связан с контактовым метаморфизмом, верхняя граница которого наиболее нарушена, здесь по измеренным параметрам САЭ происходит наиболее интенсивное изменение напряженно-деформированного состояния горных пород. Возможно выделение углеводородов.

Таким образом, комплексирование скважинной магнитометрии, измерения естественных геоакустических сигналов и электромагнитной эмиссии горных пород в их естественном залегании значительно повышает достоверность интерпретации и расчленения геологического разреза по магнитным и динамическим свойствам

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта УрО РАН – 15-2-5-25.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астраханцев Ю.Г., Белоглазова Н.А., Баженова Е.А., Вдовин А.Г., Троянов А.К. Аппаратурно-программный комплекс для скважинных исследований напряженно-деформированного состояния среды. // НТВ Каротажник, №5 (239), 2014. С. 39-51.
2. Белоглазова Н.А., Троянов А.К. Оптимизация комплекса информативных параметров геоакустических шумов при решении задач в нефтегазовых скважинах. // Материалы XIII сессии Российского акустического общества. М., 2003. С. 57-60.
3. Троянов А.К., Астраханцев Ю.Г., Начапкин Н.И. Сейсмоакустическая эмиссия в ослабленных зонах земной коры по наблюдениям в глубоких скважинах. // Материалы XII международной конференции «Активные геологические и геофизические процессы в литосфере. Методы, средства и результаты изучения» – Воронеж, 2006. С. 200-203.

УДК 552.08

**О НОВЫХ ПОДХОДАХ К ОЦЕНКЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ
ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД С ЦЕЛЬЮ
КОМПЛЕКСНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ**

Барабанов Вячеслав Леонидович

e-mail: vlbarabanov@mail.ru

Институт проблем нефти и газа, г. Москва, Россия

Аннотация. Обсуждаются новые способы оценки нетрадиционных петрофизических свойств горных пород с целью более полной и комплексной интерпретации результатов геофизической разведки. Рассмотрены три характеристики: (1) изменчивость фрактальной размерности фильтрационного сопротивления пород при сейсмическом воздействии; (2) параметры кривых противоточной капиллярной пропитки; (3) электрокинетические параметры поверхности порового пространства при насыщении пород разными жидкостями.

**ON NEW METHODS FOR THE ESTIMATION OF NON-TRADITION
PETROPHYSICAL PROPERTIES OF ROCKS FOR THE COMPLEX INTERPRETATION
OF GEOPHYSICAL FIELDS**

Viacheslav Barabanov

e-mail: vlbarabanov@mail.ru

Institute Oil & Gas Research of Russian Academy of sciences, Moscow, Russia

Summery. New methods for the estimation of non-tradition petrophysical properties of rocks are discussed. These properties assist more perfect interpretation of geophysical fields. Three sets of new parameters are examined: (1) the changes of fractal dimension for fluid flow under seismic actions; (2) parameters of curves for contra-current capillary imbibition; (3) electrokinetic parameters of rock's pore surface under the saturation of different fluids.

Интерпретация данных полевых геофизических исследований, как правило, производится с привлечением результатов петрофизических исследований ядра параметрических, разведочных и других скважин на площади работ. Традиционными петрофизическими параметрами являются: пористость, проницаемость, остаточная насыщенность. Много реже определяются удельная площадь поверхности пор и индекс смачиваемости. Развитие петрофизических исследований позволяет использовать и иные (нетрадиционные) петрофизические параметры. Ниже мы покажем возможность оценки в лабораторных экспериментах трех групп таких параметров. К ним относятся: (1) фрактальная размерность фильтрационного сопротивления горных пород, в частности, под влиянием сейсмического (вибрационного, волнового, акустического и т.д.) воздействия; (2) параметры кривых противоточной капиллярной пропитки; (3) электрокинетические параметры поверхности порового пространства.

1. Для исследования влияния сейсмического воздействия на параметры однофазной и двухфазной фильтрации в моделях пористых сред был создан специальный лабораторный комплекс. Эксперименты проводились по традиционной схеме задания постоянного расхода жидкостей на входе образца. Во время фильтрации производилось измерение перепада порового давления в двух сечениях образца. Кроме того, проводилось электрическое зондирование внутренней части образца. Сейсмическое воздействие осуществлялось парой электромеханических преобразователей в сложном режиме сжатия/растяжения и изгиба с частотой от 10 до 30 Гц. Абсолютная проницаемость образца нефтяного коллектора по воде составляла 15 мД.

Исследовались следующие режимы фильтрации: 1) стационарная фильтрация воды; 2) вытеснение воды нефтью; 3) вытеснение нефти водой; 4) стационарная фильтрация смеси вода/нефть при соотношении входных расходов 50:50; и 5) вытеснение смеси вода/нефть водой. В режиме вытеснения нефти водой величина капиллярного числа составляла $(2-6) \cdot 10^{-7}$ при отношении вязкостей нефти и воды от 2 до 4.

Фрактальные свойства фильтрационных процессов определяются, с одной стороны, кинетикой взаимодействия жидкость-жидкость, а с другой стороны - взаимодействием жидкостей с поверхностью пор. Исследования показали, что поверхность порового пространства горных пород фрактальна и характеризуется спектром размеров в четыре порядка: от 10^{-2} до 10^2 мкм [6]. Фрактальную размерность фильтрационного сопротивления можно оценить по показателю Херста вариаций порового давления.

Оценка величины показателя Херста проводилась методом нормированного размаха.

Пример определения показателя Херста по флуктуациям перепада порового давления на образце в режиме вытеснения нефти водой показан на рис. 1.

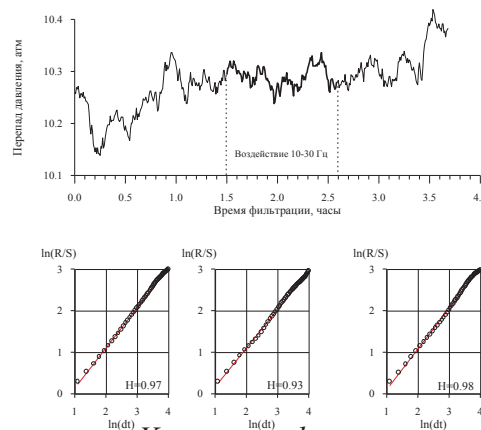


Рис. 1. Пример оценки показателя Херста по флуктуациям перепада давления в режиме вытеснения нефти водой.

Было обнаружено, что сейсмическое воздействие приводит к увеличению фрактальной размерности в режимах вытеснения нефти водой и стационарной фильтрации смеси нефть/вода. В режимах вытеснения воды нефтью и на конечной стадии отмывания образца водой наблюдается обратная картина – сейсмическое воздействие приводит к понижению фрактальной размерности. Особенно ярко это проявляется по перепаду порового давления.

2. Противоточная капиллярная пропитка нефтяных коллекторов является действенным фактором нефтеизвлечения. Несмотря на сравнительно большой объем экспериментов, большинство их ограничивалось небольшим временем наблюдений, предполагающим, что выход кривой насыщения на условную асимптоту сигнализирует о необратимом затухании процесса. В экспериментах по капиллярной пропитке обычно строятся графики прироста

насыщенности от безразмерного (приведенного) времени $t_D = \frac{1}{L^2} \sqrt{\frac{k}{m}} \frac{\sigma}{\sqrt{\mu_w \mu_{nw}}} t$, где L –

характерная длина образца, м; k – проницаемость, m^2 ; m – пористость; σ – коэффициент поверхностного натяжения, Н/м; μ_w , μ_{nw} – динамические вязкости, соответственно, смачивающей и несмачивающей фаз, Па·с. В большинстве известных экспериментов это безразмерное время не превышает 10^3 [8]. Нами были проведены лабораторные эксперименты по противоточной капиллярной пропитке образцов горных пород, где максимальное безразмерное время составило 10^5-10^6 . Проведение столь длительных наблюдений позволило установить, что существует некая «кажущаяся» («промежуточная») асимптота предельной насыщенности, где скорость пропитки мала, но далее процесс пропитки ускоряется.

Параметры противоточной капиллярной пропитки определялись по изменению гидростатического веса образцов, погруженных в пропитывающую жидкость. В качестве пропитывающей жидкости использовалась дистиллированная вода. В 1-ой серии экспериментов образцы с открытыми торцами и боковой поверхностью полностью погружались в воду. Во 2-ой серии экспериментов боковая поверхность образцов изолировалась, проницаемыми оставались только оба торца. В 3-ей серии экспериментов один из торцов также изолировался, и пропитка осуществлялась только через единственный проницаемый торец. Длительность каждого эксперимента достигала 1000 час, или 40 сут.

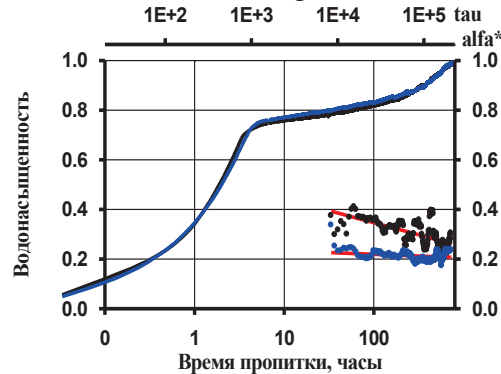


Рис. 2. Кривые капиллярной пропитки образцов зерна через один проницаемый торец.

По результатам экспериментов получены кривые самопроизвольного капиллярного вытеснения воздуха водой в координатах текущая водонасыщенность – время. Примеры таких кривых при пропитке через единственный открытый торец показаны на рис. 2. Нижняя горизонтальная ось на этом рисунке показывает абсолютное время, верхняя горизонтальная ось – безразмерное время. Очевидно, что их S-образная форма сохраняется только до 10-100 час, далее происходит устойчивый рост насыщенности к максимально возможной, равной 1. На этом же рисунке представлено уменьшение со временем пропитки параметра α^* – максимума мультифрактального спектра сингулярности кривых насыщенности [4].

По полученным кривым определялись следующие параметры: (1) показатель степени α закона $S \propto t^\alpha$, аппроксимирующего рост насыщенности на начальной стадии пропитки; (2) времена T_1 и T_2 , ограничивающие промежуточный интервал снижения скорости пропитки; (3) коэффициент β закона $S \propto \beta \log t$, аппроксимирующего рост насыщенности на конечной стадии пропитки. Если построить зависимости указанных эмпирических параметров от величины $\sqrt{\frac{k}{m}}$, то можно проследить следующие основные тенденции:

В начальной стадии противоточной капиллярной пропитки образцов через один или два открытых торца увеличение насыщенности хорошо аппроксимируется степенным законом $S \propto t^\alpha$. Согласно теоретическим моделям и некоторым экспериментам с разными пористыми материалами, показатель $\alpha=0.5$. В наших же экспериментах показатель α превышает эту теоретическую величину и варьирует в пределах от 0.57 до 0.68 и даже выше. Прослеживается явная тенденция увеличения показателя α с ростом проницаемости.

Конечная стадия противоточной капиллярной пропитки исследованных образцов приближенно описывается законом $S \propto \beta \log t$ с асимптотическим приближением насыщенности к максимально возможной (в отдельных случаях – даже, как это не удивительно, к 1). Величина коэффициента β варьирует от 0.1 до 0.3 и имеет тенденцию к снижению с ростом проницаемости образцов.

Величины времен T_1 и T_2 , ограничивающие промежуточный интервал замедления капиллярной пропитки, имеют тенденцию к снижению с увеличением величины $\sqrt{\frac{k}{m}}$. При этом величина T_2 приблизительно в 100-200 раз больше величины T_1 .

Возможная связь эмпирических законов $S \propto t^\alpha$, $S \propto \beta \log t$ с фрактальными свойствами пористых сред обсуждается в работе [4].

Наличие промежуточного интервала снижения прироста насыщенности было обнаружено нами и ранее в серии экспериментов по противоточной капиллярной пропитке водой нефтенасыщенных образцов [2]. Временное замедление скорости капиллярной пропитки было зафиксировано, в среднем, в интервале от 40 до 100 час.

3. Электрокинетические явления в горных породах издавна привлекали внимание геофизиков. Ключевыми параметрами электрокинетических явлений в горных породах являются параметры двойного электрического слоя на контакте минеральной фазы и насыщающего флюида. К основным параметрам двойного электрического слоя относятся: коэффициент электроосмоса; коэффициент потенциала течения; величина ζ -потенциала; характерная ширина немобильной части двойного электрического слоя, или так называемая длина Дебая.

В соответствии с термодинамикой неравновесных процессов электрокинетические явления можно представить в линейном приближении следующей системой уравнений [5]:

$$\mathbf{j} = L_{11}\mathbf{E} + L_{12}\nabla p, \quad (1)$$

$$\mathbf{v} = -L_{21}\mathbf{E} - L_{22}\nabla p, \quad (2)$$

где \mathbf{j} - плотность электрического тока, А/м²; \mathbf{v} - скорость фильтрации жидкости, м/с; \mathbf{E} - напряженность электрического поля, В/м; ∇p - градиент давления, Па/м; L_{ij} - термодинамические постоянные, причем согласно принципу Онзагера, $L_{12}=L_{21}$. Первый член в правой части уравнения (6) соответствует закону Ома, а второй член в правой части уравнения (7) – закону фильтрации Дарси. Другие члены уравнений (1) и (2) с коэффициентами L_{12} и L_{21} представляют электрокинетические явления. Коэффициенты L_{ij}

для пористой среды определяются в виде $L_{11} = m\sigma$, $L_{12} = L_{21} = \tilde{L} = \frac{m\epsilon\epsilon_0\zeta}{\mu}$, $L_{22} = \frac{k}{\mu}$, где ζ - электрокинетический потенциал, В; m - пористость; k - проницаемость, м²; μ - динамическая вязкость флюида, Па·с; ϵ - относительная диэлектрическая проницаемость; $\epsilon_0=8.85 \cdot 10^{-12}$ Кл/(В·м) – электрическая постоянная; σ - удельная электропроводность, (Ом·м)⁻¹.

По величинам коэффициентов Онзагера L_{12} и L_{21} можно рассчитать коэффициент потенциала течения $K_S = \frac{\mathbf{E}}{\nabla p} = \frac{L_{12}}{\sigma}$ и коэффициент электроосмоса $K_E = \frac{\nabla p}{\mathbf{E}} = \frac{L_{21}\mu}{k}$.

Дополнительно из полученных данных можно рассчитать величину x_d – «длину

Дебая» $x_d = \sqrt{\frac{\epsilon_f k_b T}{2e^2 C_f}}$, где ϵ_f – диэлектрическая константа электролита ($\epsilon_f=80 \cdot \epsilon_0$ для воды, $\epsilon_0 =$

$8.84 \cdot 10^{-12}$ Ф/м), k_b – постоянная Больцмана ($1.381 \cdot 10^{-23}$ Дж/°К), T – температура, e – элементарный заряд электрона ($1.602 \cdot 10^{-19}$ Кл), C_f – солёность (м⁻³). Солёность связана с молярной концентрацией ионов M формулой $C_f=10^3 M \cdot N$, где N – число Авогадро.

Указанные электрокинетические параметры были получены в лабораторных экспериментах в режиме однофазной фильтрации водного раствора электролита через образцы песчаников. Величина ζ -потенциала составила -25 ± 2 мВ; величина коэффициента потенциала течения - $K_S = (3.6 \pm 0.3) \cdot 10^{-8}$ м³/А·с, или ~ 3.6 мВ/атм; величина коэффициента электроосмоса - $K_E = 74 \pm 6$ А·с/м³ (или Па/В), или ~ 0.074 атм/100 В. С учетом концентрации использованного в экспериментах водного раствора электролита NaCl ~ 0.13 моль/л оценка длины Дебая составила $x_d \approx 0.815$ нм [3].

Далее была проведена оценка электрокинетических коэффициентов в режиме стационарной двухфазной фильтрации смеси вода/керосин в соотношении 50:50. Зафиксирована обратная зависимость между разностью градиентов порового давления при разном направлении электрического тока и общим перепадом давления на модели (см. рис. 3). Простейшая интерпретация этой зависимости такова: с ростом фильтрационного

сопротивления величина электрокинетического коэффициента \tilde{L} снижается, причем со сменой знака.

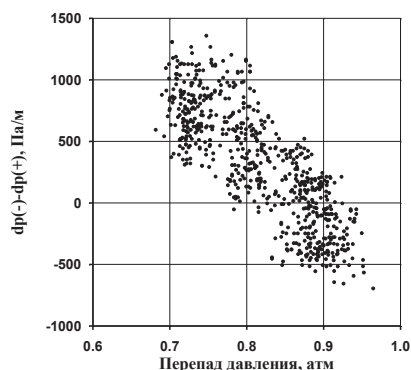


Рис. 3. Двухфазная фильтрация смеси вода-керосин в соотношении 50:50. Зависимость разностей перепада давления при смене полярности тока от среднего перепада давления.

Первый эффект, т.е. резкое снижение величины электрокинетического коэффициента Онзагера при замене режима от водонасыщенности к нефтенасыщенности является установленным экспериментальным фактом. В частности, согласно работе [3], снижение величины электрокинетического коэффициента для песчаника, начально насыщенного водным раствором, а затем нефтью, может достигать трех порядков. Второй эффект, т.е. смена знака электрокинетического коэффициента, также наблюдался в экспериментах, в частности, при изменении концентрации раствора электролита. Было отмечено, что с увеличением концентрации фонового электролита ζ -потенциал уменьшается вследствие сжатия диффузной зоны двойного электрического слоя. Как правило, при увеличении концентрации электролита ζ -потенциал по абсолютной величине сначала уменьшается и, проходя через ноль, возрастает до некоторого значения, после чего вновь убывает [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алтунина Л.К., Кувшинов В.А. Увеличение нефтеотдачи пластов композициями ПАВ. М.: Наука. 1995. 198 с.
2. Барабанов В.Л. Особенности противоточной капиллярной пропитки низкопроницаемых горных пород // Теория и практика применения методов нефтеотдачи пластов / Материалы III Межд. научного симпозиума 20-21 сент. 2011 г. Т. 2. М.: ВНИИнефть. 2011. С. 78-82.
3. Барабанов В.Л. Оценка электрокинетических параметров горных пород в экспериментах по однофазной фильтрации // В сб.: Триггерные эффекты в геосистемах. Под ред. В.В.Адушкина и Г.Г.Кочеряна. М.: ГЕОС. 2015. С. 266-273.
4. Барабанов В.Л., Любушин А.А. Опыт исследования фрактальных свойств капиллярной пропитки горных пород // Инженерно-физический журнал. 2013. Т. 86, № 1. С. 3-13.
5. Николаевский В.Н. Геомеханика и флюидодинамика. М.: Недра. 1996. – 448 с.
6. Aharonov E., Rothman D.H. Growth of correlated pore-scale structures in sedimentary rocks: A dynamical model // J.Geophys.Res. 1996. V. 104, № B2. P. 2973- 2987.
7. Jiang Y., Shan F., Jin H., Zhou L., Sheng P. A method for measuring electrokinetic coefficients of porous media and its potential application in hydrocarbon exploration // Geophys. Res. Lett. 1998. V. 25, № 10. P. 1581-1584.
8. Morrow N.R., Fischer H., Li Y., Mason G., Ruth D., Yin P., Wo S. Fundamental of reservoir surface energy as related to surface properties, wettability, capillary action, and oil recovery from fractured reservoirs by spontaneous imbibition/ DE-FC26-03NT15408/Semi-Annual Report 07/01/2006 -12/31/2006/ University Ave Laramie, WY 82071.

ДК 550.372

**РАЗВИТИЕ МЕТОДИКИ АЗИМУТАЛЬНОГО МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО
МОНИТОРИНГА НА БИШКЕКСКОМ ПРОГНОСТИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ***Баталева Елена Анатольевна, Баталев Владислав Юрьевич**e-mail: bataleva@gdirc.ru**Научная станция РАН, г. Бишкек, Киргизия*

Аннотация. Представлены результаты детального анализа данных магнитотеллурического мониторинга с привлечением результатов синхронных измерений в удаленном базовом пункте Укок (методика remote reference). Особое внимание уделялось определению зон тензочувствительности – динамического влияния разлома в корреляции с лунно-солнечными приливами.

**THE NEW TECHNOLOGY RESEARCH OF WELLS
IN THE REGIME OF CYCLICAL LOGGING***Elena Bataleva, Vladislav Batalev**e-mail: bataleva@gdirc.ru**Scientific Station, Russian Academy of Sciences, Bishkek, Kyrgyzstan*

Summary. The results of detailed analysis of magnetotelluric monitoring data are presented with the use of results of synchronous measurements at the Ukok station (remote reference technique). Particular attention was paid to the determination of the zones of strain sensitivity - the dynamic influence of the fault in correlation with the lunar-solar tides.

За период более чем тридцатилетних наблюдений региональной мониторинговой сетью для территории Бишкекского геодинамического полигона (Северный Тянь-Шань) было установлено повышенное количество слабых и практически полное отсутствие крупных сейсмических событий. Поэтому и развитие мониторинговой сети полигона было направлено на решение задач, ориентированных на изучение закономерностей изменения электромагнитных параметров и сейсмического процесса малых энергий. Мониторинговые магнитотеллурические (МТ) наблюдения выполняются на Бишкекском геодинамическом полигоне (БПП) с 2003 года, когда канадская компания «Феникс Геофизикс» совместно с Научной станцией РАН установила две станции Феникс MTU-5D на стационарных пунктах Ак-Суу и Чон-Курчак [1-3]. Обе станции находятся на территории Бишкекского геодинамического полигона, который в свою очередь является частью Северо-Тяньшаньской сейсмогенерирующей зоны (рис.1), регистрация данных осуществляется круглосуточно в интервале периодов 0,01-1000 с. В процессе регистрации непрерывных МТ-наблюдений не реже одного раза в 3 месяца контролируются такие характеристики измерительной системы как стабильность коэффициента передачи канала и форма амплитудно-фазовой частотной характеристики [1-3]. Результаты интерпретации магнитотеллурических данных, полученных в сейсмоактивных регионах Центрального Тянь-Шаня, свидетельствуют о чрезвычайной сложности геоэлектрических моделей (рис.2), построенных для зон тектонических деформаций, что в первую очередь обусловлено наличием разломов различных порядков [4-9]. Вместе с тем, именно изучение структуры и поведения активных разломных зон является одним из ключевых моментов при проведении мониторинговых работ, поскольку существует предположение о тесной взаимосвязи процессов разломообразования и сейсмичности [10,11]. В исследованиях, связанных с развитием принципиально новой методики азимутального магнитотеллурического мониторинга, рассматривались временные ряды вариаций (отклонения от среднего) для электромагнитных параметров среды по азимутам $0^\circ - 180^\circ$ в зависимости от периода зондирования [12-14].

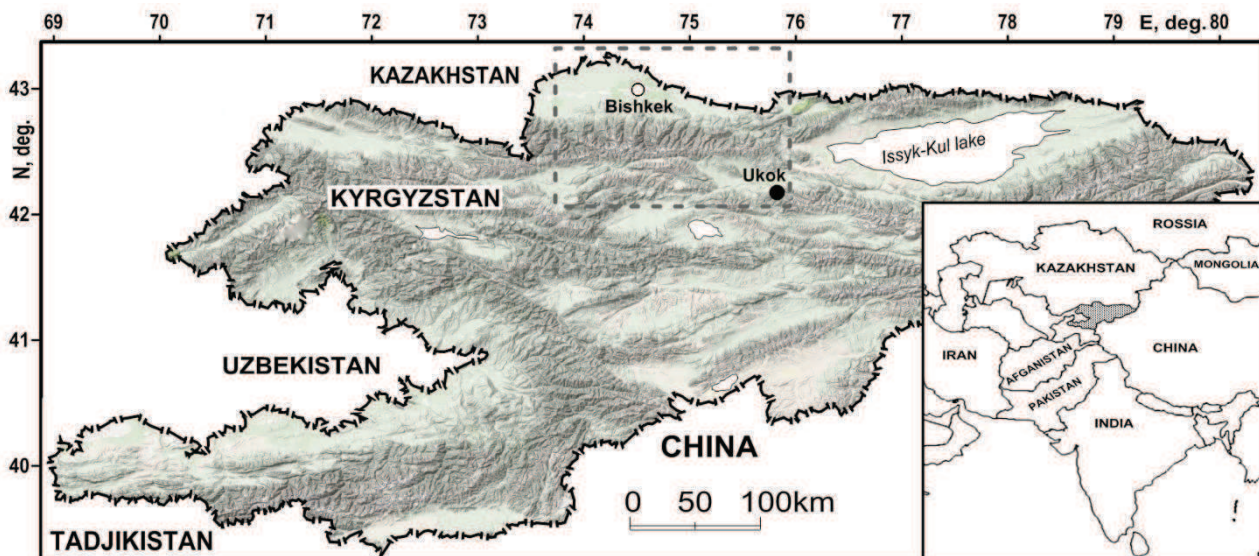


Рис. 1. Схема расположения Бишкекского геодинамического полигона (пунктирный прямоугольник) и режимного пункта МТ-мониторинга Укок

Однако при более детальном анализе временных рядов магнитотеллурического мониторинга оказалось, что представление данных в виде полярных диаграмм является не только более наглядным, но и может привести к принципиально другим выводам (рис.3). Обнаружены характерные изменения электромагнитных параметров, которые могут быть объяснены перераспределением флюидов между системами трещин [12]. При анализе частотно-временных рядов данных МТ-мониторинга выявлена связь между изменениями кажущегося сопротивления (ρ_k) и местоположением (азимутальным углом) групп эпицентров землетрясений для рассматриваемых интервалов времени [13].

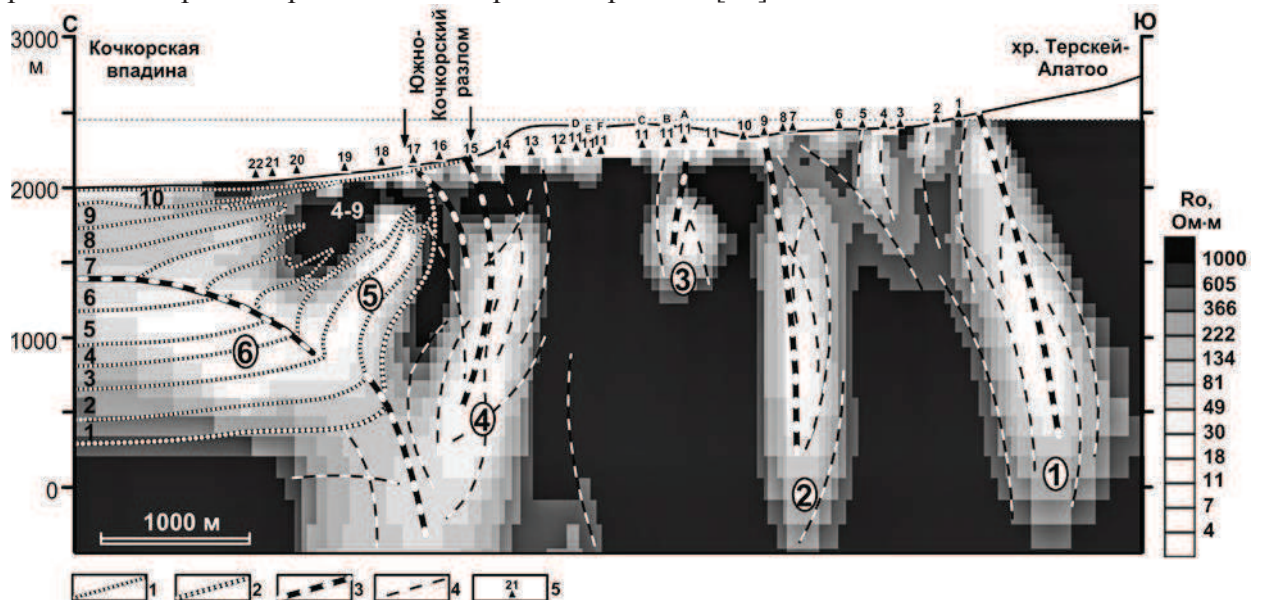


Рис. 2. Геологическая интерпретация геоэлектрической модели по профилю через южный борт Кочкорской впадины. Цветовая градация удельных электросопротивлений на шкале справа. Расположение пункта МТЗ 21 (Укок) показано на схеме рис. 1. Цифрами от 1 до 10 на рисунке обозначены номера пачек. Цифрами в кружках (от 1 до 6) обозначены электропроводящие структуры. 1- кровля (подошва) пачек, 2- подошва красноцветных отложений киргизской серии, 3- разломы, 4- зоны трещиноватости, 5- пункты МТЗ.

В настоящей работе представлены результаты исследований, выполненные в Кочкорской впадине (режимный пункт МТ- мониторинга) и связанные с развитием методики

азимутального магнитотеллурического мониторинга, которая заключается в анализе полученных временных рядов электромагнитных параметров на предмет определения вклада каждой из компонент тензора импеданса в информативность мониторинговых исследований [14,15]. Для анализа данных МТ-мониторинга и профильных наблюдений для территории Бишкекского прогностического полигона (БПП) разработано программное обеспечение и распределенная интерактивная система доступа к результатам магнитотеллурического мониторинга [16-18]. Рассмотрены результаты двух сессий режимных наблюдений – 10 дневной (2017 г.) и 13 дневной (2015 г.), в диапазоне периодов 0,01-1000 с построены частотно-временные ряды кажущегося сопротивления, фазы импеданса и типперы, а также их полярные диаграммы.

Данные МТ-мониторинга стационарных пунктов были обработаны с использованием технологии remote reference, где в качестве базовой станции использовался пункт Укок. Результаты обработки свидетельствуют об успешности применения пункта Укок в качестве базовой станции.

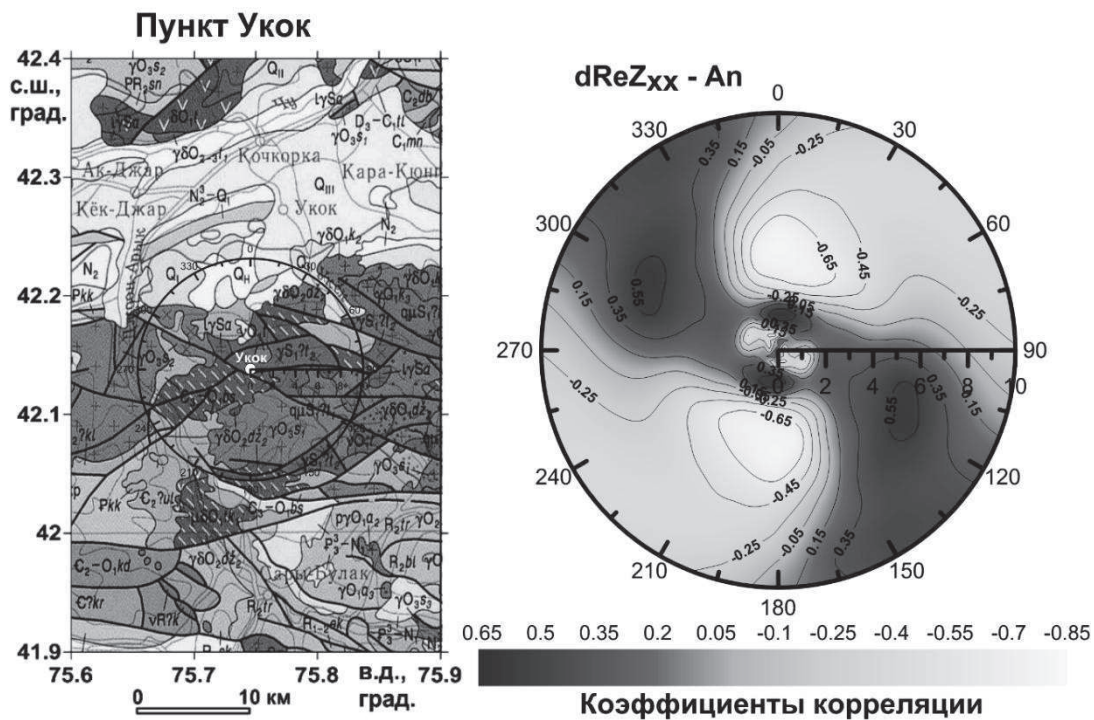


Рис. 3. Панель слева – фрагмент геологической карты вблизи расположения режимного пункта МТ-мониторинга Укок; панель справа - распределение коэффициента корреляции (дополнительный импеданс Z_{xx} и вертикальная компонента приливных воздействий A_n) в полярных координатах, где по оси радиусов показан \sqrt{T} (T-период). Цвет и изолинии показывают значения коэффициента корреляции.

В результате выполненных исследований получены новые данные о возникновении вариаций кажущегося сопротивления при изменении напряженно-деформированного состояния среды. Полевыми экспериментами подтверждена концепция взаимосвязи между напряженно-деформированным состоянием среды и изменением кажущегося сопротивления.

Анализ корреляционных соотношений между вариациями кажущегося сопротивления и лунно-солнечными приливами свидетельствует о существовании взаимосвязи между этими явлениями. Высокий уровень значений коэффициентов корреляции указывает на тензочувствительность зоны динамического влияния разлома в корреляции с лунно-солнечными приливами.

В результате анализа электромагнитных параметров среды на предмет выявления их взаимосвязи с лунно-солнечными приливными воздействиями и деформациями дневной поверхности установлено, что характер этой взаимосвязи зависит от геоэлектрической структуры пункта зондирования.

При анализе кластеров сейсмических событий и вариаций электромагнитных параметров следует отметить следующее:

приуроченность сейсмических событий к градиентным зонам изменения вариаций кажущегося сопротивления;

частотно-временные ряды вариаций фаз импеданса менее информативны по сравнению с другими электромагнитными параметрами, что может быть связано с существованием не только механизма перераспределения флюидов в системе трещин, но и с «емкостной» моделью;

наибольший отклик в ЧВР вариаций электромагнитных параметров оставляют сейсмические события, произошедшие под углами 35-65° по отношению к пункту наблюдения, наименьший – субширотно.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ 17-05- 654а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыбин А.К., Сафронов И.В., Щелочков Г.Г., Баталев В.Ю., Баталева Е.А., Фокс Л., Ингеров А. О магнитотеллурическом мониторинге на Бишкекском геодинамическом полигоне // В сб.: материалы международной конференции «Проблемы сейсмологии III-тысячелетия», 15-19 сентября 2003 года, Новосибирск. 2003. С. 249-254.
2. Рыбин А.К., Спичак В.В., Баталев В.Ю., Баталева Е.А., Матюков В.Е. Площадные магнитотеллурические зондирования в сейсмоактивной зоне Северного Тянь-Шаня // Геология и геофизика. 2008. №5. С. 445-460.
3. Рыбин А.К., Баталева Е.А., Баталев В.Ю., Матюков В.Е. Вариации электросопротивления земной коры по результатам магнитотеллурического мониторинга сейсмоактивных зон Тянь-Шаня // Вестник КРСУ. 2011. Том 11. №4. С.29-40.
4. Рыбин А.К., Баталев В.Ю., Баталева Е.А., Макаров В.И., Сафронов И.В. Структура земной коры по данным магнитотеллурических зондирований /В кн.: Современная геодинамика областей внутриконтинентального коллизионного горообразования (Центральная Азия). М.: Научный мир. 2005. С. 79-96.
5. Баталева Е. А., Рыбин А. К., Баталев В. Ю., Сафронов И. В. О возможности использования магнитотеллурического зондирования для исследования тектонических нарушений в массивах горных пород // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2005. №3. С.38-45.
6. Баталева, Е.А. Глубинная структура крупнейших разломных зон западной части Киргизского Тянь-Шаня и современная геодинамика : дис. ... канд. геол.-мин. наук – Новосибирск, 2005. – 200 с.
7. Баталева Е.А., Буслов М.М., Рыбин А.К., Баталев В.Ю., Сафронов И.В. Аномалии электропроводности зоны Таласо-Ферганского разлома и геодинамическая интерпретация глубинной структуры юго-западного Тянь-Шаня // Геология и геофизика. 2006. № 9. С.1036-1042.
8. Новиков И.С., Еманов А.А., Лескова Е.В., Баталев В.Ю., Рыбин А.К., Баталева Е.А. Система новейших разрывных нарушений Юго-Восточного Алтая: данные об их морфологии и кинематике // Геология и геофизика. 2008. Т.49. №11. С.1139-1149.
9. Баталева Е.А., Баталев В.Ю. Построение псевдорельефов крупнейших разломных структур для территории Центрального Тянь-Шаня // Вестник КРСУ. 2015. Т.15. № 3. С. 104-107.
10. Scholz С.Н. The mechanics of earthquakes and faulting. – New York: Cambridge University Press, 2002. – 283 p.

11. Reid H.F. The California earthquake of April 18, 1906: The mechanics of the earthquake/ H.F. Reid //Carnegie Institute of Washington Publication. – Washington. 1910. 87 (v.2) - 192 p.
12. Баталева Е.А., Баталев В.Ю., Рыбин А.К. К вопросу о взаимосвязи вариаций электропроводности земной коры и геодинамических процессов // Физика Земли. 2013. № 3. С.105-113.
13. Баталева Е.А., Рыбин А.К., Баталев В.Ю. Вариации кажущегося сопротивления горных пород как индикатор напряженного состояния среды // Геофизические исследования. 2014. Т.15. №.4. С.53-64
14. Баталева Е.А. Корреляционные зависимости электромагнитных и деформационных параметров // Докл. АН. 2016. Т.468 № 3 С. 319–322.
15. Баталева Е.А., Баталев В.Ю. Проявление разломных структур в электромагнитных параметрах (для территории Центрального Тянь-Шаня) // Вестник КРСУ. 2015. Т.15. № 9. С.160-164.
16. Рыбин А.К., Баталев В.Ю., Баталева Е.А., Матюков В.Е., Десятков Г.А., Лыченко Н.М., Манжикова С.Ц., Тен В. Разработка распределенной интерактивной системы доступа к результатам магнитотеллурического мониторинга // Материалы Пятого международного симпозиума «Современные проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов», 19-24 июня 2012, Бишкек. Москва-Бишкек. 2012. С.179-187.
17. Баталева Е.А. Разработка программ анализа данных азимутального магнитотеллурического мониторинга Часть 1. Анализ данных магнитотеллурического мониторинга / Е.А. Баталева, В.Ю. Баталев // Вестник КРСУ. 2014. Т.14, №7. С. 3-7.
18. Баталева Е.А. Разработка программ анализа данных азимутального магнитотеллурического мониторинга Часть 2. Разработка программного обеспечения для анализа данных МТ мониторинга / Е.А. Баталева, В.Ю. Баталев // Вестник КРСУ. 2014. Т.14, №7. – С. 8-12.

УДК 550.372

**ВЛИЯНИЕ РОЕВ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ
НА ВАРИАЦИИ КАЖУЩЕГОСЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ**

Баталева Елена Анатольевна, Баталев Владислав Юрьевич

e-mail: bataleva@gdirc.ru

Научная станция РАН, г. Бишкек, Киргизия

Аннотация. Представлены и проанализированы данные магнитотеллурического мониторинга для нескольких роев сейсмических событий на территории Бишкекского геодинамического полигона. Показана эффективность методики азимутального мониторинга при изучении современных геодинамических процессов сейсмоактивных регионов.

**INFLUENCE OF THE SWARMS OF SEISMIC EVENTS
ON THE VARIATION OF THE DETAILED RESISTANCE**

Elena Bataleva, Vladislav Batalev

e-mail: bataleva@gdirc.ru

Scientific Station, Russian Academy of Sciences, Bishkek, Kyrgyzstan

Summary. The data of magnetotelluric monitoring for several swarms of seismic events on the territory of the Bishkek geodynamic test site are presented and analyzed. The effectiveness of the azimuth monitoring method in studying modern geodynamic processes of seismically active regions is shown.

Полевые исследования с целью поиска предвестников сейсмических событий и процессов подготовки землетрясений были начаты практически одновременно в СССР и Японии в середине 60-х годов прошлого столетия [1-3]. Работы выполнялись методом электрического зондирования земной коры и оказались весьма успешными, что способствовало их широкому использованию в комплексе мониторинговых наблюдений на прогностических полигонах, расположенных в сейсмоактивных регионах [1-3]. Аномальные изменения электрического сопротивления горных пород перед землетрясениями были зафиксированы на нескольких геодинамических полигонах, в том числе и на Бишкекском геодинамическом прогностическом полигоне (рис.1) [4-6]. Основной целью магнитотеллурического мониторинга является поиск закономерностей в поведении частотно-временных рядов электромагнитных параметров и их взаимосвязи с геодинамическими процессами, происходящими на территории полигона [7-10].

Особое внимание в работе уделялось выявлению пространственно-временных закономерностей протекания электромагнитного процесса в зонах разломов, установление их взаимосвязи с геолого-геофизическими характеристиками, флюидодинамикой и сейсмичностью исследуемого региона [11-14]. Вариации электромагнитных параметров для мониторинговых станций Ак-Суу и Чон-Курчак были представлены в виде частотно-временных рядов (ЧВР) для каждого квартала 2007 и 2016 годов, проанализирована корреляционная зависимость между аномальными изменениями ρ_k и фазы импеданса в ортогональных направлениях, энергетическим классом сейсмических событий, эпицентральной расстоянием и азимутом. Необходимо отметить, что в геоэлектрических построениях наиболее четко зоны тектонических нарушений проявляются до глубин порядка 20-25 километров [4,5, 15], поэтому особое внимание уделялось поведению электромагнитных параметров в пунктах магнитотеллурического мониторинга, приуроченных именно к активным разломным структурам. Отчасти это связано с тем, что существует предположение о тесной взаимосвязи процессов разломообразования и сейсмичности. При этом особый интерес вызывает вопрос о процессе возникновения

сейсмических событий при активизации разломов и закономерностях миграции очагов землетрясений в них [12-14].

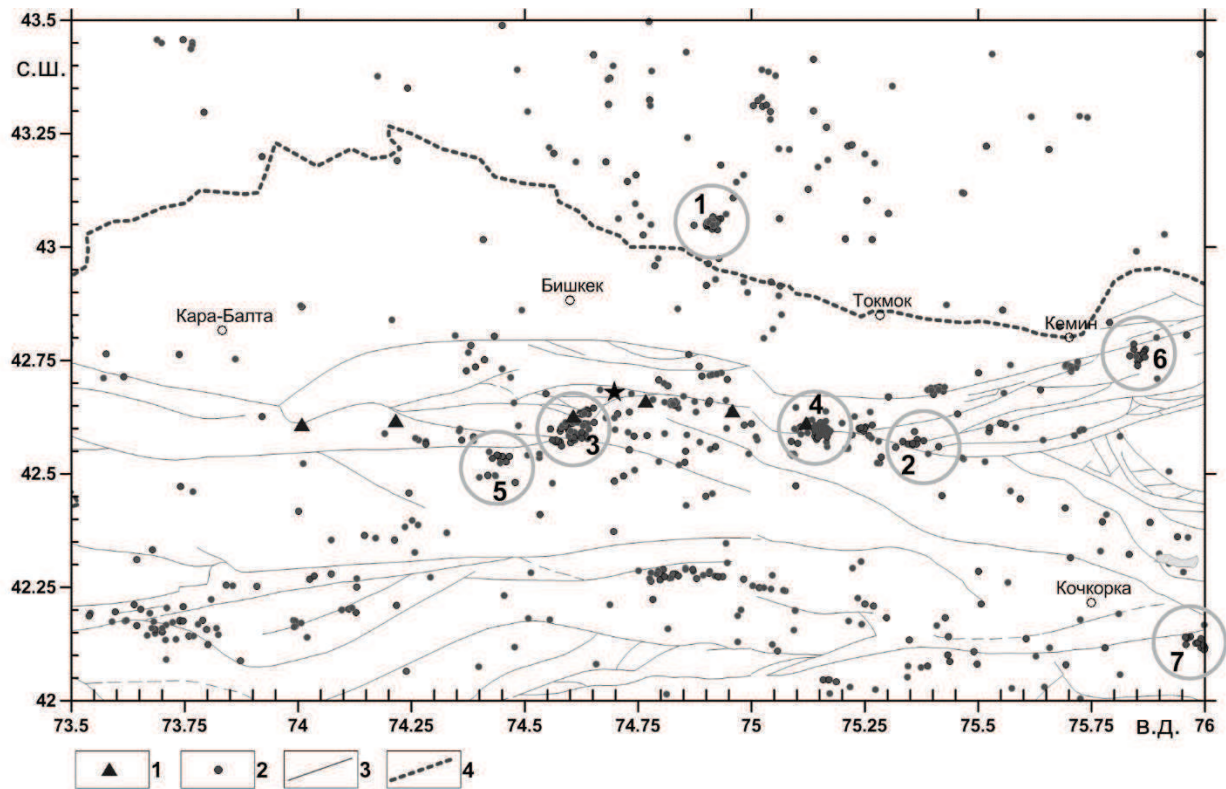


Рис. 1 – Схема расположения активных разломов и кластеры землетрясений: 1- пункты электромагнитного мониторинга; 2-эпицентры землетрясений за 2007 и 2016 гг. по данным каталога KNET, составленного в ИС РАН; 3- разломные структуры; 4- границы Кыргызской Республики. Кружками обозначены кластеры землетрясений: 1- Чумыш; 2- Шамси; 3- Чон-Курчак; 4- Кегеты; 5- Ала-Арча; 6- Кемин; 7- Укок.

Наиболее компактной формой представления частотно-временной структуры компонент передаточных операторов электромагнитного поля являются их псевдоразрезы – карты с профилем наблюдения по горизонтали и параметром глубинности (логарифмом периода) по вертикали. Временной ряд «азимутального» МТ – мониторинга состоит из нескольких частотно-временных диаграмм (псевдоразрезов) по числу азимутов, на которые производится пересчет тензора импеданса. По вертикальной оси псевдоразрезов откладывается период (T) зондирования, характеризующий его глубинность. Шагом по горизонтальной оси псевдоразрезов (оси времени t) является единичный отрезок времени, в пределах которого производится обработка МТ-зондирования для расчета значений кажущегося сопротивления в рабочем интервале периодов T . На частотно-временных диаграммах (псевдоразрезах) для текущего временного интервала (t) и для периода зондирования откладываются вариации электромагнитных параметров, т.е. разница между средним и текущим значениями, например, кажущегося сопротивления по рассматриваемому азимуту.

Нами рассматривались частотно-временные ряды модулей, фаз импеданса и типпера по 12-ти азимутальным направлениям для стационаров МТ-мониторинга Ак-Суу и Чон-Курчак. Предварительный анализ данных показал, что существует определенная взаимосвязь между расположением роя сейсмических событий, величиной эффекта и местоположением стационаров электромагнитного мониторинга. В частотно-временных рядах МТ-мониторинга за 2007 г. и 2016 г. на стационарных пунктах Ак-Суу и Чон-Курчак также выделены аномалии электромагнитных параметров, соответствующих модели перераспределения флюида в порово-трещинном пространстве, то есть, синфазное

уменьшение и увеличение значений параметра на ортогональных азимутах (рис.2, 3), что свидетельствует о связи изменения напряженно-деформированного состояния среды с перераспределением флюидов между системами трещин, которое и вызывает вариации активной и реактивной компоненты электрического сопротивления.

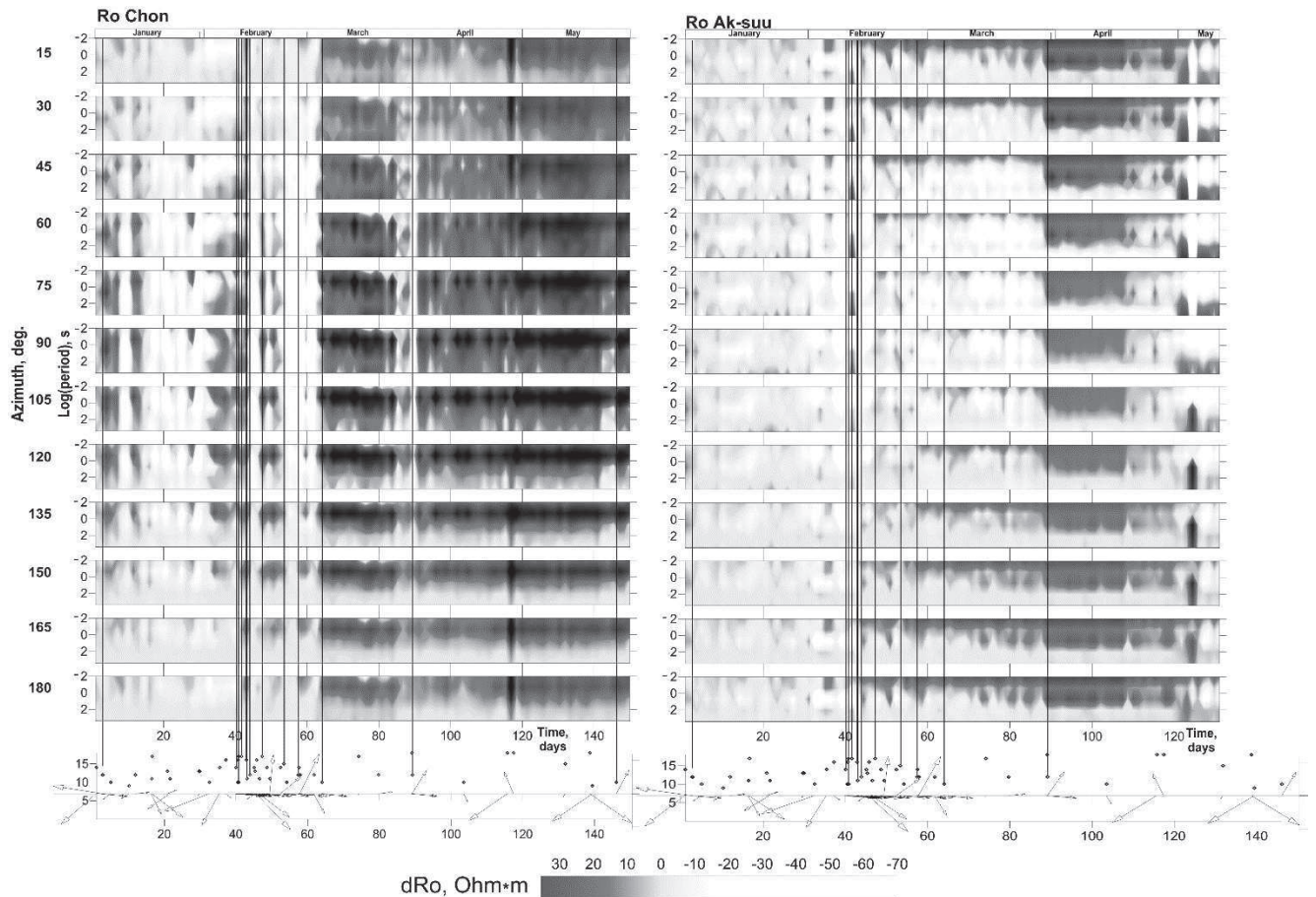


Рис.2 – Частотно-временные ряды азимутального МТ-мониторинга (вариации кажущегося сопротивления) по данным станции Ак-Суу и Чон-Курчак в сопоставлении с сейсмичностью за 1-2 квартал 2016 г. (ромбики – сейсмические события).

Особый интерес представляют вариации электромагнитных параметров в определенных интервалах периодов (эффективных глубин проникновения поля) наиболее чувствительных к изменению электромагнитных параметров среды для стационарных и режимных пунктов наблюдений по отношению к различным кластерам сейсмических событий. Нами установлено 2 таких диапазона – 1,5-3 км и более глубокий – 12-15 км, именно к этим интервалам глубин приурочены синфазные изменения электромагнитных параметров на ортогональных азимутах и наиболее ярко проявляется взаимосвязь изменений электромагнитных параметров с сейсмическими событиями.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

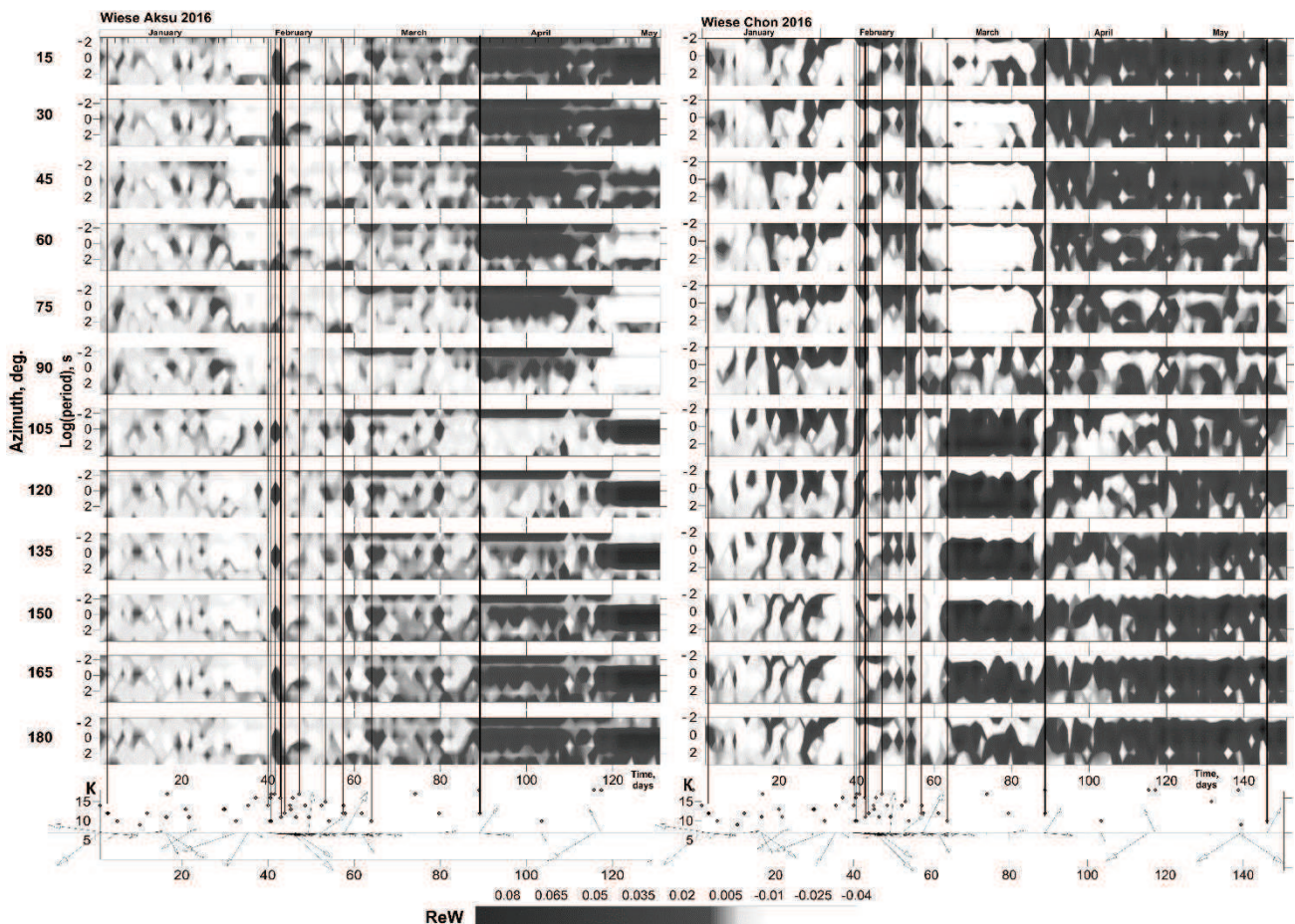


Рис.3 – Частотно-временные ряды азимутального МТ-мониторинга (вариации типпера) по данным станции Ак-Суу и Чон-Курчак в сопоставлении с сейсмичностью за 1-2 квартал 2016 г. (ромбики – сейсмические события).

закономерности изменения напряженно-деформационного состояния литосферы тесно связаны с геодинамическими процессами, протекающими в земной коре и верхней мантии, что проявляется, например, в распределении сейсмических событий, зачастую приуроченных к разломным структурам;

для региона исследований выявлены наиболее тензочувствительные объекты, отражающие аномальные изменения электропроводности в корреляции с лунно-солнечными приливными воздействиями. Установлен факт изменений электромагнитных параметров и геодинамических процессов, происходящих в разломных зонах;

совокупность экспериментальных данных и установленные закономерности пространственной структуры электропроводности, позволяют сделать вывод о том, что аномальные изменения кажущегося сопротивления пространственно локализованы и приурочены к флюидосодержащим разломным зонам, а структура временных изменений электропроводности в основном определяется динамикой глубинного минерализованного флюида в разломных зонах;

определены интервалы периодов (эффективных глубин проникновения поля) наиболее чувствительных к изменению электромагнитных параметров среды для стационарных и режимных пунктов наблюдений по отношению к различным кластерам сейсмических событий;

установлена зависимость между местоположением группы сейсмических событий и вариациями электромагнитных параметров и подтвержден факт приуроченности сейсмических событий к участкам с высокими градиентами вариаций в частотно-временных рядах.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ 17-05- 654а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барсуков О. М., Сорокин О. Н. Изменения кажущегося сопротивления горных пород в Гармском сейсмоактивном районе // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1981. № 10. С. 20-26.
2. Авагимов А.А. Электромагнитный мониторинг на геодинамических полигонах. Ашхабад: Ылым, 1993. 140 с.
3. Zhao Y. L. Geoelectric Precursors to Strong Earthquakes in China // Tectonophysics. 1994. V. 233. № I, 2. P. 99- 113.
4. Рыбин А.К., Спичак В.В., Баталев В.Ю., Баталева Е.А., Матюков В.Е. Площадные магнитотеллурические зондирования в сейсмоактивной зоне Северного Тянь-Шаня // Геология и геофизика. 2008. №5. С. 445-460.
5. Баталева Е. А., Рыбин А. К., Баталев В. Ю., Сафронов И. В. О возможности использования магнитотеллурического зондирования для исследования тектонических нарушений в массивах горных пород // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2005. №3. С.38-45.
6. Рыбин А.К., Баталева Е.А., Баталев В.Ю., Матюков В.Е. Вариации электросопротивления земной коры по результатам магнитотеллурического мониторинга сейсмоактивных зон Тянь-Шаня // Вестник КРСУ. 2011. Том 11. №4. С.29-40.
7. Баталева Е.А., Баталев В.Ю., Рыбин А.К. К вопросу о взаимосвязи вариаций электропроводности земной коры и геодинамических процессов // Физика Земли. 2013. № 3. С.105-113.
8. Баталева Е.А., Рыбин А.К., Баталев В.Ю. Вариации кажущегося сопротивления горных пород как индикатор напряженного состояния среды // Геофизические исследования. 2014. Т.15. №.4. С.53-64.
9. Рыбин А.К., Баталева Е.А., Леонов М.Г., Пржиялговский Е.С., Кожоголов К.Ч., Никольская О.В., Мамыров Э.М. Современная геодинамическая активность земной коры Северного Тянь-Шаня и опасные геологические процессы // Вестник КРСУ. 2016. Т.16. № 3. С. 157-163.
10. Баталева Е.А., Пржиялговский Е.С., Баталев В.Ю., Лаврушина Е.В., М.Г. Леонов, В.Е. Матюков, Рыбин А.К. Новые данные о глубинном строении Южнокочкорской зоны концентрированной деформации // ДАН. 2017. Том 475. № 5. С. 571–575.
11. Новиков И.С., Еманов А.А., Лескова Е.В., Баталев В.Ю., Рыбин А.К., Баталева Е.А. Система новейших разрывных нарушений Юго-Восточного Алтая: данные об их морфологии и кинематике // Геология и геофизика. 2008. Т.49. №11. С.1139-1149.
12. Баталева Е.А., Баталев В.Ю. Построение псевдорельефов крупнейших разломных структур для территории Центрального Тянь-Шаня // Вестник КРСУ. 2015. Т.15. № 3. С. 104-107.
13. Баталева Е.А., Баталев В.Ю. Проявление разломных структур в электромагнитных параметрах (для территории Центрального Тянь-Шаня) // Вестник КРСУ. 2015. Т.15. № 9. С.160-164.
14. Баталева Е.А. Корреляционные зависимости электромагнитных и деформационных параметров // Докл. АН. 2016. Т.468 № 3 С. 319–322.
15. Баталева Е.А., Буслов М.М., Рыбин А.К., Баталев В.Ю., Сафронов И.В. Аномалии электропроводности зоны Таласо-Ферганского разлома и геодинамическая интерпретация глубинной структуры юго-западного Тянь-Шаня // Геология и геофизика. 2006. № 9. С.1036-1042.

УДК 550.8:553.08:53/54

О ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ОБРАЗЦОВ ХРОМИТОВОЙ РУДЫ (ПРИ ПОСТОЯННОМ И ПЕРЕМЕННОМ НАПРЯЖЕНИИ)

Бахтерев Владимир Васильевич

e-mail: ugv@bk.ru

Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. Изучены температурные зависимости электрического сопротивления при постоянном напряжении и активного сопротивления при переменном напряжении частотой 1 кГц хромитовой руды в интервале температур 20–800 °С. Выявлены температуры T_0 , при которых электрическое сопротивление при постоянном напряжении становится равным активному сопротивлению при переменном напряжении для образцов руд с различным содержанием оксида хрома $P, \%$. Установлена корреляционная связь между параметром $H = T_0/20$ °С и $P, \%$: $P(\text{Cr}_2\text{O}_3, \%) = 80,56 + 1,88 H - 0,104 H^2$.

THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF CHROMITE ORE AT HIGH TEMPERATURES (IN THE CASE OF CONSTANT AND THE VARIABLE ELECTRIC VOLTAGE)

V.V Bakhterev

e-mail: ugv@bk.ru

Institute of Geophysics, UB of RAS, Yekaterinburg, Russia

Abstract. In this article, we studied the dependence of the ohmic electrical resistance at a constant voltage and of the active resistance at alternating voltage (1 kHz) chromite ore from the temperature (20–800 °C). We set the temperature (T_0), at which the electrical resistance values become equal to. This is done for all the samples with different content of chromite ore ($P, \%$). Established a correlation between the parameters $H = T_0/20$ °C and $P, \%$: $P(\text{Cr}_2\text{O}_3, \%) = 80,56 + 1,88 H - 0,104 H^2$.

Большинство минералов, горных пород, руд по механизму электропроводности ближе всего примыкают к диэлектрикам. Из всего многообразия физических свойств важнейшими, характеризующими вещество как диэлектрик, являются электрические свойства: поляризация, электропроводность, диэлектрическая проницаемость. В горных породах поляризация является результирующей нескольких различных процессов. Возникновение того или иного вида поляризации определяется физико-химическими свойствами среды, вещественным составом, структурными и текстурными особенностями.

Впервые температурные зависимости электрического сопротивления при постоянном напряжении и активного сопротивления при переменном напряжении (частота 1 кГц) в интервале 20–900 °С были получены А.Б. Успенской [1] при исследовании кварца различного генезиса. Для кварца всех генетических групп во всем интервале температур электрическое сопротивление, измеренное при постоянном напряжении, выше сопротивления, измеренного при переменном напряжении. Различие в значениях электрических сопротивлений, измеренных при постоянном и переменном напряжении, для отдельных образцов сохраняется до разных температур (от 600 до 800 °С), выше которых становятся одного порядка. При высоких температурах сопротивление при постоянном напряжении (омическое) и переменном напряжении (активное) совпадают. Это свидетельствует о том, что в этой области температур (где уже нет заметного спада тока со временем) потери определяются проводимостью, а для потерь проводимости характерно совпадение активного сопротивления при переменном напряжении и омического сопротивления при постоянном напряжении [2].

При нормальной температуре различие составляет 5–6 порядков. Это свидетельствует о том, что поляризационные процессы в разной мере присущи кварцам разной модификации, что обусловлено различным содержанием газовой-жидких включений и неоднородностей, которые вносят вклад в процесс поляризации.

При исследовании хромитовых руд ранее нами [3] были получены температурные зависимости при переменном напряжении (частота 1 кГц) в интервале 20–800 °С для разных типов руд. Для разных образцов совпадение сопротивлений при постоянном и переменном напряжении было зафиксировано при разных температурах. В работе [4] получены температурные зависимости электрического сопротивления при постоянном напряжении и активного сопротивления при переменном напряжении частотой 1 кГц образцов гранат-магнетитовой руды. Выявлена связь между температурой, при которой электрическое сопротивление при постоянном напряжении становится равным активному сопротивлению при переменном напряжении, и содержанием магнетита в руде.

Научный и практический интерес к температурным зависимостям на постоянном и переменном токе объясняется тем, что они (их соотношение от температуры) не менее тесно связаны с составом и структурой вещества, чем отдельно взятые электрические параметры. Это стимулирует поиск новых физических параметров для повышения информативности при поисках и оценке качества минерального сырья.

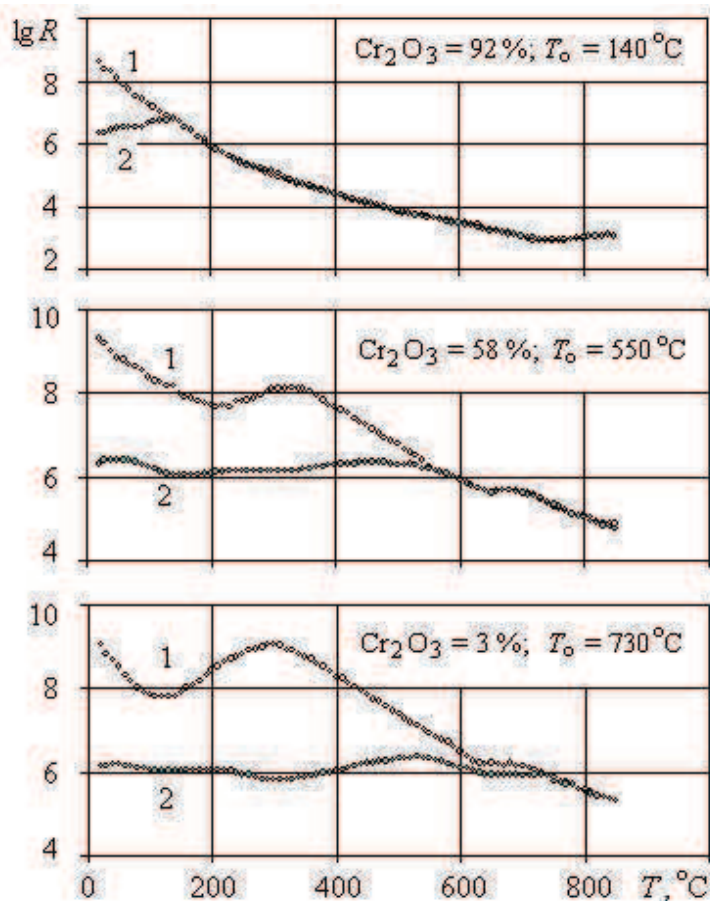


Рис. 1. Типичные температурные зависимости электрического сопротивления образцов хромитовой руды при постоянном (кривые 1) и переменном (кривые 2) напряжении.

Методика определения электропроводности образцов горных пород и электрических параметров при высоких температурах описана ранее [2]. Образцы для исследований вырезали в форме кубика с ребром 0,02 м. Измерения выполнены в открытой системе при атмосферном давлении. Электрическое сопротивление измеряли двухэлектродной установкой через каждые 10 градусов в интервале температур 20–800 °С. Скорость

нагревания 0,066 град/с. Температуру в системе определяли платино-платинородиевой термопарой в 0,01 м от образца. Измерения электрического сопротивления осуществляли при постоянном и переменном напряжении. Прибор для измерения электрического сопротивления на постоянном токе – тераомметр Е6-13 с динамическим диапазоном от 10 до 10^{14} Ом и пределами допустимой относительной погрешности измерений от $\pm 2.5\%$ до 4% в конце диапазона. В качестве прибора для определения электрического сопротивления на переменном токе использован «Измеритель LCR цифровой». Рабочая частота прибора 1 кГц.

Образцы хромитовой руды для настоящего исследования отобраны из карьера Поденного месторождения (Урал).

Результаты исследований приведены на рис. 1, 2. В качестве примера на рис. 1 даны типичные температурные зависимости электрического сопротивления при постоянном (кривые 1) и активного сопротивления (кривые 2) при переменном напряжении образцов руды с различным содержанием оксида хрома.

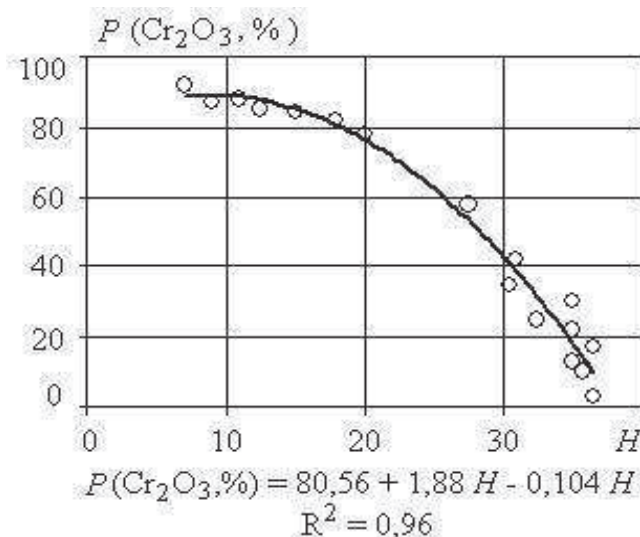


Рис. 2. Связь между температурой T_0 , при которой электрическое сопротивление при постоянном напряжении становится равным активному сопротивлению при переменном напряжении, и содержанием оксида хрома $P, \%$: кружки – хромитовая руда. Кривая – линия корреляции $P(\text{Cr}_2\text{O}_3, \%) = f(H)$. Здесь $H = T_0/20$ °C

При нормальной температуре (20 °C) наблюдается большое различие сопротивлений при постоянном и переменном напряжении (достигает 2–3 порядка). Различие обусловлено влиянием сложных поляризационных процессов, происходящих в неоднородной среде. По мере нагревания образцов различие уменьшается и при достижении некоторой температуры (T_0 , для разных образцов разной) становится практически одинаковым. Сопротивление на постоянном токе исследованных образцов во всем температурном интервале уменьшается на 4–6 порядков. Диапазон изменений электрического сопротивления на переменном токе разный. Для некоторых исследованных образцов сопротивление меняется в пределах одного порядка, для других образцов – достигает двух-трех порядков.

Выделим два момента. Во-первых, чем больше содержание оксида хрома в образце, тем ниже температура T_0 , при которой сопротивление на постоянном токе становится равным активному сопротивлению на переменном токе. Во-вторых, чем выше содержание оксида хрома в образце, тем значительнее вариации величины активного сопротивления на переменном токе во всем температурном интервале (рис. 1).

По температурным зависимостям электрического сопротивления при постоянном и переменном напряжении определены значения температур T_0 и сопоставлены с содержанием оксида хрома в образцах (рис. 2).

Заключение. Таким образом, получены температурные зависимости электрического сопротивления при постоянном напряжении и активного сопротивления при переменном

напряжении частотой 1 кГц образцов хромитовой руды. Установлена связь между температурой T_0 , при которой электрическое сопротивление при постоянном напряжении становится равным активному сопротивлению при переменном напряжении, и содержанием оксида хрома в руде.

Для исследованных руд Поденного месторождения она выражается соотношением $P(\text{Cr}_2\text{O}_3, \%) = 80,56 + 1,88 H - 0,104 H^2$. Здесь $H = T_0/20$ °С.

Приведенные результаты справедливы для хромитовой руды Поденного месторождения, для других типов руд и месторождений они могут отличаться в силу их генетических особенностей и минерального состава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Успенская А.Б. Температурные зависимости электрического сопротивления жильного кварца оловорудных месторождений / В кн.: Новые данные о минералах. Отв. редактор Барсанов Г.П. М.: Наука. 1985. Вып. 32. С. 146–154.
2. Желудев И.С. Физика кристаллических диэлектриков. М.: Наука, 1968. 463 с.
3. Бахтерев В.В. Особенности высокотемпературной электропроводности хромитовых руд и вмещающих их гипербазитов // Геология и геофизика, 2005, т. 46, № 8, с. 794–803.
4. Бахтерев В.В. О возможности оценки содержания магнетита в руде на основании сопоставления температурных зависимостей омического (при постоянном напряжении) и активного (при переменном напряжении частотой 1 кГц) сопротивлений // Уральский геофизический вестник. 2015. № 1(25). С. 9–14.

УДК 550.831

**СЕЗОННАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОНИТОРИНГОВЫХ
НАБЛЮДЕНИЙ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ НА ОБСЕРВАТОРИИ «АРТИ»***Бибнев Алексей Сергеевич*Bebnev-a@arudaemon.gsras.ru*Институт геофизики УрО РАН, г.Екатеринбург, Россия*

Аннотация. Приводится способ оценки гравитационного воздействия дополнительной массы, обусловленной накоплением атмосферных осадков в холодное время года, и его сопоставление с зарегистрированной сезонной компонентой гравитационного поля на обсерватории «Арти».

**SEASONAL COMPONENT IN GRAVIMETER DATA
AT THE OBSERVATORY “ARTI”***Alexei Bebnev*Bebnev-a@arudaemon.gsras.ru*Institute of geophysics Ural Branch of Russian Academy of sciences, Ekaterinburg, Russia*

Summary. Estimation method of gravity by soil moisture and snow cover in the cold season was presented. The comparison of estimated and experimental gravimeter data was made.

При проведении мониторинговых наблюдений гравитационного поля на обсерватории «Арти» был выявлен сезонный характер изменения ускорения силы тяжести. Он заключается в повышении величины гравитационного поля в зимние месяцы и в уменьшении – в летние. Амплитуда сезонных изменений ускорения силы тяжести на обсерватории «Арти» в 2015-2016 гг. составила 100-120 мкГал. (рис.1).

Сезонные изменения ускорения силы тяжести выявлены также на других пунктах гравиметрических наблюдений [1].

Одной из причин наличия сезонной составляющей в результатах относительных наблюдений гравитационного поля может быть накопление атмосферных осадков в период осень-весна. При этом осенью в период плюсовых температур атмосферные осадки пропитывают грунт, при понижении температуры накопленная влага замерзает, а атмосферные осадки продолжают накапливаться в виде снега. Весной при повышении температуры происходит снеготаяние, оттаивание промерзшего грунта с последующим стоком и испарением влаги. Таким образом, постепенное приращение массы снежного покрова и замерзшей в грунте воды будет создавать дополнительное притяжение эталонной массы чувствительной системы гравиметра в осенне-весенний период. На записи гравиметра это будет отражаться в постепенном возрастании величины Δg , и в зимние месяцы будет наблюдаться локальный максимум. Весной по мере стока и испарения накопленной воды величина Δg будет постепенно уменьшаться. Локальный минимум будет наблюдаться в летние месяцы, когда дополнительная масса минимальна.

Оценку амплитуды сезонного приращения ускорения свободного падения, обусловленного накоплением атмосферных осадков, в первом приближении можно провести следующим образом. Дополнительную массу, оказывающую влияние на чувствительную систему гравиметра, удобно представить в виде эквивалентного слоя воды, мощность которого равна среднему количеству осадков, выпадающих в холодное время года (с октября по март включительно), в районе обсерватории. Как будет показано ниже, для решения этой задачи потребуются вычисление тройного интеграла. Для упрощения вычислений эквивалентный слой удобно представить в виде однородного цилиндра.

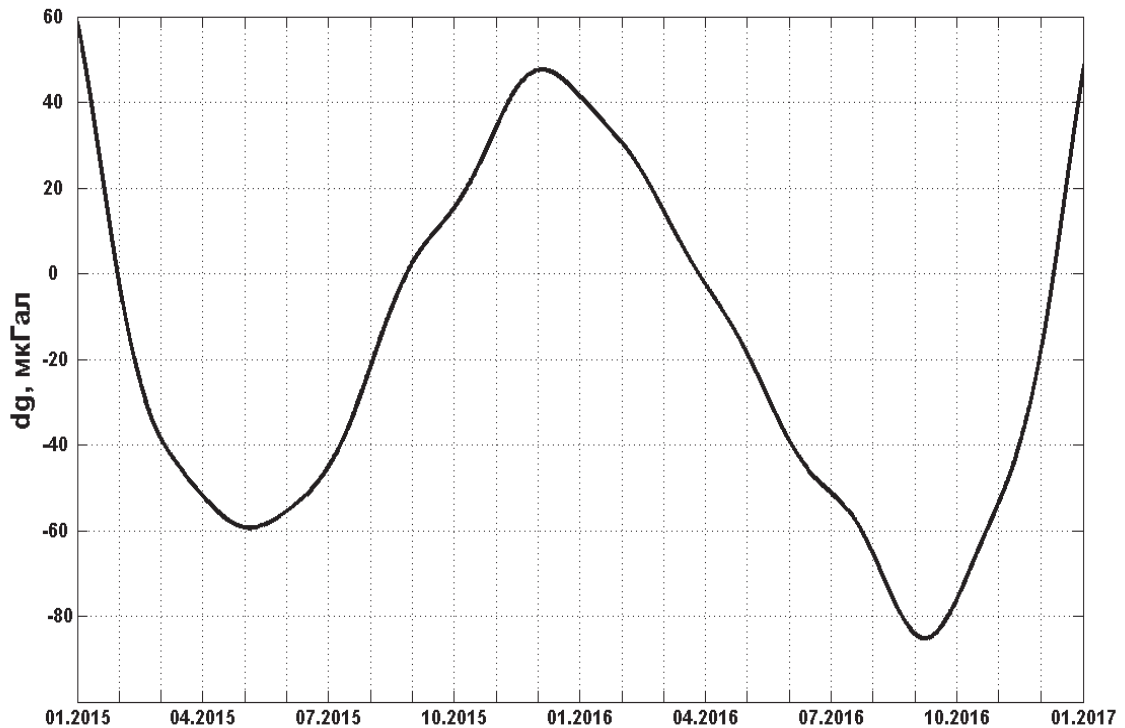


Рис.1. Сезонные изменения ускорения силы тяжести, зарегистрированные на обсерватории «Арти» в период 2015-2016 гг.

Для проведения подобной оценки нужно знать среднее количество осадков, выпадающих в холодное время года. В разных источниках значения этого параметра могут отличаться. Следует отметить, что вообще для этого параметра характерна значительная неоднородность, и он может заметно варьировать в пределах ограниченной территории. Так, согласно [2], среднее количество осадков за ноябрь-март для Екатеринбурга (140 км от обсерватории) составляет 114 мм, Шамары (110 км) – 205 мм, Дуван (Башкортостан, 90 км) – 120 мм, Янаул (Башкортостан, 220 км) – 126 мм. По другим данным [3] среднее количество осадков за октябрь-март в районе обсерватории составляет 235 мм. Таким образом, мощность эквивалентного слоя воды можно принять равным 200 мм.

Формально задача сводится к определению напряженности поля, создаваемого однородным цилиндром с радиусом a , длиной $H=200$ мм на высоте $h=0.5$ м на оси цилиндра (рис.2). Напряженность гравитационного поля объемного источника в векторной форме имеет вид:

$$\vec{g} = \int_V \frac{-G\rho\vec{R}dV}{R^3},$$

где $G=6.67408 \cdot 10^{-11}$ м³/кг·с² - гравитационная постоянная, $\rho=1000$ кг/м³ - объемная плотность цилиндра [4]. Учитывая, что в цилиндрической системе координат $dV=rdrd\varphi dz$, $R^2=r^2+(h+H-z)^2$, выражение можно записать в виде:

$$g = G\rho \int_0^a \int_0^{2\pi} \int_0^H \frac{rdrd\varphi dz}{r^2 + (h+H-z)^2}$$

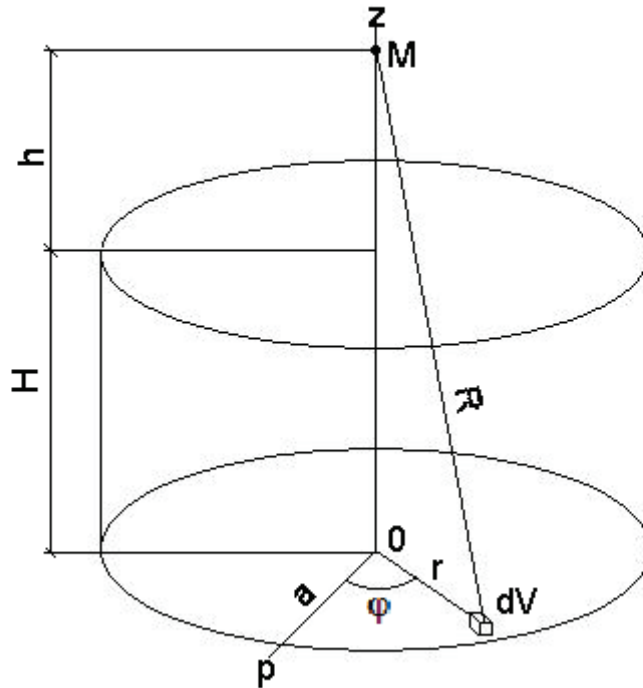


Рис.2. Схема к задаче по определению напряженности гравитационного поля однородного цилиндра

Проинтегрировав по переменным r и φ (табличные интегралы), получим окончательное выражение для расчета приращения ускорения силы тяжести, вызванного накоплением атмосферных осадков:

$$g = \pi G \rho \int_0^H \ln \frac{a^2 + (h + H - z)^2}{(h + H - z)^2} dz$$

Интегрирование по переменной z выполнялось численно методом трапеций. На рис.3 представлены результаты расчета в полулогарифмическом масштабе для разного радиуса цилиндра (от 0 до 10 тыс.км). Результаты расчета показывают, что увеличение радиуса цилиндра на один порядок дает приращение ускорения силы тяжести на величину около 20 мкГал.

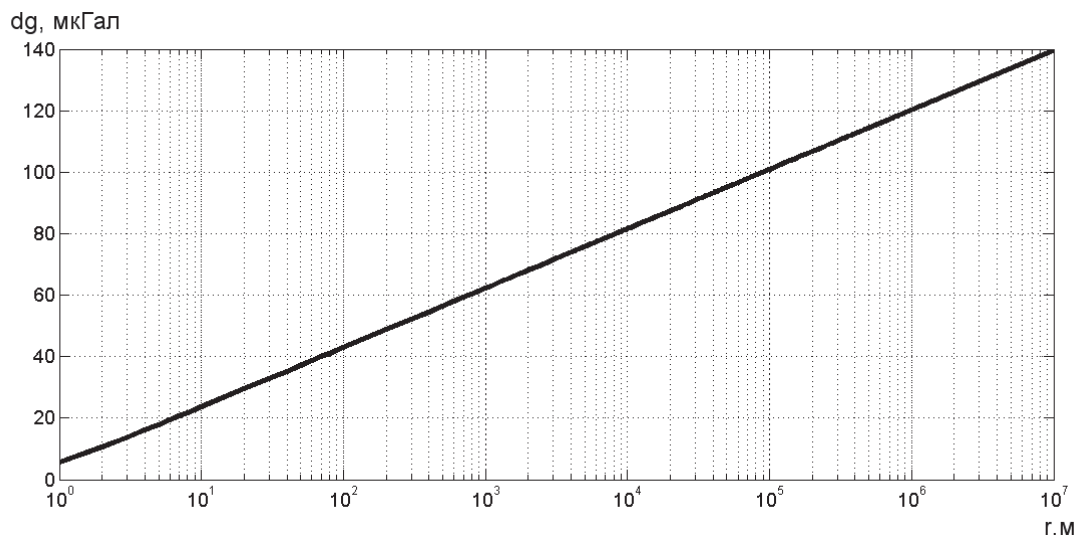


Рис.3. Зависимость расчетного значения приращения ускорения силы тяжести от радиуса цилиндра

В связи с этим возникает не менее важный вопрос, касающийся степени влияния удаленных масс. Применительно к рассматриваемой модели этот вопрос заключается в выборе величины верхнего предела интегрирования по переменной r . По всей видимости, результаты оценки влияния масс накопленных осадков, заключенных в радиусе более 1000 км от точки наблюдения, будут малодостоверны, их влияние можно не учитывать. С другой стороны влияние масс накопленных осадков, заключенных в радиусе менее 100 км от точки наблюдения, однозначно должно учитываться. Расстояние, которым можно ограничиться при учете влияния масс накопленных осадков, будет находиться в пределах 100-1000 км. Похожие оценки высказываются в работе [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. J.-P.Boy, J.Hinderer., 2006. Study of the seasonal gravity signal in superconducting gravimeter data. J. Geodyn. 41, 227-233.
2. Система нормативных документов в строительстве. Строительные нормы и правила Российской Федерации. Строительная климатология. СНиП 23-01-99. Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу (Госстрой России). М., 2000.
3. <http://russia.pogoda360.ru/560058/>
4. Овчинников И.К. Теория поля. Издание второе, перераб. М., Недра, 1979. 352 с.
5. T.M. van Dam, J.M.Wahr, P.C.D.Milly, O.Francis. 2001. Gravity changes due to continental water storage. J. Geod. Soc. Jpn., 47, 249-254.

УДК 539.2

ВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТВЕРДОГО ТЕЛА ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Беликов Виктор Тихонович, Рывкин Давид Гамшеевич
E-mail: belik2a@mail.ru
Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Аннотация. С использованием данных по двум амплитудно-частотным спектрам акустической эмиссии исследован характер временных изменений распределений пористости и удельной внутренней поверхности при разрушении образца бетона.

TEMPORARY CHANGE OF STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF SOLID ACCORDING THE OBSERVATION OF ACOUSTIC EMISSION

V. T. Belikov, D. G. Ryvkin
E-mail: belik2a@mail.ru
Institute of Geophysics UB RAS, Ykaterinburg, Russia

Abstract. Using data from two amplitude-frequency spectra of acoustic emission investigated the nature of the temporary change in the distribution of porosity and specific internal surface during the destruction of the concrete specimen.

Если имеются сведения по амплитудно-частотным (АЧ) спектрам акустической эмиссии (АЭ), зафиксированным в различные моменты времени, их количественная интерпретация позволяет исследовать особенности временных изменений структурных параметров твердого тела по мере развития процессов разрушения.

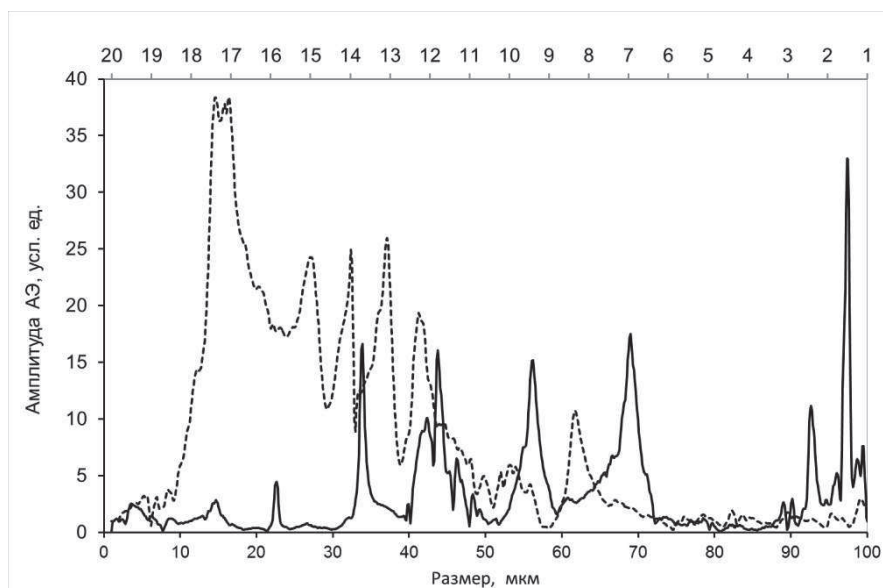


Рис.1. Распределение амплитуд АЭ в зависимости от радиуса (размера) излучающих сферических полостей. Верхняя шкала - частота АЭ (кГц). Пунктир – момент времени t_1 , сплошная линия – момент времени t_2 .

Данные по двум АЧ спектрам АЭ, полученные при одноосном нагружении образца бетона, вплоть до его разрушения [1,2], использованы нами для изучения характера временных изменений распределений пористости и удельной внутренней поверхности (УВП). Методика

решения обратной задачи о восстановлении структурных характеристик разрушающегося материала по АЧ спектру АЭ подробно рассмотрена в [3]. В соответствии с ней звуковое поле, возбуждаемое колеблющимися поверхностями пор и трещин заменяется суперпозицией полей акустически эквивалентного трещиновато-пористому пространству (ТПП) ансамбля монополей, параметры которого должны удовлетворять определенным условиям [4,5]. Предложенная методика количественной интерпретации результатов наблюдений АЭ была применена для каждого из двух АЧ спектров АЭ, зарегистрированных через $t = t_1 = 25$ мин и $t = t_2 = 36.1$ мин после начала нагружения образца бетона. На рис. 1 приведены два распределения амплитуд АЭ в зависимости от радиуса излучающих сферических полостей r (характерного размера составляющих ТПП), построенные с использованием этих спектров. На вертикальной оси отложена относительная амплитуда $L/L_0 = \mu \cdot 10^{B/20}$, где B - используемая в работах [1,2] магнитуда (в децибелах), μ - введенный для удобства постоянный множитель, L_0 - уровень отсчета амплитуды. Анализируя графики на рис.1, можно отметить, что АЧ спектр АЭ при $t = t_1$ характеризуется значительной его составляющей в области высоких частот (малых характерных размеров ТПП). В момент времени t_2 в АЧ спектре АЭ происходит резкое уменьшение вклада этой области частот и увеличивается интенсивность АЭ на низких частотах, соответствующих составляющим ТПП с относительно большими r (более 30 мкм). При этом основная часть энергии излучается в окрестности характерных размеров 43,6; 55,9; 68,7; 92,4 и 97,2 мкм. Восстановленные нормированные функция распределения (ФР) второго приближения ([3-5]) $f(r)$ для этих же моментов времени представлены на рис. 2.

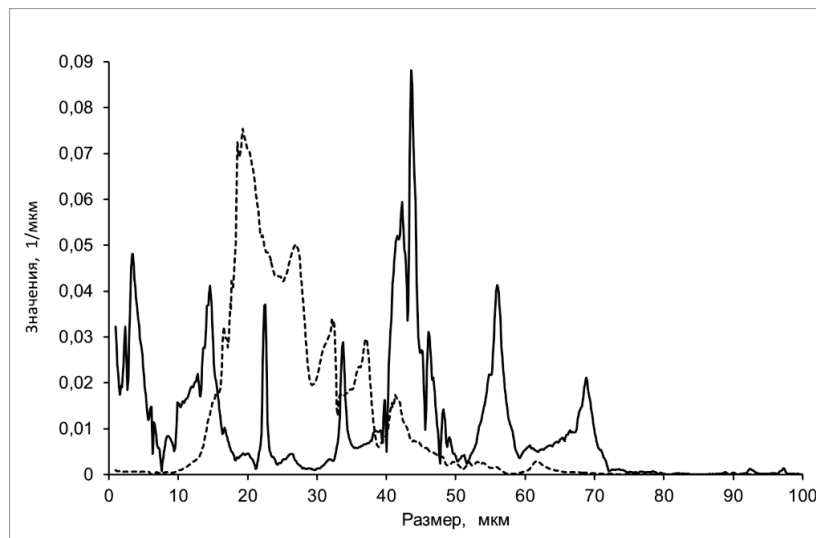


Рис. 2. Нормированная функция распределения $f(r)$ второго приближения.

Пунктир – момент времени t_1 , сплошная линия – момент времени t_2 .

Сравнение графиков на рис. 1 и 2 показывает, что существует тесная связь, отмеченных выше особенностей АЧ спектров АЭ с морфологией соответствующих ФР. А именно, если при $t = t_1$, у ФР, в основном, присутствуют составляющие ТПП с относительно малыми характерными размерами (от 10 до 40 мкм), то в момент времени t_2 у нее появляются высокоамплитудные максимумы в промежутках 40-50, 50-60 и 60-70 мкм, несколько смещенные в сторону увеличения r по сравнению со слабыми максимумами, наблюдавшимися в этих же интервалах в момент времени t_1 . Вместе с тем, при $t = t_2$ у ФР практически исчезают составляющие ТПП с характерными размерами от 15 до 40 мкм

(кроме двух узких максимумов при $r = 22,4$ мкм и $r = 33,7$ мкм) и появляются локальные максимумы при $r = 3,35$ мкм и $r = 14,6$ мкм.

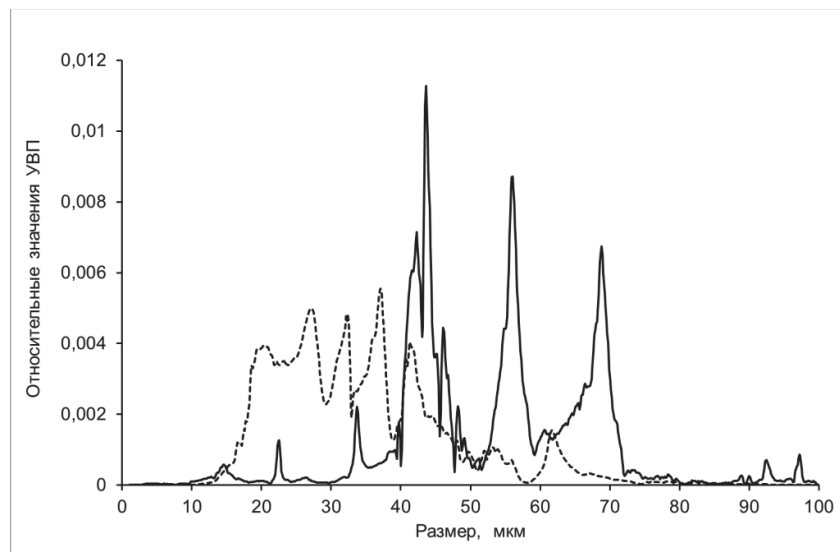


Рис. 3. Распределения относительных значений УВП.

Пунктир – момент времени t_1 , сплошная линия – момент времени t_2 .

Указанные особенности морфологии ФР позволяют говорить о том, что по мере развития процессов разрушения в образце в течение промежутка времени $t_2 - t_1$, с одной стороны, происходит слияние и укрупнение трещин, с появлением в интервале от 40 до 70 мкм трех составляющих ТПП, отмеченных на графике ФР максимумами при 43,6; 55,9 и 68,7 мкм.

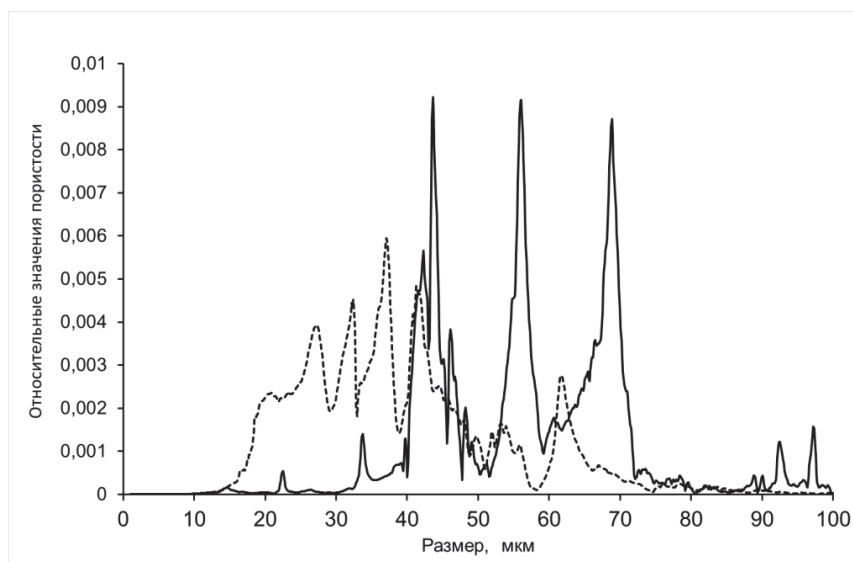


Рис. 4. Распределения относительных значений пористости.

Пунктир – момент времени t_1 , сплошная линия – момент времени t_2 .

С другой стороны, за этот же период времени возникают и растут относительно мелкие трещины, о чем свидетельствует факт появления при $t = t_2$ двух максимумов ФР, соответствующих составляющим ТПП, имеющим характерные размеры 3,35 и 14,6 мкм. То, что в процессе разрушения образца в течение промежутка времени $t_2 - t_1$ происходит слияние и укрупнение трещин, подтверждает и анализ распределений относительных значений излучающей УВП в моменты времени t_1 и t_2 , представленных на рис. 3. Сравнение

этих распределений показывает, что при $t = t_1$ основной вклад в излучение вносят участки УВП, из области малых характерных размеров от 10 до 40 мкм. В момент времени t_2 эти фрагменты УВП (за исключением, как и у ФР, двух узких максимумов при $r = 22,4$ мкм и $r = 33,7$ мкм), практически исчезают, а подавляющая часть интенсивности АЭ обусловлена излучением участков межфазной поверхности, соответствующих составляющим ТПП у которых r изменяется в пределах от 40 до 80 и от 90 до 100 мкм. При этом основной вклад в УВП образца вносят ее фрагменты в окрестности характерных размеров 42,3; 43,6; 55,9; 68,7; 92,3 и 97,1 мкм. Сравнение распределений относительных значений пористости для моментов времени t_1 и t_2 , представленных на рис. 4, также указывает на то, что происходит процесс укрупнения трещин, сопровождающийся при $t = t_2$ смещением максимумов в область больших характерных размеров. В результате, в момент времени t_2 , основной вклад в пористость дают ее составляющие в окрестности локальных максимумов, соответствующих значениям r 42,3; 43,6; 55,9; 68,7; 92,3 и 97,1 мкм. Таким образом, результаты количественной интерпретации данных по двум АЧ спектрам АЭ, зафиксированным в моменты времени t_1 и t_2 позволяют говорить о том, что по мере развития деструктивных процессов в образце происходит изменение $f(r)$, а также соответствующих распределений пористости и УВП, что является отражением перераспределения составляющих ТПП по их характерным размерам. Сравнительный анализ морфологии $f(r)$ и указанных распределений, восстановленных на моменты времени t_1 и t_2 , показывает, что развитие процессов разрушения в этом временном интервале характеризуется двумя особенностями. Суть первой заключается в том, что происходит слияние и укрупнение трещин. Вторая особенность связана с тем, что продолжается образование и рост трещин малых размеров. Последнее явление, характерное для начальных этапов разрушения, однако, слабо отражается на морфологии распределений пористости и излучающей УВП. Из этих двух особенностей, главной на данном этапе развития процессов разрушения в образце является первая. Иными словами, за промежуток времени $t_2 - t_1$, в основном, происходит слияние и укрупнение трещин [4,5]. Этот вывод подтверждается также следующими двумя фактами. Во-первых, отношение общей УВП в момент времени t_2 к ее значению при $t = t_1$ равно 0,776, то есть по мере развития процессов разрушения УВП образца уменьшается. Во-вторых, средний (по всему интервалу от 1 до 100 мкм) характерный размер составляющих ТПП в момент времени t_1 , равен 27 мкм, а в момент времени t_2 – 36 мкм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Niccolini G., Schiavi A., Tarizzo P., Carpinteri A., Lacidogna G., Manuello A. Scaling in temporal occurrence of quasi-rigid body vibration pulses due to macro-fractures // Journals of the American Physical Society - Physical Review E. 2010. V. 82 (4). 046115. P. 1-5.
2. Schiavi A., Niccolini G., Tarizzo P., Carpinteri A., Lacidogna G., Manuello A. Acoustic emissions at high and low frequencies during compression tests in brittle materials // Strain. 2011. V. 47 (Suppl.2), P. 105–110.
3. Беликов В.Т., Рывкин Д.Г. Использование данных наблюдений акустической эмиссии для изучения структуры горных пород // Уральский геофизический вестник. 2014. №1. С. 11-21.
4. Беликов В.Т., Рывкин Д.Г. Исследование временных изменений структурных характеристик разрушающихся образцов по данным наблюдений акустической эмиссии // Уральский геофизический вестник. 2015. №1. С. 15-23.
5. Беликов В.Т., Рывкин Д.Г. Изучение изменений структурных характеристик твердого тела с использованием амплитудно-частотных спектров акустической эмиссии // Физическая мезомеханика. 2016. Т. 19. № 3. С. 103-109

УДК550.832

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОНАЛЬНОСТИ ДОЛЕРИТОВЫХ ИНТРУЗИЙ ПО МАГНИТНЫМ СВОЙСТВАМ

Белоглазова Надежда Анатольевна, Глухих Игорь Иванович
e-mail: bna408@mail.ru
Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. Представлены результаты использования скважинной магнитометрии для определения зональности долеритовых интрузий. Такое зонирование позволяет произвести корреляцию геологического разреза по стволам соседних скважин для построения объемной модели околоскважинного пространства.

ZONALITY OF DOLERITE INTRUSES DETERMINATION USING MAGNETIC PROPERTIES

Nadezhda Beloglazova, Igor Glukhih
e-mail: bna408@mail.ru
Institute of Geophysics UB of RAS, Russia, Yekaterinburg

Summary. The article presents results zoning dolerite intrusions using of borehole magnetometry. This zoning allows to correlate the geological section at the trunks of nearby wells to build a three-dimensional model of the borehole.

Известно, что намагниченность изверженных горных пород отличается большой неоднородностью. Интенсивность естественной остаточной намагниченности и магнитной восприимчивости значительно варьируют не только в пределах того или иного магматического тела, но даже в пределах одного более или менее крупного штуфа породы. Так, например, в некоторых эффузивных пластах и дайках образцы, взятые в их поверхностных или приконтактных частях, обладают значительно более высокими значениями остаточной намагниченности по сравнению с образцами из внутренних частей (Комаров, 1963). Наличие зональности, которая по геологическим данным выражается в разной раскристаллизации центральных частей интрузивных тел по сравнению с кровлей и подошвой, находит отражение в изучаемых скважинной магнитометрией параметрах. Долеритовые интрузии большой мощности характеризуются дифференцированностью магнитной восприимчивости и магнитного поля. Связано это, прежде всего, с вариациями состава интрузий, проявляющимися в структурно-текстурных особенностях пород, а также режимом тектонической обстановки в момент становления интрузива (Иголкина, 2002).

При проведении скважинной магнитометрии в параметрической скважине «Желдонская-260», пробуренной в осадочном чехле Сибирской платформы, в интервалах глубин 2203–2232 и 3002–3089 м были выделены долеритовые интрузии неоднородные по составу и типу магнитной минерализации, с характерными признаками горизонтальной расслоенности. В этих интервалах был произведен расчет вертикальной составляющей намагниченности горных пород, при аппроксимации подсеченного скважиной тела тонкими призмами (Иголкина, Белоглазова, 1996).

Весь пласт, подсеченный скважиной на глубине 2203–2232 м условно можно разделить на три части (сверху вниз) (рис.1):

1) верхняя часть пласта от кровли до глубины 2216 м отмечается сильной изрезанностью кривых магнитной восприимчивости (α), вертикальной (Z) и горизонтальной (H) составляющих вектора геомагнитного поля. Такой вид кривых свидетельствует о разном направлении намагниченности, неоднородном составе пород и, возможно, крупнокристаллической форме ферромагнитных минералов. Вертикальная составляющая

полной намагниченности I_z для этого интервала имеет обратную полярность и довольно мала – до минус 70 сА/м, остаточная намагниченность тоже имеет обратную полярность по отношению к современному магнитному полю и изменяется от минус 500 до минус 1500 сА/м, величина фактора Q_z для всего интервала не превышает значений минус 1,1;

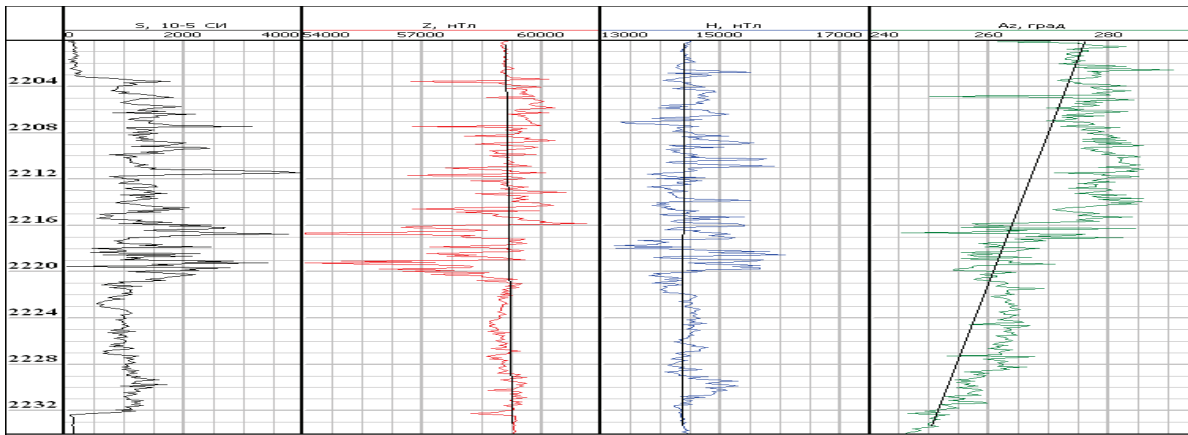


Рис.1. Результаты скважинной магнитометрии в скважине «Желдонская-260» (По материалам ФГУП «Недра»)

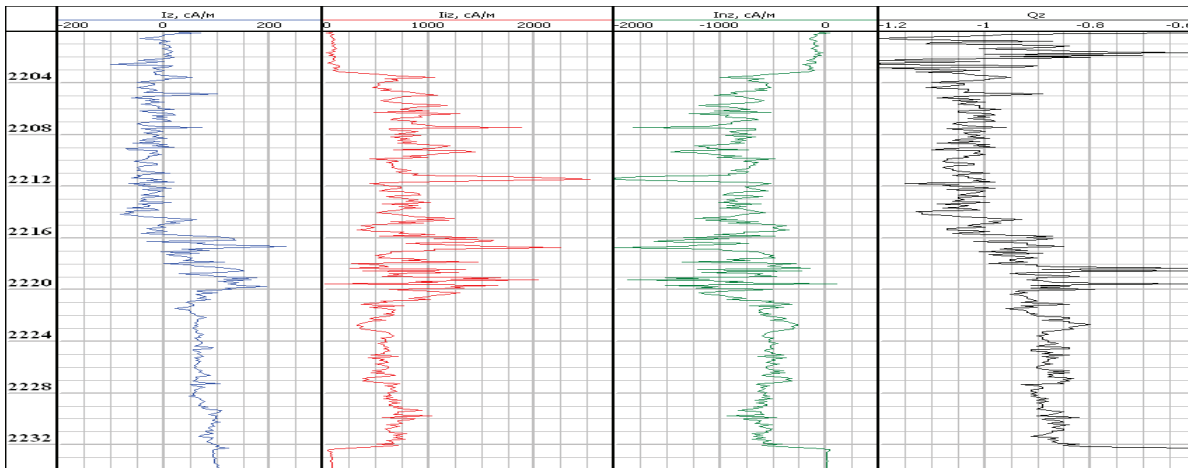


Рис. 2. Результаты определения вертикальной составляющей намагниченности: I_z – полная, I_{iz} – индуцированная, I_{nz} – остаточная, Q_z – фактор Кениксбергера.

2) средняя часть интрузии (интервал 2216–2221) отличается повышением магнитных свойств и прямой намагниченностью пород. Аномалия магнитного склонения (A_z) при этом носит знакопеременный характер, изменяясь относительно среднего значения от минус 5 до плюс 15 градусов. По диаграммам намагниченности этот интервал также отличается от соседних интервалов – кривые наиболее дифференцированы и изменяются в более широком диапазоне. Вертикальная составляющая полной намагниченности становится положительной и достигает значений 200 сА/м, остаточная I_{nz} и индуцированная I_{iz} намагниченности довольно сильно изрезаны, имеют разную полярность и, практически компенсируют друг друга, с небольшим преимуществом индуцированной. Фактор Q_z на этом участке изменяется от минус единицы до нуля;

3) нижняя часть интрузии (2221–2232 м) сложена довольно однородными по составу породами и, возможно, с другим носителем намагниченности. Все кривые отличаются небольшой изрезанностью. Намагниченность пород как прямая, так и обратная с очень небольшим преобладанием прямой намагниченности. Поэтому величина аномальных значений по составляющим вектора геомагнитного поля довольно мала. Весь интервал отмечается положительной аномалией магнитного склонения до 10 градусов. По значениям намагниченности этот интервал тоже характеризуется наиболее однородным составом. Все

кривые слабо дифференцированы. Вертикальная составляющая полной намагниченности положительна и находится в пределах 50 сА/м, лишь у подошвы, в зоне контакта с вмещающими породами, увеличиваясь до 100 сА/м. Значения остаточной намагниченности варьируют в небольшом диапазоне: от минус 300 до минус 800 сА/м, фактора Q_z в пределах минус 0,9.

В интервале глубин 3002-3089 м скважиной, пересечена вторая трапповая интрузия, представленная мелкозернистыми долеритами, которая отмечается интенсивной положительной аномалией на диаграмме вертикальной составляющей геомагнитного поля Z (рис.3). Так же, как и описанный выше долеритовый силл, эта трапповая интрузия неоднородна по магнитным свойствам и имеет зональное строение, которое хорошо выделяется по магнитным характеристикам. Отмечается сходство и различие в поведении кривых магнитной восприимчивости и составляющих внутреннего магнитного поля, а также вертикальной составляющей намагниченности (рис. 4)

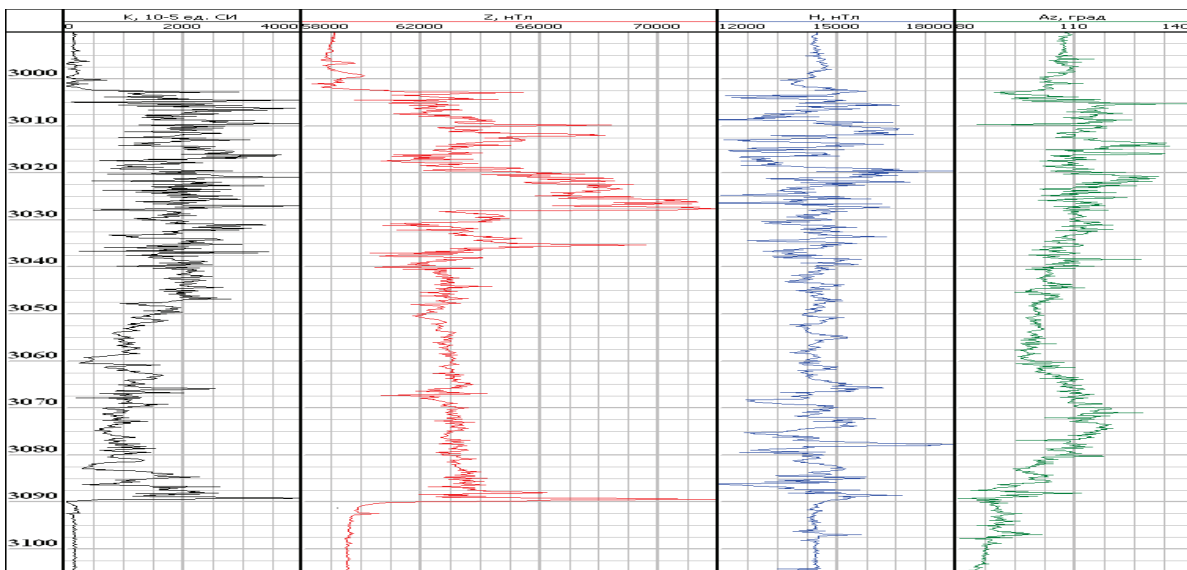


Рис.3. Результаты скважинной магнитометрии в скважине «Желдонская-260» (По материалам ФГУП «Недра»)

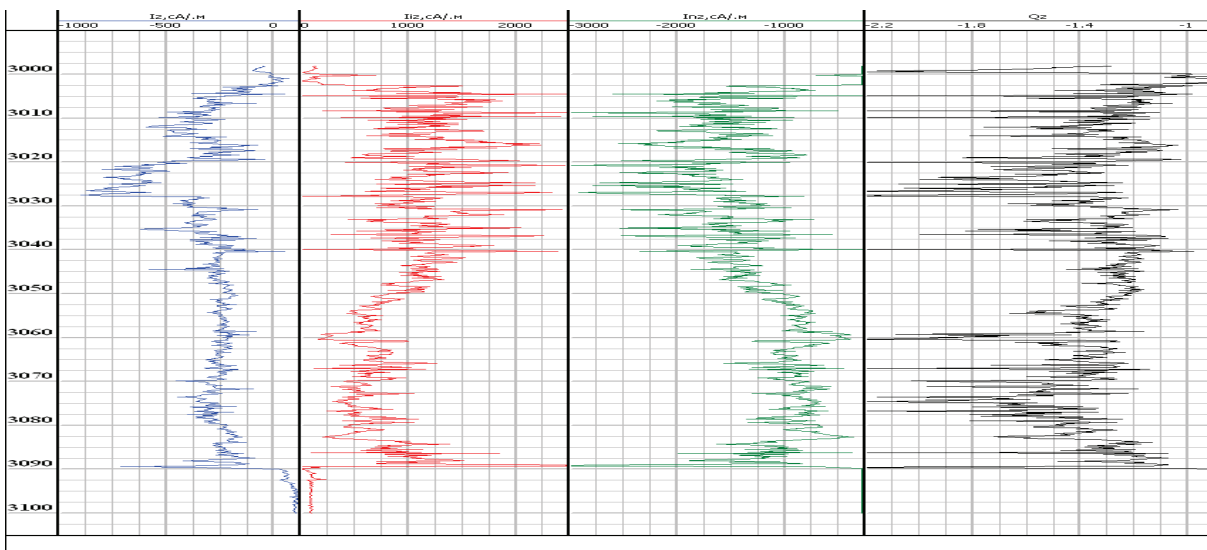


Рис. 4. Результаты определения вертикальной составляющей намагниченности: I_z – полная, I_{iz} – индуцированная, I_{nz} – остаточная, Q_z – фактор Кениксбергера.

1) верхняя часть интрузии в интервале глубин 3002-3040 м самая неоднородная по магнитным свойствам, все кривые сильно дифференцированы. Неоднородность

магнитных характеристик пород в этом интервале проявляется и в поведении вертикальной составляющей намагниченности (см. рис. 4). Аномалия вертикальной составляющей полной намагниченности отрицательная. Интенсивность от минус 300 до минус 900 сА/м. Кривые индуцированной и естественной остаточной намагниченности сильно дифференцированы. Индуцированная намагниченность изменяется от 200 до 2500 сА/м, а остаточная – от минус 1000 до 3000 сА/м. Аналогичное поведение фактора Q_z – сильная дифференцированность и широкий диапазон вариаций от минус 1,0 до минус 2,4 – подтверждает неоднородность магнитных свойств пород, слагающих верхнюю часть толщи и, возможно, увеличение зерен ферромагнетика;

2) среднюю часть интрузии (3040-3050 м) можно охарактеризовать как переходную зону, где менее всего сказалось влияние контактов с вмещающими породами при медленном остывании магматической лавы. Аномалия магнитного склонения на этом участке практически не выделяется. Поведение кривых намагниченности на этом участке аналогично. Значительно снижаются вариации всех кривых, а по кривым вертикальных составляющих индуцированной и естественной остаточной намагниченности наблюдается снижение абсолютных значений.

3) нижняя часть интрузии (3050-3089 м) характеризуется понижением средних значений магнитной восприимчивости пород, повышаясь лишь в зоне подошвы пласта на контакте с вмещающими породами. Аномальные значения Z -составляющей практически не изменяются, в то время как колебания H -составляющей увеличиваются до ± 3000 нТл. По диаграмме магнитного склонения этот участок отбивается широкой положительной аномалией интенсивностью до 20° . Вертикальная составляющая полной намагниченности на этом участке практически не изменяется, оставаясь на прежнем уровне. Вертикальные составляющие индуцированной и естественной остаточной намагниченности становятся вновь более дифференцированными, снижаясь при этом по абсолютному значению примерно на 1000 сА/м по отношению с верхним участком толщи. Такое поведение кривых намагниченности и составляющих геомагнитного поля свидетельствует об изменении наклона общей намагниченности в сторону горизонтали.

Таким образом, измерения магнитной восприимчивости и составляющих геомагнитного поля в скважинах позволяют выделять долеритовые интрузии в породах осадочного комплекса и производить их зонирование по магнитным характеристикам. Определение магнитных характеристик каждой интрузии позволяет произвести корреляцию геологического разреза по стволам соседних скважин, что значительно повышает достоверность построения объемной модели исследуемого участка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иголкина Г.В. Скважинная магнитометрия при исследовании сверхглубоких и глубоких скважин. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. с.70-77.
2. Иголкина Г.В., Белоглазова Н.А. Определение намагниченности пород по измерениям внутреннего магнитного поля и магнитной восприимчивости в сверхглубоких скважинах //Теория и практика геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей. Тезисы докладов Международной конференции. Воронеж: «Квадрат», 1996. с. 86-87.
3. Комаров А.Г. Интенсивность естественной намагниченности изверженных горных пород как функция скорости охлаждения магматического расплава. // Магматизм горных пород и палеомагнетизм. Материалы V Всесоюзной конференции по палеомагнетизму. Красноярск, издательство Сибирского отделения АН СССР, 1963, с. 195-209.

УДК 53.091:550.37

**ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭМИССИИ ГОРНЫХ ПОРОД
ПРИ ФОРМИРОВАНИИ И РАЗВИТИИ МЕДЛЕННО МЕНЯЮЩИХСЯ
ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

А.А. Беспалько¹, Л.В. Яворович¹, А.А. Еременко², В.А. Штирц³

E-mail: ¹besko48@tpu.ru; ¹Lusi@tpu.ru; ²yeryom@misd.nsc.ru; ³shtirts@gmail.com

¹*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск*

²*Институт горного дела СО РАН, Россия, г. Новосибирск*

³*Таштагольский филиал ОАО «ЕвразРуда», Россия, г. Таштагол, Кемеровской обл.*

Аннотация. Приведены результаты физического моделирования связи параметров электромагнитных откликов на низкоэнергетические ударные воздействия на массив горных пород в шахте Таштагольского железорудного месторождения. Установлено, что множественные низкоэнергетические серии ударов по массиву горных пород вызывают распределенные амплитуды электромагнитных сигналов одного уровня. Это обстоятельство свидетельствует о том, что регистрируемые ранее после технологических взрывов медленно меняющиеся уровни электромагнитных сигналов породного массива обусловлены сдвижением горных пород по различным плоскостям скольжения и отображает медленные, в течение единиц и десятков часов, изменения напряженно-деформированного состояния горных пород.

**THE PARAMETERS OF THE ELECTROMAGNETIC EMISSIONS OF ROCKS DURING
THE FORMATION AND DEVELOPMENT OF A SLOWLY CHANGING GEODYNAMIC
PROCESSES**

A.A. Bespal'ko¹, L.V. Yavorovich¹, A.A. Eremenko², V.A. Stirts³

E-mail: ¹besko48@tpu.ru; ¹Lusi@tpu.ru; ²yeryom@misd.nsc.ru; ³shtirts@gmail.com

¹*National Research Tomsk Polytechnic University, pr. Lenina, 30, 634050, Russia, Tomsk*

²*Institute of mining of Russian Academy of Sciences, Krasny Prospekt 54, Russia, Novosibirsk*

³*Tashtagol branch of "EvrazRuda", Russia, Tashtagol, Kemerovo region*

Abstract. The results of the physical modeling connection parameters of the electromagnetic response for low-energy impact effects on the rocks in the mine Tashtagol iron ore Deposit. It is established that multiple low-energy series of blows to the rock mass cause the distributed amplitude of the electromagnetic signals of the same level. This fact indicates that the recorded period of technological explosion slowly changing levels of electromagnetic signals in a rock mass with high probability due to rock movement on various planes of slip, and displays the slow, for units and tens of hours, changes in the stress-strain state of rocks.

В работах [1–4] показано, что изучение параметров электромагнитных сигналов (ЭМС) и характеристик электромагнитной эмиссии (ЭМЭ) массивов горных пород и их связей с изменениями напряженно-деформированного состояния породного массива можно наиболее эффективно проводить после технологических взрывов большой мощности с массой до 300 тонн ВВ в шахтах рудников. Крепкие породы рудников накапливают большую потенциальную энергию, которая способствует развитию геодинамических событий разного класса. Здесь формирование и развитие геодинамических событий сжато во времени и пространстве.

При исследовании параметров электромагнитных сигналов и характеристик электромагнитной эмиссии горных пород в шахте Таштагольского железорудного месторождения на различных глубинах после технологических взрывов была показана их связь с изменениями напряженно-деформированного состояния (НДС) породного массива [1,2]. По характеристикам ЭМЭ и параметрам ЭМС выявлены три основных типа

проявлений геодинамических событий. Первый тип подготовки и проявления геодинамических событий – в течение секунд и минут быстрое нарастание и спад; второй – в течение десятков минут и более медленное нарастание и резкий спад; третий – в течение единиц и десятков часов медленное нарастание и медленный спад [1, 2]. Причем, как указывают измерения, все три типа при снижении уровня ЭМЭ и, соответственно, НДС массива могут переходить на разные уровни напряженного состояния, в зависимости от степени разгрузки. На рис. 1 приведен один из примеров медленных изменений в течение 24 часов интенсивности электромагнитного потока и акустической эмиссии (АС), зарегистрированных во время и после проведения технологического взрыва массива горных пород в шахте Таштагольского железорудного месторождения в блоке №6 между горизонтами минус 140 и минус 210. Расстояние от поверхности горизонтов 590 и 660 метров, соответственно. Здесь измерения проводились непрерывно в течение 2,7 суток с помощью регистратора РЭМС1 [3] с усреднением 5 секунд. Параллельно измерялась и акустическая эмиссия горных пород.

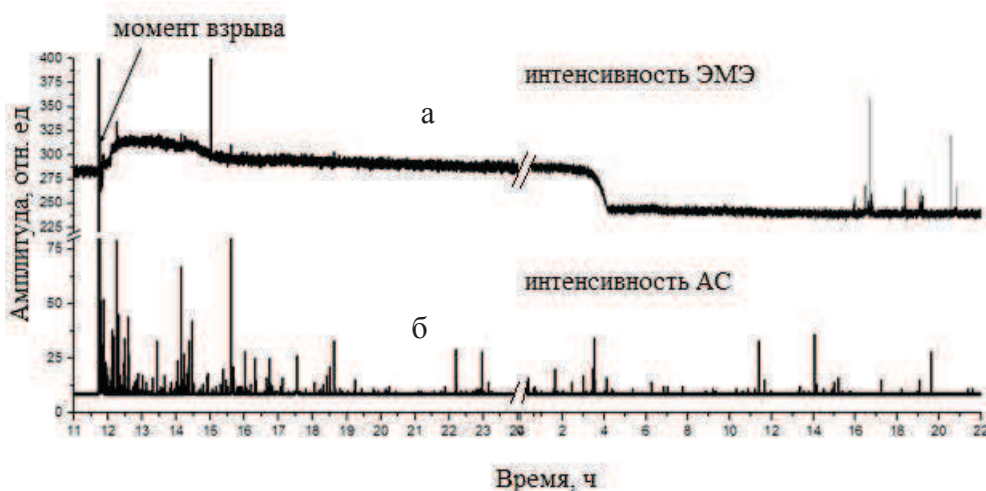


Рис. 1. Изменение в течение 24 часов интенсивности электромагнитного потока (а), и акустической эмиссии (б), зарегистрированные во время и после проведения технологического взрыва массива горных пород в шахте Таштагольского железорудного месторождения в блоке №6 между горизонтами – 140 и – 210 м

На рис. 1 интенсивность ЭМЭ после взрыва нарастает до определенного уровня с медленным спадом через 3 часа. В дальнейшем идет медленное понижение уровня ЭМЭ, через 15 часов в течение часа ЭМЭ снизилось до стационарного уровня. На ход этой зависимости накладываются и импульсные изменения ЭМЭ, соответствующие измеренной интенсивности АС. Возможность регистрации акустических сигналов обусловлена существенно более высокой чувствительностью пьезоэлектрического приемника, чем у сейсмических датчиков, чувствительность которых специально занижена. Медленные изменения ЭМЭ не имели физических объяснений, так как сейсмическая станция Таштагольского рудника не фиксировала существенных геодинамических проявлений.

Для выявления причин таких изменений характеристик ЭМЭ 26 июля 2016 года было проведено физическое моделирование ударным возбуждением электромагнитных сигналов в массиве горных пород в шахте Таштагольского железорудного месторождения. Целью исследований являлось выявление изменений интенсивности ЭМЭ при постоянно действующих импульсных источниках акустического возбуждения породного массива, вызванных зарождением, подготовкой и проявлением геодинамических событий. Работы проводились на горизонте минус 350 (800 м от поверхности) в орте 8. На этом последнем

горизонте и на горизонте минус 280 (730 м от поверхности) бурение, очистные и строительные работы не велись.

Используемое в эксперименте пневматическое ударное устройство развивало усилие около 90 Дж с частотой 1 Гц. Удары производили серийно. Количество ударов увеличивали от серии к серии. Изменение количества ударов видны на рис.2 и рис.3 на частоте 1 Гц. Измерения электромагнитных сигналов проводилось с помощью регистраторов РЭМС1 с усреднением амплитуды ЭМС равным 1 секунде и РЭМАС1 с усреднением амплитуды ЭМС равным 10 миллисекунд [4]. Для приема сигналов использовали индукционные датчики ДИП. Регистраторы показали практически идентичные результаты. Но наиболее точные результаты получены с помощью регистратора РЭМАС1, так как измерение и обработка их велось автоматически в реальном режиме времени каждые 10 миллисекунд.

На рис.2 представлены результаты измерения дисперсии амплитуды выбранных спектральных составляющих электромагнитных сигналов на частотах 1 и 13 кГц, полученные при измерении регистратором РЭМАС1 с усреднением амплитуд 10 миллисекунд при первой серии ударов пневматическим ударником по массиву горных пород в течение 60 секунд.

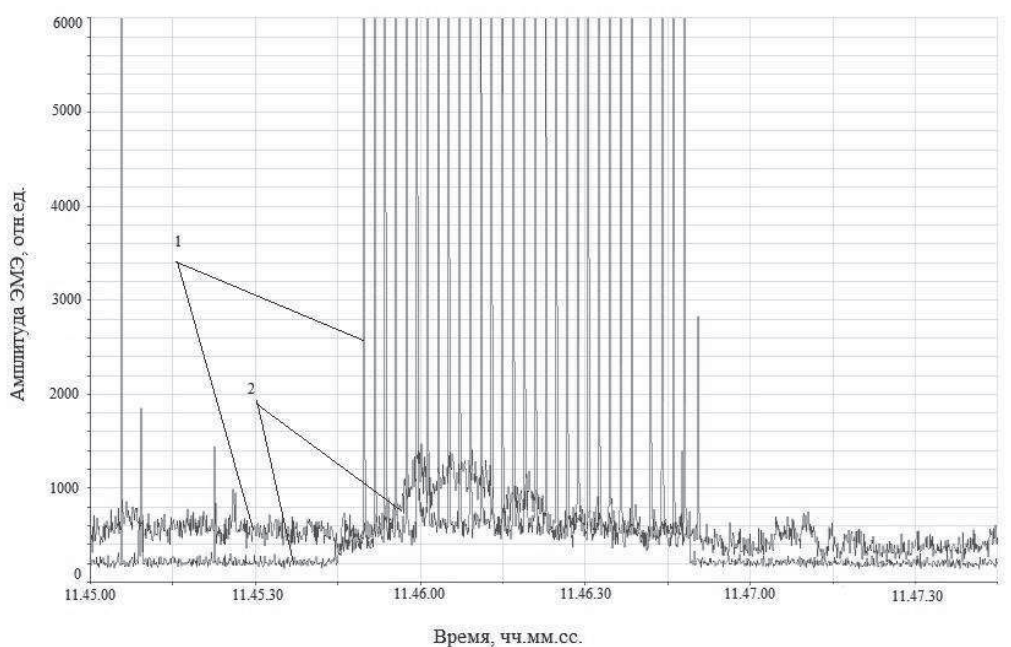


Рис.2. Изменения дисперсии амплитуды спектральных составляющих ЭМЭ горных пород на выбранных частотах при воздействии первой серии ударов пневматическим ударником в течение 60 секунд: 1 – 1 кГц; 2 – 13 кГц.

На рис.2 представлены результаты измерения дисперсии амплитуды выбранных спектральных составляющих электромагнитных сигналов (ЭМС) на частотах 1 и 13 кГц, полученные при измерении регистратором РЭМАС1 с усреднением амплитуд 10 миллисекунд. Всего было произведено 8 серий ударов, продолжительность которых с четвертой серии дискретно увеличивалась. На рис.3 приведена последняя более длительная по времени последовательность серий ударов пневматическим ударником. Продолжительность этой серии ударов составляла 420 секунд.

Анализ результатов измерений электромагнитной и акустической эмиссий, полученных регистраторами РЭМС1, и измерений дисперсии амплитуд выбранных спектральных составляющих ЭМС горных пород, полученных регистратором РЭМАС1 при воздействии серий ударов показал очень важную закономерность. В начале серии ударов происходит некоторое возрастание амплитуд эмиссии электромагнитных сигналов, а затем

происходит перераспределение амплитуды до определенного значения и выдерживается на всем временном диапазоне серии ударов. С большой вероятностью это связано с тем, что последующие удары (или толчки) возбуждают новые электромагнитные отклики горных пород, а предыдущие удары поддерживают излучающую горную породу в возбужденном состоянии и на фоне этого остаточного возбуждения уровень амплитуд ЭМС понижается.

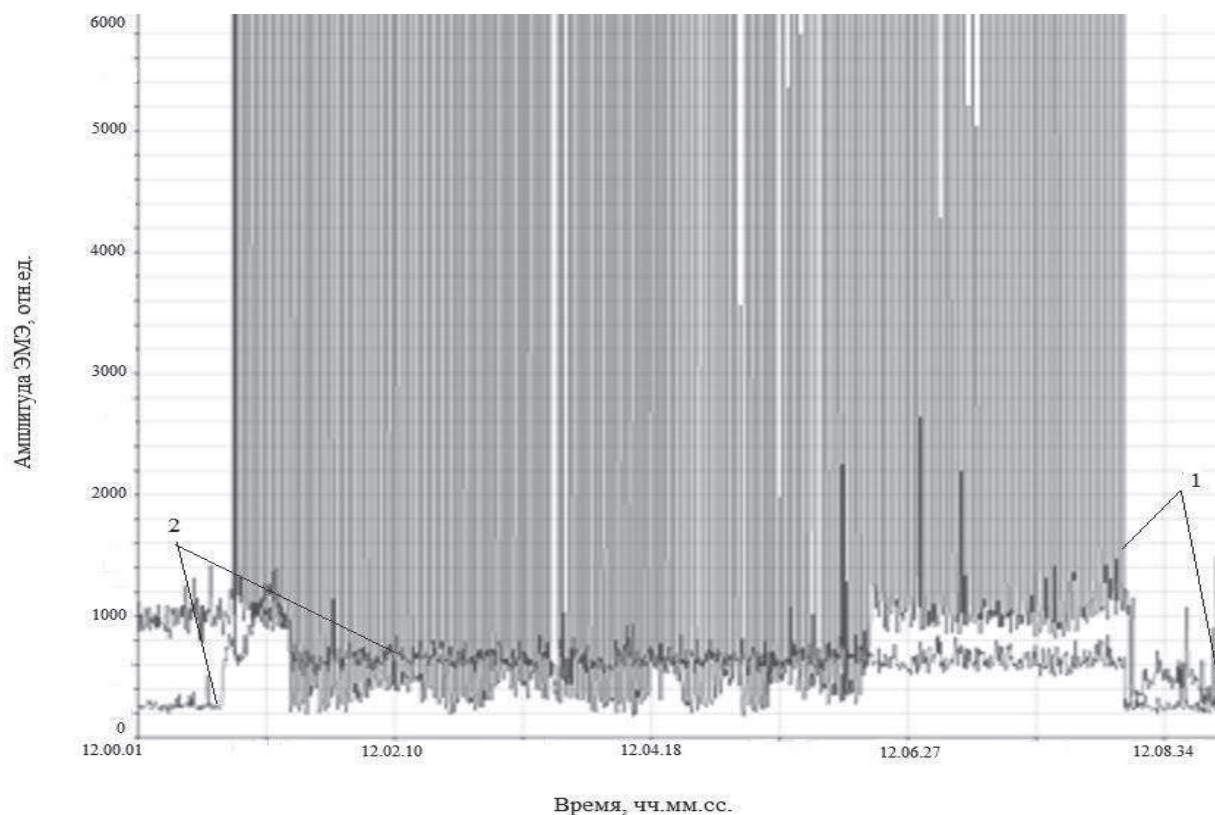


Рис.3. Фрагмент изменения дисперсии амплитуды спектральных составляющих ЭМЭ горных пород на выбранных частотах при воздействии серии ударов пневматическим ударником в течение 430 секунд: 1 – 1 кГц; 2 – 13 кГц.

Это обстоятельство разрешило проблему с зарегистрированным ранее явлением плавного изменения параметров электромагнитной эмиссии после некоторых мощных технологических взрывов, один из которых приведен выше на рис.1. На рисунке кроме плавных изменений наблюдаются и пиковые изменения ЭМЭ. Это указывает на то, что после взрыва происходит медленное сдвижение массива горных пород с перераспределением НДС по разломам и другим плоскостям скольжения. Сдвижение массива горных пород сопровождается множественными механическими сколами, трещинообразованием и, соответственно, акустической эмиссией. В результате совокупности трения породных масс и трещинообразования при перемещении, а также воздействия возникающих акустических сигналов на двойные электрические слои появляются электромагнитные отклики, амплитуда которых изменяется плавно на определенном уровне значений в соответствии с энергией механического воздействия. На это и указывают результаты физического моделирования при воздействии на массив низкоэнергетическими ударами. Появление акустических и электромагнитных сигналов большой амплитуды обусловлено нарушениями сплошности массива с большой запасенной энергией.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что множественные низкоэнергетические серии ударов на массив горных пород вызывают распределенные амплитуды электромагнитных сигналов одного уровня. Такие же серии

низкоэнергетических ударов возникают в результате совокупности сколов и трещинообразования при перемещения массива горных пород по плоскостям скольжения и разломам. В результате такой совокупности, а также воздействия возникающих акустических сигналов на двойные электрические слои появляются электромагнитные отклики горных пород массива, амплитуда которых изменяется плавно на определенном уровне значений в соответствие с энергией, выделяющейся при сдвигении массива горных пород.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках Государственного задания в сфере научной деятельности, проект №11.980.2017/4.6.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспалько А.А., Суржиков А.П., Яворович Л.В., Штирц В.А. и др. Наблюдения изменений напряженного состояния массива горных пород после массового взрыва по параметрам электромагнитной эмиссии // Физическая мезомеханика. – 2004. – Т.7. – Ч.2. – С. 253–256.
2. Bepal'ko A.A., Yavorovich L.V., Viitman E.E., Fedotov P.I., Shtirts V.A. Dynamoelectric energy transfers in a rock mass under explosion load in terms of the Tashtagol mine // Journal of Mining Science/ – 2010. –Vol.46. – N° 2. – P. 136-142.
3. Беспалько А.А., Федотов П.И., Яворович Л.В. Регистратор электромагнитных и акустических сигналов для контроля прочности и разрушения материалов и массивов горных пород // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т.312. – №2. – С. 255-258.
4. Беспалько А.А., Яворович Л.В., Бомбизов А.А., Лоцилов А.Г. Регистратор электромагнитных сигналов для контроля изменений напряженного состояния горных пород // Контроль. Диагностика. – 2011. – №11. – С. 14-17.

УДК 622.83:620.1

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФРАКРАСНОГО СВЕЧЕНИЯ СКВАЖИН ПРИ НАГРУЖЕНИИ ДО РАЗРУШЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД

*А.А. Беспалько¹, В.А. Штирты², А.О. Чулков³, Л.В. Яворович⁴,
E-mail: ¹besko48@tpu.ru; ²shtirts@gmail.com; ³chulkovao@tpu.ru; ⁴Lusi@tpu.ru;
^{1,3,4}Томский политехнический университет, Россия, г. Томск*

²Таштагольский филиал ОАО «ЕвразРуда», Россия, г. Таштагол, Кемеровской обл.

Аннотация. Исследовано и измерено инфракрасное свечение веерных загрузочных взрывчатым веществом скважин по четырем направлениям света и в вертикальном направлении в 12 блоке СЗУ 6 подэтажа горизонта минус 210 шахты «Таштагольская». Показано, что в восточном направлении и вертикальных скважинах свечение воздуха может достигать 3° С. Проведено физическое моделирование свечения воздуха в отверстиях образцов магнетитовой руды и сиенита, сделанных из кернов, полученных при бурении в шахте «Таштагольская». Исследованы закономерности развития инфракрасного свечения в процессе силового нагружения одноосным сжатием или сдвигом образцов магнетитовой руды и сиенита. Показано, что ИК свечение видоизменяется в соответствие с этапами развития разрушения. На основании полученных данных сделан вывод о целесообразности применения ИК – радиометрии для выявления участков массива, находящихся в повышенном напряженно-деформированном состоянии.

MODELING OF INFRARED LIGHT BOREHOLES WHEN LOADING BEFORE THE DESTRUCTION OF ROCK SAMPLES

*A. A. Bespalko¹, V. A., Sterts², A. O. Chulkov³, L. V. Yavorovich⁴
E-mail: ¹besko48@tpu.ru; ²shtirts@gmail.com; ³chulkovao@tpu.ru; ⁴Lusi@tpu.ru;
^{1,3,4} National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk*

² Tashtagol branch of "EvrazRuda", Russia, Tashtagol, Kemerovo region

Summary. Infra-red light emission is surveyed and measured in fan loading by explosive of holes in four directions of light and in a vertical direction in 12 block SZU 6 story minus 210 horizon of “Tashtagolsky” pit. It is shown that in east and vertical holes air light emission can attain 3°C. Physical modelling of air light emission in holes of magnetite and syenite samples made of the cores gained at drilling in “Tashtagolsky” pit is spent. Regularity of development of the IR light emission in the course of a strength loading by uniaxial compression or shift of magnetite and syenite samples is investigated. It is shown that IR light emission changes in conformity with stages of development of destruction. Conclusion on expediency of application IR radiometry for revealing of sections of the intense-deformed rock massive is drawn basing on the gained data.

Ранее методом инфракрасной (ИК) радиометрии были выявлены изменения температуры поверхности горных пород в окрестности и внутри пробуренных скважин и шпуров в забоях и бортах выработок шахты «Таштагольская» (г. Таштагол, Кемеровской обл.) [1,2]. Максимальная разница температур в скважинах и окружающего их породного массива достигала 3,5°С. Для наглядности на рис.1 показано тепловое изображение забоя с выделяющимися разгрузочными скважинами орта 11 горизонта минус 350 (глубина 800 м) шахты Таштагольского рудника. Замеры температуры поверхности проводили с использованием тепловизора IRISYS IRI 4010В. Причем в последующем через 8 дней левая часть горных пород в забое была выдавлена.

Подобное свечение всегда наблюдается в местах массива горных пород, находящихся под нагрузкой, вызванной особенностями отработки рудного тела, при проходке ортов и штреков, вблизи зон обрушения, сдвижения и т.д. [3–5]. Например, при подготовке взрыва

блока 12 СЗУ в 6 подэтаже горизонта минус 210 шахты «Гаштагольская» были обследованы веерные загрузочные взрывчатый веществом скважины методом ИК-радиографии.

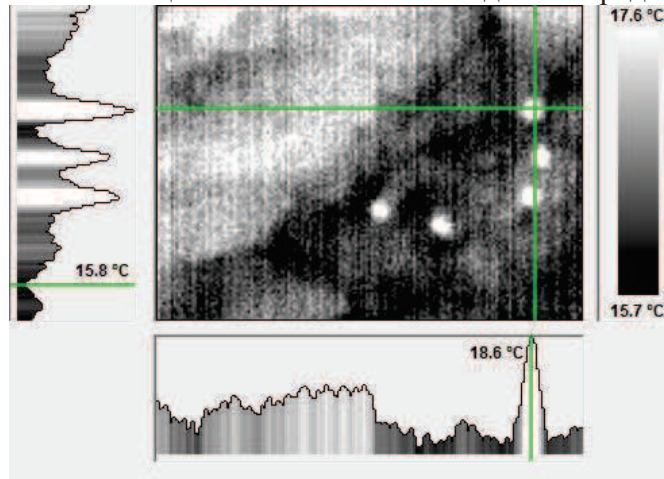


Рис. 1. Инфракрасное свечение поверхности забоя с разгрузочными скважинами орта 11 горизонта минус 350 шахты Таштагольского рудника после выдержки в течение 7 суток (глубина 800 м). Светлые округлые пятна – скважины диаметром 105 мм [1].

Скважины диаметром 105 мм были пробурены под наклоном от бортов подэтажа на восток, запад и юг, а вертикально в сторону горизонта минус 280. У северного борта подэтажа находилась очистная камера №1 диаметром около 3.5 м. В западном направлении от нее находится камера 1 блока 11, заполненная 27 ноября 2015 года закладной смесью из щебня и цемента низкого качества, близкая к марке 50. На востоке от очистной камеры, на уровне нижнего среза блока 11, находится камера 2 блока 12, также заполненная закладной смесью 21 мая 2015 года. Сопоставляя даты закладки щебня и цемента с датой проведения измерений, а также с расстояния до закладных камер, можно уверенно говорить о невозможности влияния тепловых процессов в них на результаты ИК-радиометрии.

Измерения ИК-свечения скважин и бортов подэтажа показали, что борт вблизи очистной камеры, западный борт и первый ряд скважин вблизи нее не выделяются от окружающих пород по цветности свечения. Инфракрасное свечение наблюдалось в скважинах, отдаленных от очистной камеры на расстояние не менее 4 м и до 10 м в южном и восточном направлениях, как в горизонтальных, так и в вертикальных. Причем температура в них превышала температуру горных пород в окрестностях скважин от 0.6 до 3.2° С.

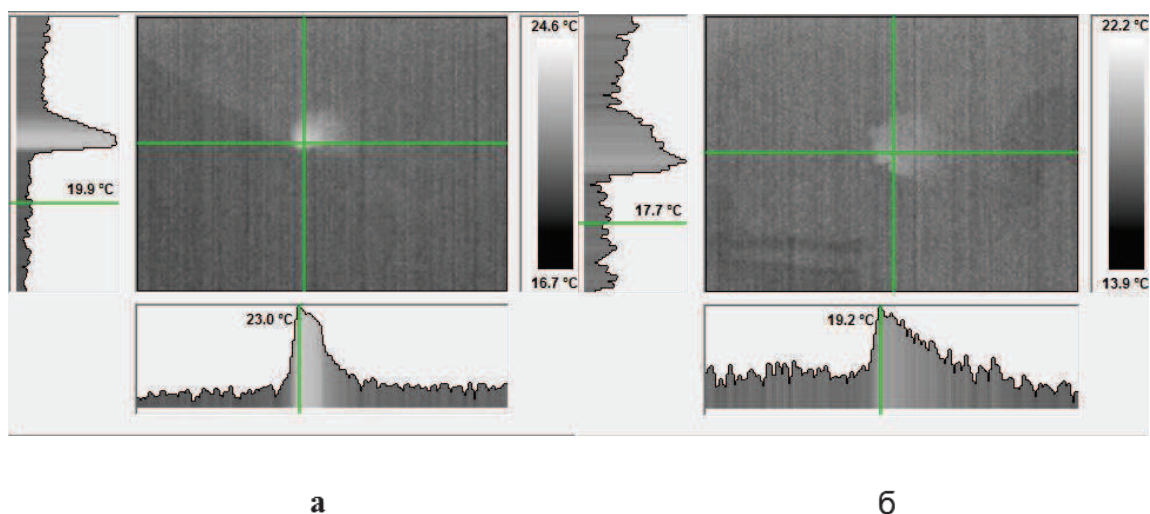


Рис. 2. Инфракрасное свечение скважин: а) – в восточном направлении от борта блока 12 СЗУ в 6 подэтаже горизонта минус 210 шахты «Таштагольская»; б) – вертикальная скважина того же блока.

На рис.2а приведено свечение скважины, пробуренной диаметром 105 мм в восточном направлении, максимум которого превысило температуру горных пород в ее окрестностях на 3.1°C . На рис.2б свечение вертикальной скважины с превышением температуры окружающих горных пород на 1.5°C .

Исследования ИК свечения твердотельных кристаллов проводили Шейнин В.И., Блохин Д.И. и др. авторы работ [6,7]. К сожалению, в этих работах не приводятся причины свечения отверстий в образцах и скважин в массивах горных пород.

Для выяснения физической природы этого свечения проведены лабораторные исследования на образцах горных пород Таштагольского железорудного месторождения. Для физического моделирования инфракрасного свечения использовали образцы магнетитовой руды и сиенита с дефектом в виде отверстия диаметром 7 мм при силовом одноосном нагружении на сжатие или сдвиг до разрушения. Образцы с размерами в диаметре 42 мм и в длину 80 мм подготавливались из кернов, взятых из породного массива: рудный образец, содержащий до 75% магнетита; вмещающая руда порода - сиенит. Ось отверстия располагалась посередине продольной части образца и имела протяженность 25 мм. Для записи термограмм использовали метод ИК-радиометрии. В лабораторных условиях для измерения ИК свечения использовали тепловизор NEC TH9100. В экспериментах осуществлялась непрерывная запись подготовки и развития разрушения образца и его тепловое излучение в ИК диапазоне 8–14 мкм. Съёмка осуществлялась в течение 200 секунд и фиксировалась на 2000 кадров. Чувствительность тепловизора NEC TH9100 составляет $0,04^{\circ}\text{C}$.

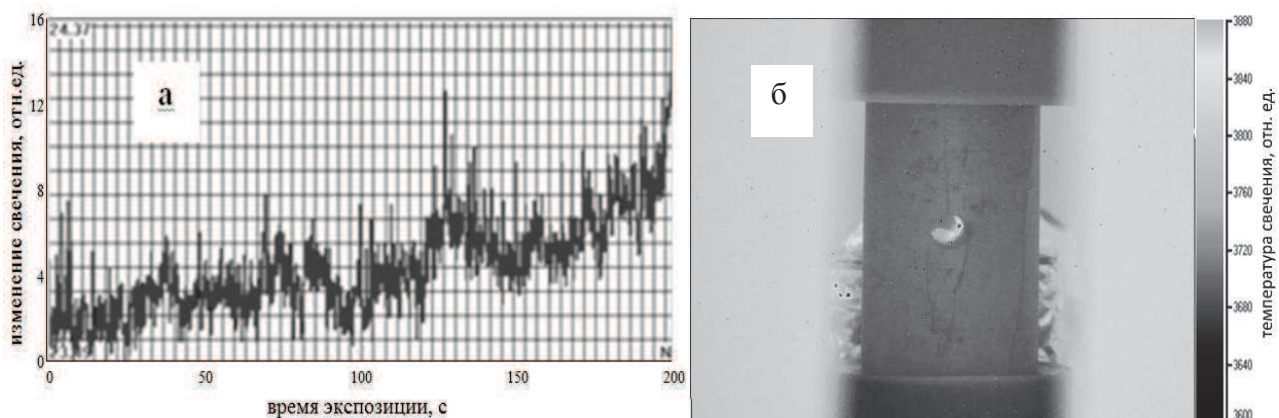


Рис.3. Изменения ИК-свечения в образце магнетитовой руды с включениями кальцита: а) – изменение ИК свечения воздуха в отверстии; б) – свечение отверстия при силовом одноосном нагружении сдвигом.

На рис.3а показано изменение свечения воздуха в отверстии в относительных единицах согласно цветовой диаграмме на рис.3б за время 200 секунд, в течение которого образец магнетитовой руды подвергался одноосному силовому нагружению сдвигом до разрушения. Скорость нагружения составляла 0.3 кН/с . В начале нагружения и в процессе образования деструктивных зон в образце наблюдали изменяющееся свечение воздуха в отверстии породы в его ближайшем окружении. После образования деструктивной зоны свечение стабилизировалось, а затем перед разрушением резко усилилось. На рис.3б показан один из кадров свечения воздуха в отверстии образца магнетитовой руды. Исследование ИК свечения в образце сиенита показало, что воздух в отверстии тоже светится в процессе нагружения одноосным сдвигом и сжатием. Анализ полученных в лабораторных экспериментах данных показал, что свечение отверстия в зависимости от этапов подготовки и развития разрушения изменяется. Температура воздуха в отверстии, температура на краю отверстия в твердотельной части и в 20 мм от его края существенно различаются.

Такие изменения в интенсивности и спектре ИК – свечения обусловлены трением блоков из минералов, составляющих структуру горной породы, движением заряженных дислокаций и точечных дефектов в область образца с наименьшим механическим напряжением (область разгрузки) [8], заряджением пограничных слоев контактирующих минералов или полостей, какими являются и отверстия в образцах горных пород или скважины в массиве горных пород, прорастанием микротрещин и эмиссией электронов в воздушное пространство с твердотельных краев отверстий и скважин.

Таблица 1

Теплофизические характеристики веществ, используемых в эксперименте [9,10].

Вещество	Плотность кг/м ³	Удельная теплоемкость, с _p , кДж/(кг·К)	Теплоемкость С, кДж/(м ³ ·К)	Коэффициент теплопроводности λ, Вт/(м·К)	Коэффициент температуро- проводности α, 10 ⁻⁷ м ² /с
Магнетитовая руда	5125	0.68	3312	2.0 ÷ 2.7	22.0
Мрамор, кальцит	2880	0.75 ÷ 0.86	2375	1.6 ÷ 4.0	7.8 ÷ 12.2
Сиенит	2720	0.74 ÷ 0.83	2160	1.8 ÷ 3.0	5.4 ÷ 7.9
Воздух (20 С°)	1.175	1.005	1.18	0.0262	221.7

В результате существенной разницы теплоемкости, коэффициентов теплопроводности и температуропроводности между твердотельными составляющими горных пород и воздухом (Таблица 1) происходит разогрев последнего. Это обусловлено тем, что тепловой поток из массива к берегам скважины существенно выше теплового потока из воздуха скважины, а выравнивание по температуре существенно выше в воздухе. Особенно сильный разогрев воздуха в отверстиях происходит на последних стадиях развития зон деструкции, предразрушения и прорастания магистральной трещины.

Таким образом, инфракрасное свечение скважин отображает процесс подготовки разрушения и его свершение в определенном напряженно-деформированном объеме породного массива. Основываясь на этом, можно успешно и эффективно использовать ИК–радиометрию для определения мест с существенно высоким значением напряженно-деформированного состояния массива горных пород, а также для выявления мест установки регистраторов электромагнитных сигналов типа РЭМС1 и РЭМАС1 и определять направленность мониторинга развития геодинамических событий и краткосрочного прогноза их проявления. Кроме того, ИК – радиометрию можно использовать для определения этапов развития разрушения образцов горных пород и других твердотельных материалов, в том числе со сложной структурой.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках Государственного задания в сфере научной деятельности, проект №11.980.2017/4.6.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bepalko A. A., Yavorovich L. V., Moiseev S. V. Control of Rock Mass by Mine Tashtagol Method IR-Radiometer // 7th International Forum on Strategic Technology (IFOST - 2012): Tomsk, September 18–21, 2012. – Tomsk: TPU Press, 2012. – Vol. 2. – P. 228-231.
2. Беспалько А.А., Яворович Л.В., Моисеев С.В. Исследование напряженно-деформированного состояния массива горных пород методом ИК-радиометрии // Вестник науки Сибири (электронный ресурс). – 2012. – №. 3 (4). – С. 74–79. – Режим доступа: <http://sjs.tpu.ru/journal/article/download/357/318>.
3. Лобанова Т.В. Сдвигение горных пород Таштагольского месторождения как отражение геодинамических процессов // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2012. – Вып. 1. – С. 16–22.

4. Лобанова, Т.В. Исследование геомеханического состояния породного массива при формировании и проявлении горных ударов на Таштагольском руднике // ФТПРПИ. – 2008. – № 2. – С. 38 – 46.
5. Беспалько А.А., Суржиков А.П., Яворович Л.В., Штирц В.А. и др. Наблюдения изменений напряженного состояния массива горных пород после массового взрыва по параметрам электромагнитной эмиссии // Физическая мезомеханика. – 2004. – Т.7. – Ч.2. – С. 253–256.
6. Шейнин В. И., Левин Б. В., Мотовилов Э. Ф., Морозов А. А., Фаворов А. В. Диагностика быстрых периодических изменений напряжений в горных породах по данным инфракрасной радиометрии // Известия. Физика Земли. – 2001. – № 4. – С. 24 – 30.
7. Шейнин В. И., Блохин Д. И. Исследования особенностей проявления термомеханических эффектов при одноосном сжатии образцов каменной соли // ФТПРПИ. – 2012. – № 1. – С. 46 – 53..
8. Фридель Ж. Дислокации. – М.: Мир, 1967.
9. Бабичев А.П., Бабушкина Н.А., Братковский А.М. и др. Физические величины. Справочник. Под редакцией И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
10. Справочник физических констант горных пород. Под редакцией С. Кларка мл. – М.: Мир, 1969.

УДК 550.834:550.838.2:551.214.6(571.645)

**ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ И ПЕТРОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПОДВОДНЫХ ВУЛКАНОВ ОХОТОМОРСКОГО СКЛОНА
КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ**

*Блох Юрий Исаевич¹, Бондаренко Вячеслав Иларионович²,
Долгаль Александр Сергеевич³, Новикова Полина Николаевна³,
Петрова Вера Валерьевна⁴, Пилипенко Ольга Валентиновна⁵,
Рашидов Владимир Александрович⁶, Трусов Алексей Андреевич⁷*

¹ e-mail: yuri_blokh@mail.ru;

² e-mail: vibond@list.ru;

³ e-mail: asdolgal@inbox.ru;

⁴ e-mail: v.petrova.v@gmail.com;

⁵ e-mail: olga@ifz.ru;

⁶ e-mail: rashidva@kscnet.ru;

⁷ e-mail: trusov@aerogeo.ru ;

¹Россия, г. Москва

² Костромской ГУ им. Н.А. Некрасова, Россия, г. Кострома;

³ Горный институт УрО РАН, Россия, г. Пермь;

⁴ Геологический институт РАН, Россия, г. Москва;

⁵ Институт физики Земли, Россия, г. Москва;

⁶ Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Россия, г. Петропавловск-Камчатский;

⁷ АО «ГНПП Аэрогеофизика», Россия, г. Москва

Аннотация. На основе интегрированного анализа данных комплексных геолого-геофизических исследований, выполненных в рейсах НИС «Вулканолог», получены качественно новые данные о строении подводных вулканов Охотоморского склона Курильской островной дуги.

**GEOPHYSICAL AND PETROLOGIC-MINERALOGICAL INVESTIGATIONS OF
SUBMARINE VOLCANOES OF THE SEA OF OKHOTSK SLOPE IN THE KURILE
ISLAND ARC**

*Yury I. Blokh¹, Vyacheslav I. Bondarenko.², Alexander S. Dolgal³, Polina N. Novikova³,
Vera V. Petrova⁴, Olga V. Pilipenko⁵, Vladimir A. Rashidov⁶, Alexey A. Trusov⁷*

¹ e-mail: yuri_blokh@mail.ru;

² e-mail: vibond@list.ru;

³ e-mail: asdolgal@inbox.ru;

⁴ e-mail: v.petrova.v@gmail.com;

⁵ e-mail: olga@ifz.ru;

⁶ e-mail: rashidva@kscnet.ru;

⁷ e-mail: trusov@aerogeo.ru ;

¹Russia, Moscow,

²State Nekrasov University of Kostroma Russia, Russia, Kostroma

³Mining Institute of the Ural Branch of the RAS, Russia, Perm

⁴Geological Institute RAS, Russia, Moscow

⁵Institute of Physics of the Earth RAS, Russia, Moscow,

⁶Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky

⁷SC «GNPP Aerogeoфизика», Russia, Moscow,

Summary. Based on the integrated analysis of data on complex geological and geophysical investigation conducted onboard the R/V Vulkanolog, the authors obtained brand new data on the structure of submarine volcanoes of the Sea of Okhotsk slope in the Kurile island arc.

Курильская островная дуга (КОД) – важный элемент Тихоокеанской зоны перехода. Это классическая двойная дуга, состоящая из внутренней (вулканической) и внешней (тектонической) дуг, разделенных междуговым трогом. С юго-востока она сопряжена с Курило-Камчатским глубоководным желобом, а с северо-запада – с глубоководной Курильской котловиной. Охотоморский склон КОД осложнен многочисленными подводными вулканами, которых при современном уровне изученности насчитывается 125.

В рейсах на НИС “Вулканолог”, направленных на изучение подводного вулканизма в пределах КОД, в период 1981-91 гг. были выполнены эхолотный промер, непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСП), модульная гидромагнитная съемка (ГМС) и драгирование. При проведении геофизических исследований использовалась единая служба судового времени, которая позволяла синхронизировать работу измерительной аппаратуры различных методов исследований и приводить результаты наблюдений к единым координатам времени и пространства.

В рамках интеграции академической, вузовской и отраслевой науки авторский коллектив плодотворно занимается обработкой данных, полученных в этих рейсах. Для этого используется эффективная технология количественной интерпретации материалов ГМС в комплексе с эхолотным промером, НСП и анализом естественной остаточной намагниченности и химического состава драгированных горных пород, позволяющая проводить интерпретацию непосредственно по исходным данным, не прибегая к некорректной процедуре их предварительного восстановления в узлах регулярной сети. При этом 2D и 2.5D-интерпретация проводится непосредственно на прямолинейных участках съемочных галсов, а 3D-моделирование — по всему массиву исходных данных на исследуемой площади. При расчетах всегда используется истинный рельеф вулканических построек с учетом погребенного под современными осадками основания, полученный по данным эхолотного промера и НСП.

Для изучения глубинного строения вулканических построек проводится томографический анализ геопотенциальных полей и решение обратной задачи магниторазведки в смешанной постановке монтажным методом. Для проведения комплексного анализа геофизических материалов привлекаются данные спутниковой альтиметрии, которые пересчитываются в гравитационные аномалии в редукции Фая.

Петролого-минералогические и петромагнитные исследования драгированного каменного материала проводятся с помощью современных приборов и методик.

На основе интегрированного анализа имеющихся материалов получены качественно новые данные о строении подводных вулканов КОД [1-9].

Установлено, что ведущим процессом во время неотектонического этапа развития КОД было периодическое опускание фундамента дуги с последующим поднятием в ее осевой части и надстраиванием островов за счет вулканической деятельности.

На крутых склонах подводных вулканов и островов КОД выявлены крупные блоки осадочных или рыхлых вулканогенных отложений объемом до нескольких км³ (рис. 1), которые вследствие их гравитационной неустойчивости, при сильных землетрясениях могут приходиться в движение и стать причиной возникновения цунами [6-8].

В постройках одиночных вулканов и вулканических массивов с помощью программных комплексов СИГМА-3D и СИНГУЛЯР выделены отдельные лавовые потоки, подводные каналы и периферические магматические очаги [1-4].

Томографический анализ позволил приближенно наметить пространственное положение магнитовозмущающих блоков, ассоциируемых с подводными каналами подводных вулканов, по которым происходили излияния лавы (рис. 2). В результате последующего решения обратной задачи магниторазведки в смешанной постановке

монтажным методом удалось уточнить конфигурацию этих блоков, охарактеризовать их магнитные свойства и оконтурить застывшие магматические системы [1-4].

С помощью программы ИГЛА установлено, что векторы естественной остаточной намагниченности изученных подводных вулканов КОД не совпадают по своим направлениям с современным геомагнитным полем (рис. 3), а образование подводных вулканических построек происходило в периоды глобальных геомагнитных возмущений [1-5].

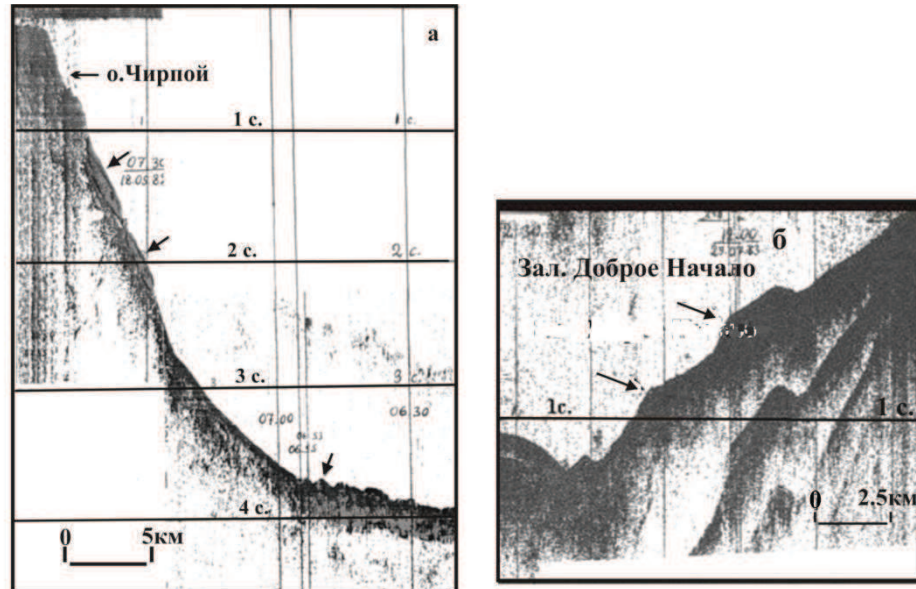


Рис. 1. Фрагменты профилей НСП, пересекающие северный склон о. Чирпой (а) и залив Доброе Начало (б). Стрелками показаны крупные “висячие” тела предполагаемых рыхлых отложений на склоне и оползневые отложения у подножия склона.

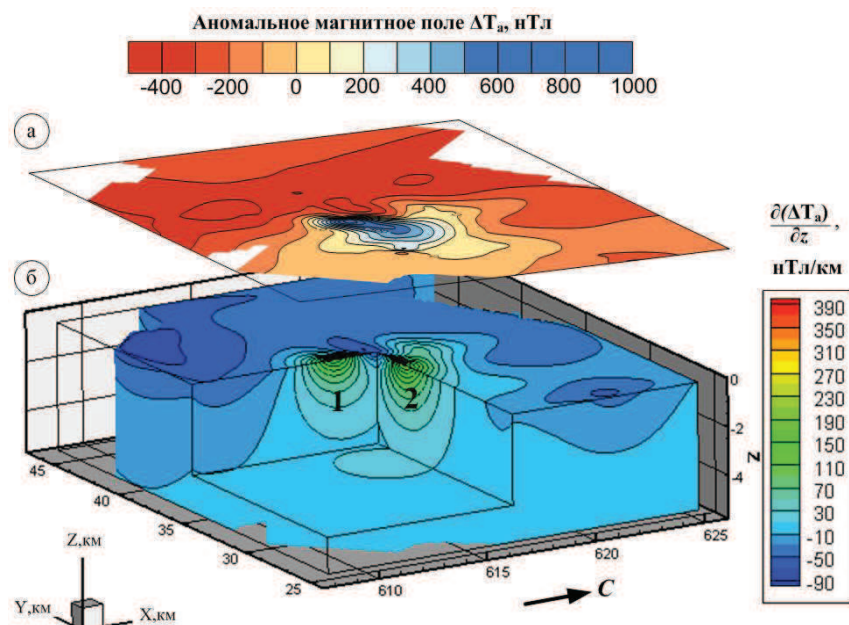


Рис. 2. Изолинии аномального магнитного поля ΔT_a (а) и 3D-диаграмма (б), отражающая пространственное распределение квазинамагниченности горных пород подводного вулкана Берга. 1 и 2 – зоны интенсивно намагниченных горных пород.

Петролого-минералогические и петромагнитные исследования показали, что изученные породы, слагающие подводные вулканы Охотоморского склона КОД относятся к

средним и умеренно щелочным. Среди вкрапленников встречается плагиоклаз, роговая обманка, пироксен, отмечены крупные выделения титаномагнетита (рис. 4).

Установлено, что драгированные породы сильно дифференцированы по величинам NRM, k и Qp. Высокие величины естественной остаточной намагниченности, обусловлены псевдооднородной структурой зерен титаномагнетита, а высокие значения магнитной восприимчивости – большой концентрацией ферромагнитных зерен [1, 9].

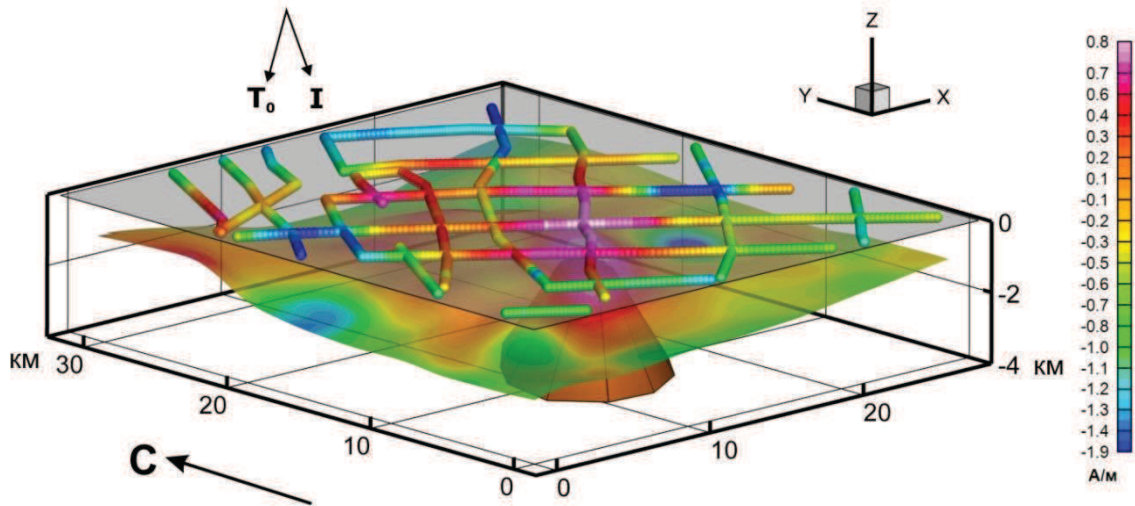


Рис. 3. Уточнение направления вектора намагниченности подводного вулканического массива Ратманова с помощью программы ИГЛА.

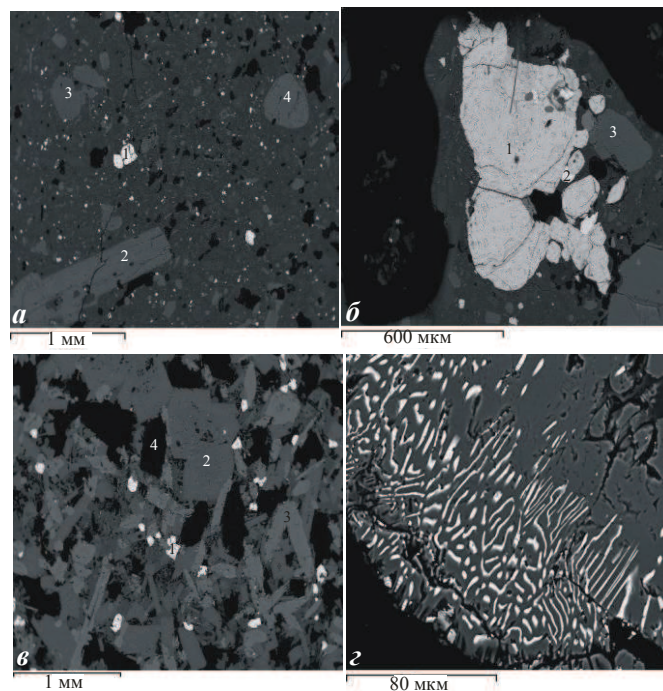


Рис. 4. Структуры лав и распределение в породах минералов для подводного вулканического массива Ратманова (а, б) и подводного вулкана 1.3 (в, г). Массив Ратманова: а – общая структура породы: 1 – титаномагнетит, 2 – роговая обманка, 3, 4 – пироксен; б – вкрапленник титаномагнетита: 1 – титаномагнетит, 2 – циркон, 3 – пироксен. Подводный вулкан 1.3: в – общая структура породы: 1 – титаномагнетит, 2 – плагиоклаз, 3 – пироксен, 4 – поровые пространства, заполненные органическим веществом (битумом?); г – развитие титаномагнетита в краевой зоне разрушающегося кристалла оливина.

Благодаря применяемому подходу изучение подводных вулканов и Охотоморского склона КОД оказалось весьма эффективным. Удалось идентифицировать неизвестные ранее подводные вулканы и определить участки, характеризующихся повышенной опасностью возникновения потенциально цунамигенных оползней.

В изученных вулканических постройках выделены вершинные кальдеры, периферические магматические очаги и подводящие каналы. Для некоторых подводных вулканов и вулканических массивов оконтурены застывшие магматические системы.

Получены оригинальные данные о составе зерен-носителей естественной остаточной намагниченности, петрографическом и минеральном составе пород, слагающих подводные вулканы, и установлено время и место их кристаллизации.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 15-05-02955-а и 15-05-01823-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С., Новикова П.Н., Пилипенко О.В., Рашидов В.А., Трусов А.А. Применение современных компьютерных технологий для исследования подводного вулканического центра вблизи юго-западной оконечности о. Симушир (Курильская островная дуга) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2014. №2. Вып. 24, С. 27-40.
2. Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С., Новикова П.Н., Рашидов В.А., Трусов А.А. Современные интерпретационные технологии при комплексном моделировании подводного вулкана Макарова (Курильская островная дуга) // Геоинформатика. 2012. №4, С. 8-17.
3. Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С., Новикова П.Н., Рашидов В.А., Трусов А.А. Комплексные геофизические исследования подводного вулкана 6.1, Курильская островная дуга // Геофизика. 2012. №2, С. 58-66.
4. Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С., Новикова П.Н., Рашидов В.А., Трусов А.А. Комплексное моделирование подводных вулканов 2.7 и 2.8 (Курильская островная дуга) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2013. №1. Вып. 21, С. 77-85.
5. Блох Ю.И., Рашидов В.А., Трусов А.А. Оценка остаточной намагниченности подводных вулканов Курильской островной дуги с применением программы ИГЛА // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2015. №2. Вып. № 26, С. 5 -10.
6. Бондаренко В.И., Рашидов В.А. Вулканический массив Черных Братьев (Курильские острова) // Вулканология и сейсмология. 2003. №3, С. 35-51.
7. Бондаренко В.И., Рашидов В.А. Погребенная подводная вулканическая зона к западу от о. Парамушир (Курильская островная дуга) // Вестник Камчатской региональной организации "Учебно-научный центр". Серия: Науки о Земле. 2006. №2. Вып. 8, С. 69-85.
8. Бондаренко В.И. Рашидов В.А. Геоморфология подводного хребта Шокальского (Курильская островная дуга) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2013. №2. Вып. 22, С. 44-54.
9. Рашидов В.А., Пилипенко О.В., Петрова В.В. Петромагнитные и петрографо-минералогические исследования горных пород, драгированных на подводных вулканах Охотоморского склона северной части Курильской островной дуги // Физика Земли. 2016. №4, С. 84-106.

УДК 550.82

**МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ
НА ЗОЛОТО-КВАРЦ-СУЛЬФИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ
АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Богомолов Алексей Владимирович
j-bvi@mail.ru*

Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. В работе описана методика выделения литологических комплексов с помощью геофизических данных, адаптированная для месторождений Амурской области золото-кварц-сульфидного типа. Помимо этого, рассмотрено применение геофизики на горных работах, с целью уточнения геологического строения площади.

**METHODOLOGY OF COMPLEX INTERPRETATION OF GEOPHYSICAL DATA ON
GOLD-QUARTZ-SULFIDE DEPOSITS OF THE AMUR REGION**

*Alexey Bogomolov
j-bvi@mail.ru*

Ural state mining university, Ekaterinburg, Russia

Summary. In the work describes a method of allocation of lithological complexes using geophysical data, adapted for deposits of the Amur region gold-quartz-sulphide type. In addition, the application of geophysics to mining operations has been considered, in order to clarify the geological structure of the area.

Вопросы поисков и прогнозирования золоторудных месторождений рассматривались многими специалистами (Коробейников А.Ф., Баранников А.Г., Сазонов В.Н., Дворник Г.П., Соловьев Г.А., Пахомов М.И., Ерофеев Л.Я. и другие.). Трудности истолкования геофизических полей зон метасоматических изменений обусловлены сложной мозаичной структурой изменчивости состава горных пород, которая проявляется как метасоматическая и петрофизическая зональность в сочетании с увеличением дисперсии физических свойств и измеряемых полей. Решение этой задачи в разных регионах имеет свои особенности и требует адаптации методики обработки и интерпретации к конкретной геологической обстановке.

В районе работ наиболее широко распространены вулканогенно-терригенные образования условно ранне-позднепалеозойского и раннеюрского возраста. Наиболее древними и метаморфизованными являются нижнепалеозойские образования, объединенные в афанасьевскую свиту, вмещающую рудную зону. В составе резко преобладают мусковит-кварц-альбитовые и мусковит-альбит-кварцевые сланцы. В меньшем количестве присутствуют альбит-хлорит-эпидот-амфиболовые сланцы. Породы повсеместно подвергнуты гидротермально-метасоматическому окварцеванию. Кварц образует маломощные жилы и линзы непостоянной мощности до 10 м, а также заполняет сближенные зоны дробления общей мощностью до 150 м. Все виды метасоматитов содержат вкрапленность сульфидов (пирит, арсенопирит, галенит и др.), шеелита, и зачастую золотоносны. Кроме того присутствуют алевролиты и песчаники с пластами и линзами органогенных известняков, яшм, метабазальтов, седиментационных брекчий, мелкогалечниковых конгломератов.

Геологическое строение района осложнено различно ориентированными разрывными нарушениями, среди которых в качестве главного выделяется субширотная система. Кроме того, широко проявлены нарушения субмеридионального и северо-восточного направлений.

Основным нарушением субширотной системы является Унгличканский разлом,

служащий границей между Удско-Шантарской и Селемджино-Кербинской зонами Амуро-Охотской системы. Нарушение легко картируется по резкому перепаду метаморфизма, разграничиваемых им пород и обилию вдоль его зоны разнообразных тектонитов шириной 0,6-0,8 км, представленных брекчиями, перемьятыми, гофрированными и будинированными породами. По морфологии разлом относится к сбросам. Еще одним крупным разломом субширотного простирания является Курумканский, проходящий в центральной части описываемой площади. Зона разлома характеризуется расланцеванием, милонитизацией, трещиноватостью и окварцеванием пород мощностью до 0,5 км.

Субмеридиональные разрывные нарушения немногочисленны, относятся к сбросо-сдвигам, имеющим значительные вертикальные составляющие. Нарушения этой системы контролируют размещение образований селитканского интрузивного комплекса.

Из других разрывных нарушений отмечаются фрагментарно изученные тектонические контакты выходов пород афанасьевской свиты. По зонам этих нарушений приходят в соприкосновение породы разных формаций, по морфологии они напоминают зоны глубинных срывов.

Золоторудные месторождения расположены в пределах северного крыла Эльгоканского купола, относящегося к нижнему раннепалеозойскому структурному подэтажу. Гидротермалиты месторождения локализованы в метабазитах афанасьевской свиты, которые контролируются подошвой надвига. Другое месторождение образовано жилами северо-восточного субширотного простирания, которые являются трещинами скола в аллохтоне надвига.

Месторождения локализованы в северном крыле куполовидной антиклинальной структуры, сложенной образованиями златоустовской и афанасьевской свит, прорванными дайками и силлами среднего состава мелового возраста. Рудоносные кварцевые жилы имеют преимущественно южное падение под углами 25-80° и приурочены к системе широтных тектонических нарушений мощностью 5-10 м. Большей частью жилы секущие по отношению к напластованию вмещающих пород, но отмечаются и согласные. Практически все золоторудные тела связаны с кварцевыми жилами. Протяженность тел от 50 до 1000 м, мощность 0,05-2,0 м, изучены на глубину от 5 до 320 м. Золото встречается как в свободном состоянии, так и в сульфидах. Месторождения относятся к метаморфогенно-гидротермальному типу золото-сульфидно-кварцевой формации больших глубин.

На участках общей площадью более 100 км² выполнены комплексные геофизические работы. На них проведены площадные магниторазведочные работы по сети 200×10 м и электроразведочные (СЭП-ВП) по такой же сети. Приёмный диполь MN = 10 м, питающие линии АВ = 4000 м. Работы проводились переменным током на частоте 1.22 Гц (форма сигнала - меандр) с определением фазового сдвига и кажущегося сопротивления. По результатам измерений построены карты ΔТ, ρ_к и η_к масштаба 1:50000.

Интенсивность искомых аномалий на золоторудных месторождениях мала, поэтому всегда применяют комплекс геофизических методов. При совместном истолковании геофизических полей для проведения процедур распознавания образов и литологического расчленения горных пород в каждой точке измерения *i* их преобразуют к относительному (безразмерному) [1] виду по:

$$f^{OTH} = \frac{f_i - h}{a},$$

где *f* – поле, *h* – уровень относимости, *a* – коэффициент нормировки, который позволяет перевести *f* в заданный диапазон. Например, если принять $a = f^{max} - f^{min}$ то диапазон изменения поля в относительном виде равен 1. Если *h* принять равным ожидаемой интенсивности поля искомого объекта, то площади с *f_i* близкими к 0 будут перспективными на наличие объекта поисков. Г.С. Вахромеев предложил вид такого преобразования:

$$f^{OTH} = \frac{f_i - f_{CP}}{s_f}$$

где f_i - измеренное значение магнитного поля, f_{CP} - среднее по площади значение, S_f - стандартное отклонение. Среднему по площади значению поля часто нельзя придать какое-либо содержание. Оно не относится к какому-либо геологическому объекту, поэтому данный вид поля относимости не удачен.

Если измерены три физических поля T , ρ_k , η_k , то объекту поисков соответственно присущи значения полей близкие к h , v , q . Выберем нормирующие коэффициенты равными одной трети величины диапазона изменения поля:

$$a = T^{\max} - T^{\min}, \quad b = \rho^{\max} - \rho^{\min}, \quad c = \eta^{\max} - \eta^{\min},$$

тогда обобщенный показатель в i точке примет вид:

$$W_i = \frac{T_i - h}{3a} + \frac{\rho_i - v}{3b} + \frac{\eta_i - q}{3c}.$$

Диапазон изменения представленного W приблизительно равен 1, а значения близкие к 0 выявляют перспективные площади. Среди выделенных участков необходимо исключить те, где происходит компенсация полей f^{OTH} разного знака.

Такой подход позволяет обнаружить участки метасоматических околорудных изменений (окварцевания, аргиллитизации, сульфидизации, пропилитизации, фенитизации и др.) путем подбора коэффициентов W . Расчет W с разными параметрами преобразования для выделения участков разными типами метасоматических процессов напоминает процедуру расчета аномалий с разным радиусом осреднения с целью выделения аномалий источников разных размеров и плотностей. Пример применения приведен на Рис. 1

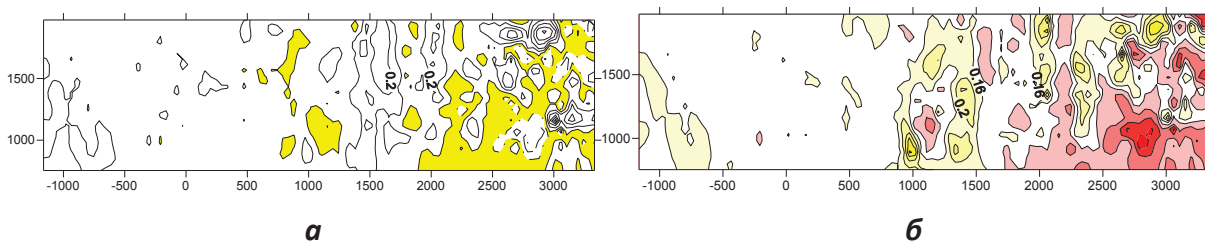


Рис. 1 План изолиний W для выявления целевых комплексов: **а** – сланцев; **б** – метабаритов.

При проведении процедуры распознавания расстояния между центрами классов вычислим на основе полученных полей в относительном виде по формуле:

$$d_{ij} = \sqrt{(T_i^{OTH1} - T_j^{OTH1})^2 + (\rho_i^{OTH1} - \rho_j^{OTH1})^2 + (\eta_i^{OTH1} - \eta_j^{OTH1})^2},$$

где i и j – индексы классов, f^{OTH1} - центр класса поля f .

Полученная методика является эффективным способом выделения блоков, структурно-вещественных комплексов и позволяет провести литологическое расчленение пород в пределах выделенных блоков. С помощью данной методики установлено, что золоторудные месторождения Амурской области золото-кварц-сульфидного типа формируются в основном в зонах разломов, либо на их контакте, которые уверенно выделяются по комплексным геофизическим данным.

Рассмотрим результаты на примере канавы К-3. Комплекс геофизических методов позволяет выделить четыре СВК, природа которых установлена результатами обследования канавы (Рис. 1 - 4). Результаты распространены на пространство между горными выработками. Установлено хорошее соответствие результатов геофизических измерений с геологической документацией канавы.

По данным капшапетрии, магнетитсодержащие альбит-хлоритовые метасоматиты выделяются высокими значениями магнитной восприимчивости – ($\alpha = 10 \div 5140 \times 10^{-5}$ ед. СИ) с очень неравномерным распределением, на фоне низких, слабо дифференцированных значений ($\alpha = 0 \div 10 \times 10^{-5}$ ед. СИ), характеризующих слабо измененные породы. На графике магнитной восприимчивости (Рис. 2) выделяются:

1. магнетитсодержащие альбит-хлоритовые метасоматиты имеют значения $\alpha=155140 \times 10^{-5}$ ед. СИ, среднее - $\alpha 1280 \times 10^{-5}$ ед. СИ; $\rho_k = 600 - 700$ Ом*м; $\varphi_k = 3^\circ - 3,5^\circ$;
2. золотоносные кварц-альбитовые метасоматиты обладают более низкими значениями $\alpha = 10 \div 1800 \times 10^{-5}$ ед. СИ, среднее - 110×10^{-5} ед. СИ; $\rho_k = 1000 - 1100$ Ом*м; $\varphi_k = 1^\circ - 1,5^\circ$.

Результаты капаметрии хорошо согласуются с магнитным полем, значения которого смещены в северном направлении [1].

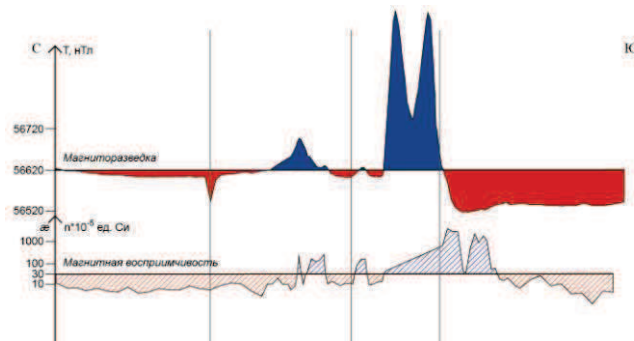


Рис. 2 Графики магнитного поля и магнитной восприимчивости по канаве К-3.

На графике сдвига фаз (φ_k) (Рис. 3) зона измененных пород определяется низкими значениями менее $-1,5^\circ$. Низкие значения φ_k обусловлены тем, что вмещающие графит-кварц-альбитовые сланцы из-за присутствия графита, обладают высокой поляризуемостью, а гидротермально-метасоматические изменения (альбитизация, окварцевание, мусковитизация) способствуют выносу графита из зоны.

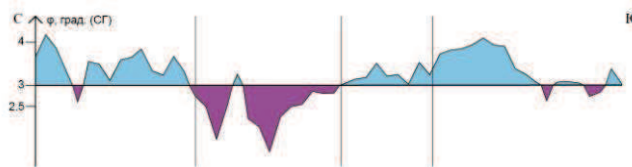


Рис. 3 График φ_k по канаве К-3.

На графике кажущегося сопротивления (ρ_k) (Рис. 4) высокими значениями выделяется центральная часть зоны с рудным интервалом мощностью 5 м. Справа, от центральной зоны, аномалия высокого сопротивления, соответствующая более продуктивному рудному интервалу видимой мощностью 15,7 м.

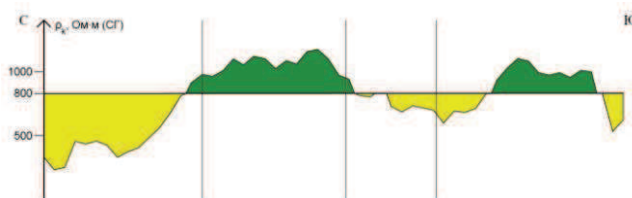


Рис. 4 График ρ_k по канаве К-3.

Можно утверждать, что геофизические поля закономерно смещены относительно зоны метасоматитов [2], вскрытой канавой, в зависимости от падения зоны и слагающих ее элементов с учетом геометрии установок, используемых для измерений. О направлении падения говорит характерная асимметрия графиков наблюдаемых полей. Вид кривых высокого магнитного поля (магнетитсодержащие метасоматиты), низкой поляризуемости (альбитизация, окварцевание, мусковитизация), низкого сопротивления (дробление,

интенсивная трещиноватость и глинизация) указывают на падение аномалиеобразующих объектов в северном направлении. Характер аномалии высокого сопротивления свидетельствует о падении высокоомного объекта (прожилковое окварцевание) на юг.

Выводы:

1. Применение геофизических работ на горных, показало, что распределение физических свойств по канавам, их величины, установленные для пород, слагающих данную площадь, определяют хорошую контрастность магнитных полей и их высокую разрешающую способность при решении поисковых и картировочных задач на золото-кварц-сульфидных месторождениях Амурской области;
2. Установлено, что сопоставление геофизических методов и горных работ, в Амурской области на золото-кварц-сульфидных месторождениях, позволяет получить полную информацию о геологической ситуации в заданном участке:
 - определение падения пластов;
 - определение источника аномалий;
 - локализации золоторудных проявлений;
 - получение достоверного геологического результата.
3. Применение геофизики на горных работах является эффективным способом выделения падения рудосодержащих пластов, определения зон метасоматоза в Амурской области на золото-кварц-сульфидных месторождениях.
4. Полученная методика является эффективным способом выделения блоков, структурно-вещественных комплексов и позволяет провести литологическое расчленение пород в пределах выделенных блоков. С помощью данной методики установлено, что золоторудные месторождения Амурской области золото-кварц-сульфидного типа формируются в основном в зонах разломов, либо на их контакте, которые уверенно выделяются по комплексным геофизическим данным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богомолов А.В. Анализ комплексных геофизических данных золото-сульфидно-кварцевых месторождений Тындинского района./ XIV Уральская молодежная школа по геофизике: Сб. научн. материалов. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2013, С. 24 – 28.
2. Богомолов А.В., Виноградов В.Б. Алгоритм обработки геофизических данных золоторудных месторождений Амурской области / Известия Вузов. Горный журнал. 2015. №1. С. 132 – 135.

УДК 556.33:550.348

ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ В СКВАЖИНЕ ЮЗ-5, КАМЧАТКА, ВЫЗВАННЫЕ ЖУПАНОВСКИМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ 30.01.2016 г., $M_w=7.2$

Болдина Светлана Васильевна

e-mail: boldina@emsd.ru

Камчатский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН», Россия, Петропавловск-Камчатский

Аннотация. Представлены данные по изменениям уровня воды в скв. ЮЗ-5, Камчатка, в период Жупановского землетрясения 30 января 2016 г., $M_w=7.2$. В изменениях уровня проявились различные по продолжительности вариации после вступления сейсмических волн от землетрясения: повышение уровня воды в течение 45 минут с амплитудой 9.4 см и понижение уровня воды на 70 см в течение 3 месяцев. Ретроспективно выявлено повышение уровня воды на 34 см в течение 3.5 месяцев до землетрясения.

THE CHANGES OF WATER-LEVEL IN THE WELL YUZ-5, KAMCHATKA, DUE TO ZHUPANOVSKY EARTHQUAKE ON JANUARY 30, 2016, $M_w=7.2$

Boldina Svetlana

e-mail: boldina@emsd.ru,

Kamchatka Branch of Geophysical Service RAS, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky

Summary. Data on the changes of water-level in the well UZ-5, Kamchatka, during the Zhupanovsky earthquake on January 30, 2016, $M_w=7.2$ are presented. In the changes of water-level found the short-term increase of the water-level within 45 minutes with an amplitude of 9.4 cm after the seismic waves arrival from earthquake, the post-seismic decrease of the water-level on 70 cm within 3 months. Retrospectively was detected the increase of the water-level on 34 cm for 3.5 months before the earthquake.

Достоверная диагностика изменений уровня воды, вызванных процессами подготовки и реализации сильных землетрясений, является основной целью проведения скважинных уровнемерных наблюдений на Камчатке и в других сейсмоактивных районах. Такие изменения уровня воды называются *гидрогеосейсмическими вариациями*. Описание различных типов гидрогеосейсмических вариаций - гидрогеодинамических предвестников, косейсмических скачков и постсейсмических изменений, зарегистрированных в скважинах Камчатки в связи с местными и удаленными сильнейшими землетрясениями, приводится в [1-8,10,12]. Наличие данных о гидрогеосейсмических вариациях с указанием их форм, амплитуд и продолжительностей позволяет изучать гидрогеодинамические процессы в системах «скважина – водовмещающая порода» под воздействием сейсмичности.

Таблица. Параметры очага Жупановского землетрясения 30.01.2016 г. (по данным каталога СМТ (<http://www.globalcmt.org/>))

Дата дд.мм.гг	Время чч:мм:сс	Магнитуда M_w	Положение центроида			Плоскости подвижки		Угол подвижки λ_s , град.	Скалярный сейсмический момент M_0 , $N \cdot m \cdot 10^{20}$
			с. ш.	в. д.	Н, км	Азимут прости- рания ϕ_s , град.	Угол падения δ , град.		
30.01.2016	3:25:19	7.2	53.86	158.73	180	324/77	39/72	-29/-126	0.86

Камчатский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН» (КФ ФИЦ ЕГС РАН) проводит уровнемерные наблюдения на скв. ЮЗ-5 (53.17° с. ш., 158.41° в. д., глубина 800 м) (рис. 1) с использованием измерительного

комплекса Кедр ДМ-У производства ООО Полином, г. Хабаровск, обеспечивающего синхронные измерения уровня воды и атмосферного давления с периодичностью опроса 5 минут с точностью измерений вариаций уровня воды ± 0.1 см и атмосферного давления ± 0.1 гПа [7].

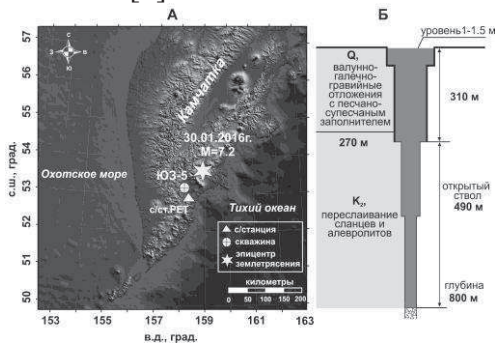


Рис. 1. Схема размещения наблюдательной скв. ЮЗ-5 и эпицентра ЖЗ 30.01.2016 г. (А); строение скв. ЮЗ-5 (с характеристикой водовмещающих пород) (Б)

30 января 2016 г. на Камчатке произошло Жупановское землетрясение (ЖЗ) с магнитудой $M_w=7.2$, $H=180$ км на эпицентральной расстоянии $d_{эп}=80$ км от скв. ЮЗ-5 (табл.; рис. 1). Вступление сейсмических волн было зарегистрировано в 03 ч 25 мин на сейсмостанции Петропавловск (РЕТ) в 25 км от скважины. Интенсивность сотрясений в районе скважины составила 5 баллов по шкале MSK-64 [9]. В работе рассматриваются гидрогеосейсмические вариации уровня воды в скв. ЮЗ-5, предшествующие и сопутствующие этому сейсмическому событию (рис. 2).

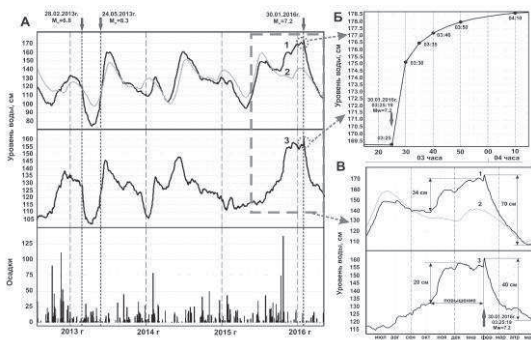


Рис. 2. Гидрогеосейсмические вариации уровня воды в скв. ЮЗ-5 в период Жупановского землетрясения 30 января 2016 г., $M_w=7.2$: А – графики изменений уровня воды с июля 2012 по май 2016 гг. в сопоставлении с осадками и землетрясениями с $M_w \geq 6.5$ (показаны стрелками): 1 – среднечасовые данные наблюдений с компенсированными баровариациями; 2 – выделенные сезонные вариации уровня воды совместно с линейным трендом; 3 – остатки из изменений уровня воды после компенсации годовой сезонности и тренда; жирным пунктиром обозначен фрагмент графиков в период подготовки и реализации ЖЗ; Б – кратковременное повышение уровня воды после вступления сейсмических волн от ЖЗ; В – относительно долговременные вариации уровня воды в период подготовки и реализации ЖЗ.

Кратковременное повышение уровня воды после вступления сейсмических волн. В течение 45 минут (03:25 – 4:10) уровень повышался с амплитудой 9.4 см (рис. 2 Б) вследствие увеличения порового давления в системе «скважина – водовмещающая порода». Такой эффект мог быть вызван наложением косейсмического скачка повышения уровня вследствие объемного сжатия водовмещающих пород при образовании разрыва в очаге землетрясения и кратковременного роста порового давления при прохождении сейсмических волн [1,10]. Механизм импульсного повышения порового давления, инициированного прохождением сейсмических волн, скорее всего, связан с неоднородностью фильтрационных свойств водовмещающих пород, примыкающих к стволу скважины, и с кратковременным эффектом нелинейной фильтрации, возникающей при воздействии сейсмических волн и сопровождающейся притоком воды в ствол скважины.

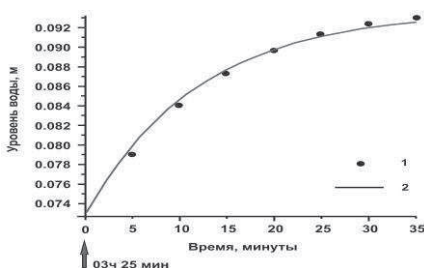


Рис. 3. Результаты моделирования повышения уровня воды в скв. ЮЗ-5 после вступления сейсмических волн от ЖЗ: 1 – 5-минутные данные наблюдений; 2 – расчетное повышение уровня воды.

Амплитуда косейсмического скачка Δh определялась подбором с учетом условия: $u_0 + \Delta h = 9.4$ см, где u_0 – амплитуда повышения уровня воды вследствие роста порового давления определялась из формулы [12]: $u(t) = u_0[1 - \exp(-t/t_r)]$, где t – время; t_r – константа. Расчетное повышение уровня воды в течение 45 мин хорошо согласуется с наблюдаемыми данными при амплитуде косейсмического скачка $\Delta h = 7.3$ см, $u_0 = 2.1$ см и при величине $t_r = 12$ мин (рис. 3).

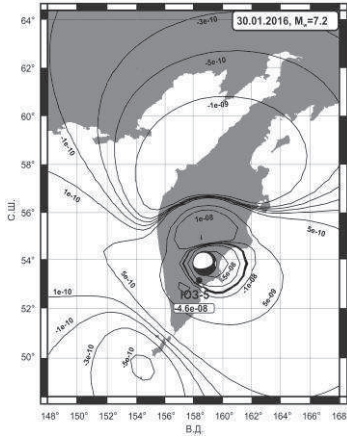


Рис. 4. Горизонтальное распределение объемной косейсмической деформации на глубине 500 м по модели дислокационного источника с параметрами очага ЖЗ с указанием величины деформации в районе скв. ЮЗ-5 (показана черным кружком).

По амплитуде скачка Δh оценена величина объемной деформации водовмещающих пород $D_1 = -4.5 \cdot 10^{-8}$ по формуле [1-3,10]: $D_1 = -\Delta h/A_v$, где $A_v = 0.161$ см/ 10^9 – величина чувствительности вариаций уровня воды в скв. ЮЗ-5 по отношению к объемной приливной деформации, полученной из результатов приливного анализа вариаций уровня воды [2,3,10]. По направлению изменения уровня воды (повышение) характер деформации водовмещающих пород соответствовал объемному сжатию.

С использованием данных по механизму очага ЖЗ (табл.; рис. 1) построено горизонтальное распределение объемной косейсмической деформации D_2 по модели дислокации в однородном упругом изотропном полупространстве [1,10] на глубине 500 м, соответствующей средней глубине открытой части ствола скважины (рис. 4). Полученная величина косейсмической деформации в районе скв. ЮЗ-5 $D_2 = -4.6 \cdot 10^{-8}$ (рис. 4) хорошо согласуется с величиной объемной деформации D_1 по данным уровнемерных наблюдений на скважине.

Постсейсмическое понижение уровня воды после ЖЗ. В скв. ЮЗ-5 понижение уровня воды продолжалось в течение февраля – апреля 2016 г. В мае началось возвращение уровня к его фоновому сезонному положению. Визуально, амплитуда понижения уровня воды с 30 января по 1 мая составила примерно 70 см (рис. 2 В). Если учесть характер сезонного тренда за многолетний период (см. график 2 на рис. 2 А, В), то амплитуда постсейсмического понижения уровня составит ≈ 40 см (см. график 3 на рис. 2 А, В). Ранее эффекты длительного постсейсмического понижения уровня воды наблюдались в этой скважине дважды: после Кроноцкого землетрясения 05.12.1997 г., $M_w = 7.8$, $d_{эн} = 200$ км с амплитудой 1 м в течение 3 мес. [8] и после землетрясения 28.02.2013 г., $M_w = 6.8$, $d_{эн} = 260$ км с амплитудой 28 см в течение 1.5 мес. [2].

Постсейсмическое понижение уровня воды с 30 января по 1 мая отражает понижение напора в контролируемом скважиной водоносном горизонте. Можно предположить, что такое уменьшение напора в районе скважины было вызвано локальным повышением проницаемости водовмещающих пород при сейсмических сотрясениях и описывается математической моделью удаленного точечного источника падения напора [2]: $x = x_0 - \Delta h \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{R}{\sqrt{4at}}\right)$, где x – уровень воды в скважине, x_0 – начальный уровень воды в скважине, $\Delta h = \Delta p/\rho g$ – изменение напора при изменении порового давления Δp , ρ – плотность воды, g – ускорение свободного падения, R – расстояние от источника падения напора до скважины, a – пьезопроводность, t – время. Удовлетворительное соответствие

постсейсмического понижения уровня воды расчетной зависимости получено при следующих параметрах (рис. 5): амплитуда понижения уровня воды в скважине $\Delta h = 0.40$ м, пьезопроводность $a = 0.25$ м²/с, расстояние от источника падения напора в водоносном горизонте до скважины $R = 450$ м.

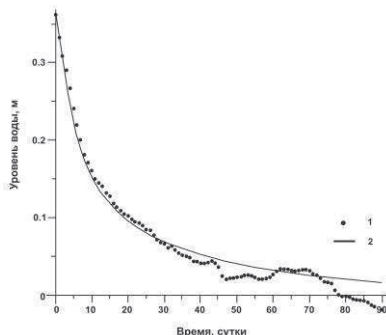


Рис. 5. Результаты моделирования понижения уровня воды в скв. ЮЗ-5 после ЖЗ:
1 – среднесуточные данные наблюдений с компенсированными барометрическими и сезонными вариациями; 2 – расчетное понижение уровня воды

Повышение уровня воды, предшествующее ЖЗ. В среднечасовых изменениях уровня воды, очищенных от влияния атмосферного давления, обнаружено аномальное повышение уровня воды с амплитудой 34 см в течение 3.5 мес. перед ЖЗ. Наиболее интенсивный подъем наблюдался с середины октября 2015 г. (рис. 2 А, В). После удаления сезонного тренда за многолетний период, амплитуда предсейсмического повышения составила ≈ 20 см.

Предполагается, что таким образом проявлялся гидрогеодинамический предвестник Жупановского землетрясения. Ранее предвестник в виде бухтообразного понижения уровня с амплитудой 11 см и продолжительностью около трех недель проявлялся перед Кроноцким землетрясением и, как предполагалось, был обусловлен падением порового давления при развитии квазиупругой деформации расширения водовмещающих пород на стадии подготовки этого землетрясения [3,4].

Заключение. Пример ЖЗ демонстрирует, что используемая в КФ ФИЦ ЕГС РАН система уровневых наблюдений позволяет диагностировать различные типы гидрогеосейсмических вариаций уровня воды при сильных землетрясениях, в т. ч. ко- и постсейсмические эффекты и предполагаемые гидрогеодинамические предвестники.

В результате ЖЗ в скв. ЮЗ-5 зарегистрирован косейсмический скачок повышения уровня $\Delta h = 7.3$ см вследствие перераспределения напряженно - деформированного состояния водовмещающих пород при образовании разрыва в очаге, что соответствует объемной деформации сжатия водовмещающих пород $D_1 = -4.5 \cdot 10^{-8}$. Оценка по уровневным данным согласуется с теоретической оценкой косейсмической деформации $D_2 = -4.6 \cdot 10^{-8}$ по модели протяженного дислокационного источника. Соответствие полученных величин подтверждает высокие деформометрические свойства наблюдательной скважины. Ретроспективно обнаружено аномальное повышение уровня воды с амплитудой ~ 20 см в течение не менее 3.5 месяцев, предшествующее ЖЗ, и, возможно, являющееся гидрогеодинамическим предвестником этого сейсмического события.

Выделены эффекты воздействия сейсмических волн в изменениях уровня воды: кратковременное повышение уровня с амплитудой 2.1 см в течение 35 минут и постсейсмическое понижение уровня с амплитудой 40 см в течение 3 мес. Такие эффекты показывают, что в результате прохождения сейсмических волн в системах «скважина – водовмещающая порода» возникают специфические флюидодинамические процессы вследствие вариаций напора, локального и площадного изменения проницаемости водовмещающих пород.

Работа выполнена в рамках плановых тем НИР КФ ФИЦ ЕГС РАН рег. №№ АААА-А16-116070550057-7, АААА-А16-116070550059-1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болдина С.В., Копылова Г.Н. Косейсмические эффекты сильных камчатских землетрясений 2013 г. в изменениях уровня воды в скважине ЮЗ-5 // Вестник КРАУНЦ. Серия науки о Земле. 2016. № 2. Вып. № 30. С.66-76.
2. Болдина С.В., Копылова Г.Н. Моделирование вариаций уровня воды в скважине ЮЗ-5, Камчатка, вызванных землетрясением 28.02.2013 г., $M=6.8$ // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Четвертой научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 29 сентября - 5 октября 2013 г. Обнинск: ГС РАН, 2013. С. 435-439.
3. Копылова Г.Н. Изменения уровня воды в скважине ЮЗ-5, Камчатка, вызванные землетрясениями // Вулканология и сейсмология. 2006. № 6. С. 52-64.
4. Копылова Г.Н., Болдина С.В. О механизме гидрогеодинамического предвестника Кроноцкого землетрясения 5 декабря 1997 г., $M_w=7.8$ // Тихоокеанская геология. 2012. № 5. С.104-114.
5. Копылова Г.Н., Болдина С.В. Триггерное воздействие землетрясений на подземные воды (по данным наблюдений на Камчатке) // Триггерные эффекты в геосистемах (Москва, 16-19 июня 2015 г.): материалы третьего Всероссийского семинара-совещания / Под ред. В.В. Адушкина, Г.Г. Кочаряна. М.: ГЕОС, 2015. С. 70-78.
6. Копылова Г.Н., Болдина С.В., Сизова Е.Г. Гидрогеосейсмические вариации уровня, температуры и электропроводности воды, зарегистрированные в связи с землетрясением 28 февраля 2013 г. Глава 7. Наблюдения в пьезометрических скважинах // Сильные камчатские землетрясения 2013 года / Под ред. В.Н. Чеброва. – Петропавловск-Камчатский: Холд. комп. «Новая книга». 2014. С. 105 – 111.
7. Копылова Г.Н., Болдина С.В., Смирнов А.А., Чубарова Е.Г. Опыт регистрации вариаций уровня и физико-химических параметров подземных вод в пьезометрических скважинах, вызванных сильными землетрясениями (на примере Камчатки) // Сейсмические приборы. 2016. № 4, Т. 52. С.43-56. DOI: 10.21455/si2016.4-4
8. Копылова Г.Н., Болдина С.В., Смолина Н.Н. и др. Гидрогеосейсмические вариации уровня воды в пьезометрических скважинах Камчатки (по данным наблюдений 1987-2011 гг.) // Сейсмологические и геофизические исследования на Камчатке. К 50-летию детальных сейсмологических наблюдений. Петропавловск-Камчатский: Новая книга, 2012. С. 236-269.
9. Чебров В.Н., Кугаенко Ю.А., Абубакиров И.Р. и др. Жупановское землетрясение 30.01.2016 г. с $K_s=15.7$, $M_w=7.2$, $I=6$ (Камчатка) // Вестник КРАУНЦ. Серия науки о Земле. 2016. № 1. Вып. № 29. С. 5-16.
10. Kopylova G.N., Steblov G.M., Boldina S.V., Sdel'nikova I.A. The Possibility of Estimation the Coseismic Deformation from Water Level Observations in Wells // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. 2010. V. 46, №. 1. P. 47-56. DOI:10.1134/S1069351310010040
11. Okada Y. Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space // *Bulletin of the Seismological Society of America*. 1985. V. 75. № 4. P. 1135-1154.
12. Roeloffs E.A. Persistent water level changes in a well near Parkfield, California, due to local and distant earthquakes. // *JGR*. 1998. V. 103. № B1. P. 869-889.

УДК 550.8

**ЭКОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ
ПОВЕРХНОСТНЫХ УСЛОВИЙ МЕСТ ПРОИЗВОДСТВА
ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТА**

*Боровский Михаил Яковлевич¹, Богатов Владимир Ильич¹,
Шакуро Сергей Владимирович²*

¹ lilabor@mail.ru

² shakuro@frontgeo.ru

¹ ООО «Геофизсервис», Россия, Казань

² ООО «ФРОНТ-Геология», Россия, Ниж. Новгород

Аннотация. Рассмотрены вероятные причины и возможные последствия антропогенного вмешательства в геологическую среду при подготовке и проведении процессов гидравлического разрыва продуктивного пласта.

Отмечена необходимость применения геофизической разведки на прорывных направлениях нефтегазовой геологии и геофизики.

**ECOLOGICAL-GEOPHYSICAL FORECASTING
SURFACE CONDITIONS OF PRODUCTION HYDRAULIC FRACTURING**

Borovsky Mikhail¹, Bogatov Vladimir¹, Shakuro Sergey²

¹ lilabor@mail.ru

² shakuro@frontgeo.ru

¹ "Geofizservis" Ltd, Russia, Kazan

² "FRONT-Geology" Ltd, Russia, Nizhny. Novgorod

Summary. Considered probable causes and possible effects of human intervention in the geological environment in the preparation and conduct of the processes of hydraulic fracturing of the productive stratum.

The necessity of application of geophysical exploration in breakthrough areas of petroleum Geology and Geophysics.

Для обеспечения высокого уровня добычи нефти и газа, наряду с разведкой и освоением новых месторождений, особое внимание уделяется повышению нефтеотдачи и интенсификации добычи углеводородного сырья. Одним из наиболее успешных технологических решений, применяемых для этой цели, служит гидравлический разрыв продуктивного пласта (ГРП, фрекинг). Данный процесс сопровождается активным антропогенным вмешательством в геологическую среду, приводящим в ряде случаев, к негативным последствиям.

На рисунке приводится обобщенная схема экологических угроз проектов по добыче сланцевого газа.

Производство ГРП требует концентрации на ограниченной по площадным размерам территории большого количества автотранспорта с большой грузоподъемностью и различного оборудования. Вес отдельных единиц техники (цистерны с водой, песковозы, насосная установка на автошасси Mercedes Benz Actros, блендер для приготовления жидкости ГРП, трактора и др.) достигает 25-26 тонн и более. Одновременно на участке работ по проведению ГРП может находиться более двадцати тягачей, иногда складывается значительное количество веществ необходимых для гидравлического разрыва. «Газпромнефть-Хантос», дочерняя компания «Газпром нефти» (данные СМИ), для выполнения 30-стадийного ГРП на Южно-Приобском месторождении в ХМАО на горизонтальном участке скважины, длиной 1,5 тыс. м, при общей протяженности скважины



Рисунок. Экологические угрозы проектов при добыче сланцевого газа (Источник: URL: <http://www.obretenie.info/events/ukraine/gaz/gaz1.htm>)

более чем в 4,6 тыс. м и глубине залегания нефтяного пласта свыше 2,6 тыс. м использовало 1,2 тыс. тонн пропантанта.

Наличие мощной техногенной нагрузки на недра способствует активизации опасных геологических явлений: просадки грунта, формирование оползневых и карстоопасных массивов, усиление эрозионной деятельности и др. Необходима предварительная оценка территории с целью прогнозов техногенного изменения геологической среды и его масштабов. Геофизические методы изучения инженерно-геологических характеристик

перспективных участков подробно изложены в соответствующих монографиях по инженерной геофизике (Ф.М. Ляховицкий и др., 1989; А.А. Огильви, 1990; З.М. Слепак, 1999, 2007; В.М. Шувалов, 1983, 2010; и др.) [1,11,13,14,16,17,18,21,22,23] и в периодической печати (журнал «Геоморфология», сборники докладов научно-практических конференций «Инженерная геофизика», «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей», «Гидрогеология и Карстоведение», «Научные чтения Ю.П.Булашевича», и др.) [2-10,12,15,16,17,19-28]. При выборе рационально-рентабельного геофизического комплекса следует принимать во внимание, что активизация опасных геологических процессов, как правило, контролируется разломными нарушениями, зонами повышенной трещиноватости и гидрогеологическими особенностями приповерхностной толщи.

Концентрация большого количества тяжелой самоходной техники и специального оборудования для изготовления технической жидкости для ГРП не исключает проливов горюче смазочных материалов (ГСМ), утечек поллютантов (техническая и пресная вода, гели, эмульсии и др.) из различных емкостей и коммуникаций. Следует отметить, что перед началом работы скважину очищают от грязи дренированием и промывают для улучшения фильтрационных свойств призабойной зоны, иногда производится предварительная обработка скважины соляной или глинокислотой (смесь соляной и плавиковой). Все это предполагает предварительное определение естественной защищенности недр в районе проведения ГРП.

Существенна концепция оценки поверхностных условий мест производства гидравлического пласта для своевременного принятия и осуществления мер по предотвращению негативных последствий рассматриваемого цикла (ГРП, фрекинг) геологоразведочных (эксплуатационных) работ. Для оптимального размещения объектов обустройства и производства для ГРП просматривается два аспекта:

1. Изучение инженерно-геологических характеристик, в том числе микросейсмическое районирование, для определения геодинамической (механической) устойчивости массивов горных пород;
2. Оценка природной защищенности территории (участка, района) с целью определения фильтрационной способности приповерхностных слоев геологического разреза изучаемого массива, с выделением водоохраных зон.

В ряде регионов Волго-Уральской нефтегазоносной провинции накоплен огромный опыт по прогнозированию и проведению мероприятий по экологической безопасности, уменьшению или исключению негативных последствий процессов освоения нефтяных месторождений, в том числе и на поздней стадии разработки.

Значительную помощь для своевременного осуществления мероприятий с позиций экологической безопасности, прогнозирования негативных последствий геологоразведочного процесса оказывают оперативные, малозатратные, экологически приемлемые геофизические методы разведки.

Для нефтедобывающих регионов разработаны [1,2,8,10,11] методические основы оценки естественной защищенности недр (прежде всего, имеются в виду горизонты пресных подземных вод), как «снизу», так и «сверху» по геофизическим данным. Предложены [1,3,5,6,7,9,11,15,16,17,19,23,25,26,27,28] геофизические комплексы для выявления источников и ореолов загрязнения геологической среды.

Эффективным средством контроля состояния природной окружающей среды служит [1,9,11,17,20], реализуемый в ГНПП «Аэрогеофизика» комплекс, позволяющий вести дистанционный экологический мониторинг, включающий тепловую, гамма-спектрометрическую, газовую и аэрозольную съемки.

Современное аппаратно-методическое и интерпретационное обеспечение позволяет использовать геофизическую разведку на прорывных направлениях нефтегазовой геологии и геофизики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровский М. Я. Геоэкология недр Республики Татарстан: геофизические аспекты / М.Я.Боровский, Н.Х. Газеев, Д.К. Нурғалиев; под ред. Д.К.Нурғалиева. – Казань: Экоцентр, 1996. – 316 с.
2. Боровский М.Я. Методические основы прогнозирования естественной защищенности недр по данным структурной гравиразведки / М.Я. Боровский, В.И. Богатов, А.С. Борисов, Е.Г. Фахрутдинов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – М. : ВНИИОЭНГ. – 2011. – №8. – С. 40–46.
3. Боровский М.Я. Разведочная геофизика на этапах изучения гидрогеоэкологической ситуации районов нефтепромысловых сооружений / М.Я. Боровский, В.И. Богатов, А.А. Ефимов, М.Н. Мингазов, Е.Г. Фахрутдинов // Нефтяное хозяйство. – 2011. – №9. – С. 130–135.
4. Боровский М.Я. Методика и результаты комплексных геофизических исследований оползневых массивов на правом берегу реки Волги / М.Я. Боровский, В.И. Богатов, А.А. Ефимов, Д.Л. Ламбев, С.В. Шакуро, Е.Г. Фахрутдинов // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: материалы 39 сессии Международного научного семинара им. Д.Г. Успенского, Воронеж, 30 С. 30января–2 февраля 2012г. – Воронеж : ВГУ, 2012. – 48–49.
5. Боровский М.Я. Геофизическая диагностика площадей вероятного распространения загрязнения в районах действующих нефтедобывающих предприятий / М.Я. Боровский, А.С. Борисов, Р.М. Миннуллин, В.И. Богатов, Е.Г. Фахрутдинов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – М. : ВНИИОЭНГ. – 2012. – №2. – С. 22–27.
6. Боровский М.Я. Возможности разведочной геофизики при решении геоэкологических задач / М.Я. Боровский, С.В. Шакуро, Е.Г. Фахрутдинов // Развитие геофизических методов с позиций Первой Всесоюзной геофизической конференции (1932 г.): материалы Всероссийской научно-практической конференции (22–23 ноября 2012 г.) / гл. ред. В.И. Костицын; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2012. – С. 31–34
7. Боровский М.Я. Электроразведочные исследования по определению нефтяного загрязнения в районах нефтепромысловых сооружений / М.Я. Боровский, А.С. Борисов, С.В. Шакуро, Е.Г. Фахрутдинов, В.И. Богатов // Чистая вода. Казань: Сборник трудов IV Международного Конгресса «Чистая вода. Казань», Казань, 27–28 марта 2013г. – Казань: ООО «Куранты», 2013. – С. 69–71.
8. Боровский М.Я. Высокоточная гравиразведка в природоохранных целях / М.Я. Боровский, А.С. Борисов, В.И. Богатов, Е.Г. Фахрутдинов // Теория и практика нефтяной геофизики : Материалы Всеросс. науч.-прак. конф. с международным участием, посвященной 90-летию А.К. Урупова (21–22 ноября 2013 г.) / гл. ред. В.И. Костицын ; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2013. – С. 60–66.
9. Боровский М.Я. Экологические последствия процессов освоения углеводородов сланцевых толщ и геофизические методы их картирования и прогноза // М.Я.Боровский, П.С.Бабаянц, А.А.Трусов, С.А.Скловский // Нефть. Газ. Новации. – 2015. – №2. – С.74–77.
10. Боровский М.Я. Геофизическое прогнозирование природной защищенности мелкозалегающих залежей природных битумов и тяжелых нефтей / М.Я.Боровский, А.С.Борисов, С.В.Шакуро, В.И.Богатов, В.Н.Филимонов // Инженерная геофизика 2016 — Анапа, Россия, 25-29 апреля 2016 г.
11. Боровский М.Я.. Комплексное геолого-геофизическое изучение верхней части осадочного чехла / М.Я.Боровский, А.С.Борисов, Е.Г. Фахрутдинов// Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2016. – 216 с.
12. Ибрагимов Р.Л. Типизация геологической среды для оценки степени защищенности

- подземных вод нефтеперспективных регионов / Р.Л. Ибрагимов, М.Я. Боровский, Е.Г. Фахрутдинов // Нефть. Газ. Новации. – 2011. – №2. – С. 6–9.
13. Леоненко М.В. Методика оценки карстоопасности территории по результатам геофизических исследований (на примере Нижегородской области): автореф. дисс. канд. геол.-мин. наук: 04.00.07 / Леоненко Михаил Васильевич. – Москва: ПНИИИС, 1996. – 23с.
 14. Ляховицкий Ф.М. Инженерная геофизика / Ф.М. Ляховицкий, В.К. Хмелевской, З.Г. Яценко / – М.: Недра, 1989. – 252 с.
 15. Мингазов М.Н. Оценка эколого-гидрогеологической ситуации при разработке месторождений сверхвязких нефтей тепловыми методами / М.Н. Мингазов, И.А. Терновская, Г.И. Петрова, М.Я. Боровский, В.А. Большов, Е.Г. Фахрутдинов // Нефть. Газ. Новации. – 2011. – №2. – С. 26–30.
 16. Миннуллин Р.М. Технологические аспекты обеспечения защиты родниковых вод от техногенных факторов при нефтедобыче: автореф. дисс. соискание уч. степени к.т.н. : 03.00.16. / Миннуллин Ришат Марданович. – Казань: КГТУ, 2009. – 19 с.
 17. Мониторинг геологической среды: активные эндогенные и экзогенные процессы // Материалы Первой Всероссийской конференции. – Казань: Изд-во КГУ, 2000. – 392 с.
 18. Огильви А.А. Основы инженерной геофизики / А.А. Огильви. – М.: Недра, 1990. – 501 с.
 19. Перекалин С.О. Опыт комплексных скважинно-наземных исследований для оценки загрязнения грунтов нефтепродуктами / С.О. Перекалин, В.А. Истратов, С.И. Остапчук // Разведка и охрана недр. – 2004. – №12. – С. 30–33.
 20. Пируева Т.Г. Дистанционный поисковый мониторинг городских территорий и природных объектов / Т.Г. Пируева, С.А. Скловский // Разведка и охрана недр. – 2006. – №5. – С. 46–53.
 21. Слепак З.М. Геофизический мониторинг при сохранении памятников архитектуры на примере Казанского Кремля – Казань: Изд-во Казанского университета, 1999. – 176с.
 22. Слепак З.М. Геофизика для города. – М.: ЕАГО; Тверь: ГЕРС, 2007, 240 с.
 23. Файзуллин И.Н. Охрана недр и обеспечение экологической безопасности нефтедобывающих регионов / И.Н. Файзуллин, М.Я. Боровский, Е.Г. Фахрутдинов // Нефть. Газ. Новации. – 2011. – №2. – С. 31–36.
 24. Фахрутдинов Е.Г. Экзогенные геологические процессы на территории Среднего Поволжья / Е.Г. Фахрутдинов, А.С. Борисов, М.Я. Боровский, В.И. Богатов, А.А. Ефимов, Д.Л. Ламбев, С.В. Шакуро // Гидрогеология и Карстование : межвуз. сб. науч. тр. / Перм. гос. нац. иссл. ун-т. – Пермь, 2013. – Вып. 19. – С. 238–246.
 25. Хамидулин В.В. Эффективность геофизических методов при выявлении участков загрязнения на нефтеразработках / В.В. Хамидулин, З.Л. Доренская // Охрана и разведка недр. – 2000. – №10. – С. 37–40.
 26. Харьковский К.С. Поиск и оконтуривание очагов засоления подземных вод методами наземной электроразведки (на примере нефтедобывающих районов Республики Татарстан): автореферат дисс. на соискание уч. степени к.г.-м.н.: 04.00.06 / Харьковский Константин Станиславович. – СПб: С-ПбГГИ, 1998. – 21 с.
 27. Шакуро С.В. Применение геофизических методов при изучении техногенных линз нефтепродуктов / С.В. Шакуро // Разведка и охрана недр. – 2005. – №8. – С. 24–26.
 28. Шакуро С.В. Геофизическая оценка площадей загрязненных нефтепродуктами на урбанизированных территориях. Энергоресурсоэффективность и энергосбережение в Республике Татарстан / С.В. Шакуро, М.Я. Боровский // Труды X Междунар. симп. Казань, 1–3 декабря 2009г. – Казань: Изд-во Печатный салон Онегин, 2009. – С.202–212.

УДК 550.831

ГРАВИМЕТРИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ КАРСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Бычков Сергей Габриэльевич, Мичурин Антон Владимирович, Симапов Алексей Аркадьевич
e-mail: bsg@mi-perm.ru
Горный институт УрО РАН, Пермь, Россия

Аннотация. Мониторинговые наблюдения гравитационного поля позволяют выявить динамику процессов деформации породных масс и осуществить прогноз опасных и катастрофических ситуаций. Рассмотрены основные помехообразующие факторы при проведении гравиметрического мониторинга, предложены способы интерпретации динамических аномалий, приведены примеры гравиметрических исследований на аварийных участках рудников.

GRAVITY MONITORING OF KARST PROCESSES

Sergey Bychkov, Anton Michurin, Aleksey Simanov
e-mail: bsg@mi-perm.ru
Mining Institute Ural Branch of Russian Academy of sciences, Perm, Russia

Abstract. Monitoring observations of gravity field allow to reveal the dynamics of deformation processes of rock masses and to carry out the forecast of dangerous and catastrophic situations. The main noise-producing factors during gravimetric monitoring are considered, methods for interpreting dynamic anomalies are suggested, examples of gravimetric studies at emergency sections of mines are given.

Карст является одним из наиболее сложных и трудно прогнозируемых геологических процессов, представляющих опасность для жизнедеятельности урбанизированных территорий. Особенно актуален прогноз деформаций земной поверхности под влиянием крупномасштабных горных работ, учитывающие особенности геологического строения подработанных породных толщ. Длительные техногенные нагрузки, связанные с эксплуатацией месторождений полезных ископаемых, являются мощным воздействием на природную геологическую среду. Откликом на эти воздействия могут быть масштабные изменения, ведущие к катастрофическим последствиям – просадкам и провалам земной поверхности, угрожающие жизнедеятельности и приносящие значительные экономические потери. Для изучения и прогнозирования негативных инженерно-геологических явлений широко используются геофизические методы, немаловажную роль в комплексе которых играют гравиметрические исследования [1, 4]. Об актуальности задачи выявления техногенного воздействия на геологическую среду говорят факты катастрофических аварий последних лет с затоплением рудников Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС). Месторождение, расположенное в пределах Пермского края, является единственной сырьевой базой калийной промышленности России. Благодаря масштабам месторождения и его практическому значению, изучению геологического строения всегда уделялось большое внимание.

Мониторинговые наблюдения поля силы тяжести выявляют динамику процессов деформации породных масс и позволяют осуществить прогноз опасных и катастрофических ситуаций. По результатам повторных наблюдений рассчитывается динамическая аномалия силы тяжести, определяемая как разность между последующими и предыдущими значениями силы тяжести. Особенностью подобных аномалий является их независимость от влияния рельефа земной поверхности, стационарных (неизменных) плотностных неоднородностей в массиве, обусловленных геологическим строением. Поскольку все неизменные составляющие гравитационного поля в равной степени присутствуют в любой

паре наблюдений, динамическая аномалия отражает только конкретный горнотехнический или быстротекущий геологический процесс, такой, как, например, образование и развитие карстовых полостей.

Геологическая модель гравиметрического мониторинга представляет собой изолированную область, где произошли изменения плотности пород, в однородной геологической среде (рис. 1 а). Экстремальные величины гравитационных эффектов в зависимости от глубины зоны разуплотнения (H) и ее размеров (R) приведены изолиниями на рис. 1 б, оцифрованными в миллигалах. Следует отметить, что данные эффекты вычислены при изменении плотности геологического объекта на 0.01 г/см^3 , которая очень мала и находится в пределах точности денситометрии. Учитывая, что современная гравиметрическая и геодезическая аппаратура позволяет зафиксировать аномалии силы тяжести с точностью $\pm 0.005 - 0.007 \text{ мГал}$, по гравиметрическим данным можно определить начало процесса разуплотнения пород, выявляя зоны последующих возможных оседаний и провалов земной поверхности.

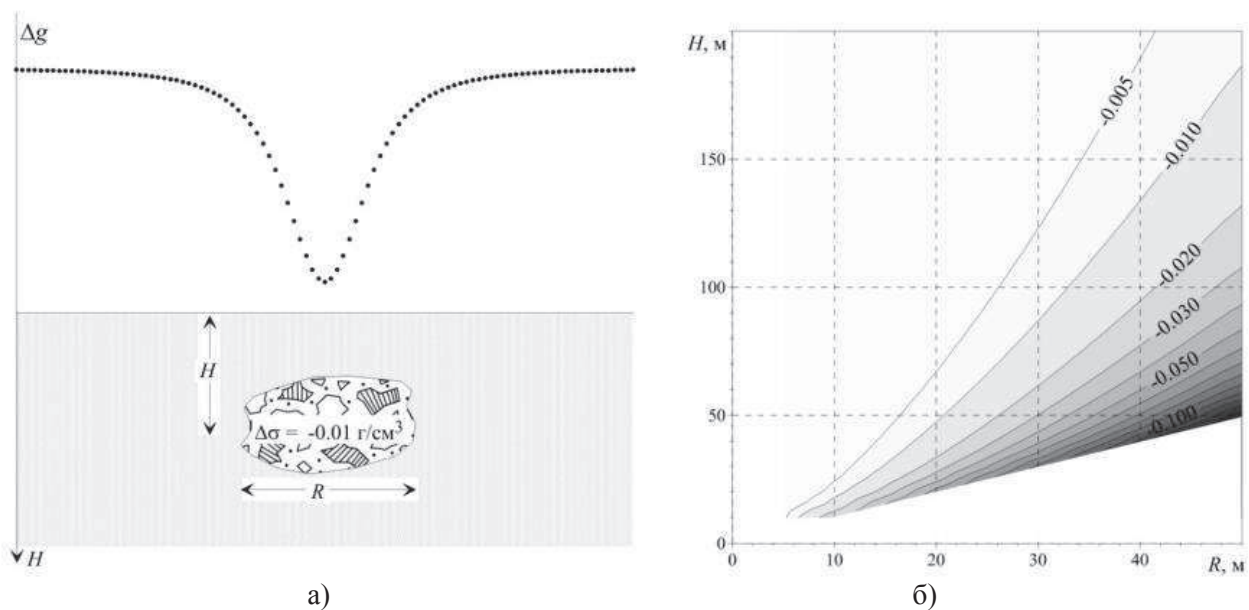


Рис. 1. Геологическая модель гравиметрического мониторинга (а) и гравитационные эффекты модели (б)

Интерпретация динамических аномалий силы тяжести осуществляется на основе совместного применения качественных и количественных методов извлечения геологической информации из гравиметрических данных [3, 5]. На начальной стадии интерпретационного процесса используется система VECTOR, с помощью которой строится изображение геологической среды – пространственное распределение квазиплотности, отражающее некоторые элементы физико-геологической модели. Параметр квазиплотности не имеет размерности физического параметра плотности, а шкала глубин построенных разрезов и 3D-диаграмм не отвечает истинной. Однако результаты векторного сканирования успешно используются для уточнения геологических гипотез и задания априорных ограничений при последующем решении обратной задачи [2]. Результатом количественной интерпретации динамических аномалий является вероятный интервал глубин изменения массы (объема) горных пород, произошедший между двумя парами измерений поля.

В 2006 году проникновение подземных вод в шахты Первого Березниковского рудника привело к его затоплению и последующим провалам земной поверхности на территории г. Березники (Пермский край). В районе провалов проведены детальные мониторинговые гравиметрические съемки с целью оконтуривания и изучения опасных зон, выяснения их природы, глубины распространения разуплотненных пород, а также выявления потенциально опасных участков на прилегающих территориях.

На рис. 2 приведено гравитационное поле после провала земной поверхности в ноябре 2010 г. На данном участке проведено несколько циклов гравиметрических наблюдений (в ноябре 2010 г. и феврале 2011 г. на всей площади, в сентябре 2011 г. в центральной части и в сентябре, октябре, декабре 2016 г. на востоке площади).

Первый цикл гравиметрических съемок в конце 2010 г. и начале 2011 г. был проведен после провала земной поверхности (контур провала показан цифрой I на рис. 2). Динамические аномалии силы тяжести были выявлены только вблизи этого провала. Результаты интерпретации динамической аномалии показали, что зона разуплотнения расположена на глубинах 40-70 м и приурочена к водозащитной надсоляной толще.

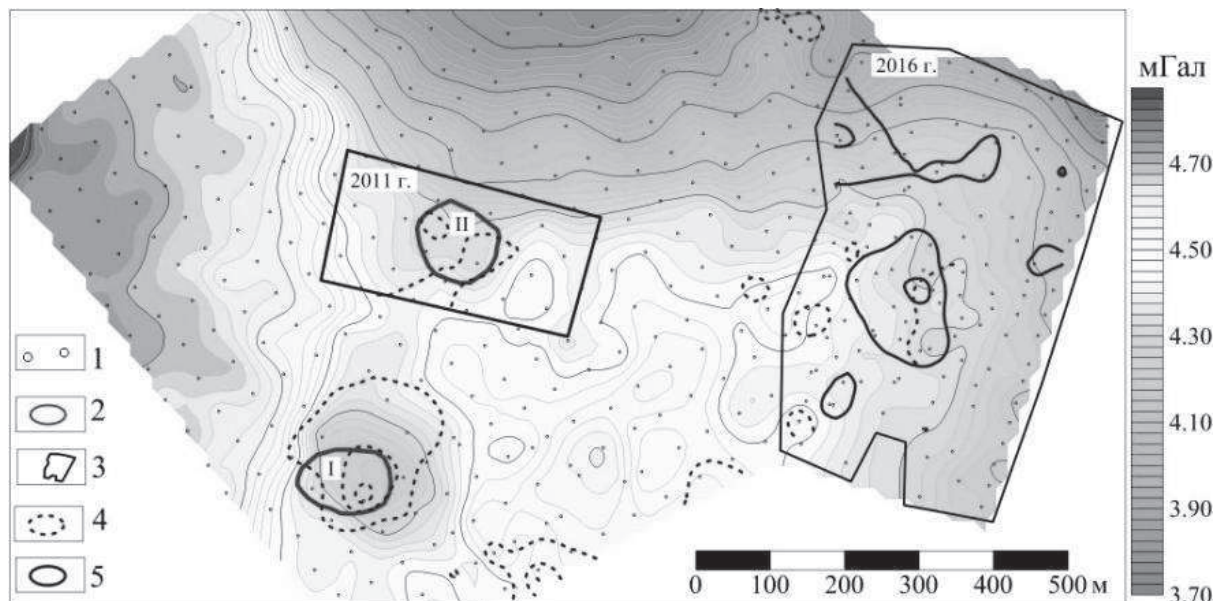


Рис. 2. Гравитационное поле в районе земной поверхности: 1 – пункты гравиметрических наблюдений, 2 – провалы земной поверхности (I – 11.2010 г. и II – 12.2011 г.), 3 – участки повторной гравиметрической съемки, 4 – динамические аномалии силы тяжести за период 11.2010 – 09.2011 г. (сечение изолиний 0.020 мГал), 5 – динамические аномалии силы тяжести за период 09.2016 – 12.2016 г. (сечение изолиний 0.010 мГал)

В сентябре 2011 г. в зоне повышенных оседаний земной поверхности к северу от провала проведены повторные гравиметрические измерения, по результатам которых выявлена динамическая аномалия силы тяжести (рис. 3 а), свидетельствующая о процессе разуплотнения пород, начавшегося после февраля 2011 г. На 3D диаграмме поля, полученной в системе Vector (рис. 3 б), видно, что с увеличением коэффициента трансформации зона разуплотнения смещается на юг в сторону первого провала. Количественный анализ вариаций гравитационного поля во времени показал, что источник динамической аномалии, характеризующейся функцией локализации, расположен на глубинах 20-40 м (рис. 3 в) и приурочен к водозащитной надсоляной толще.

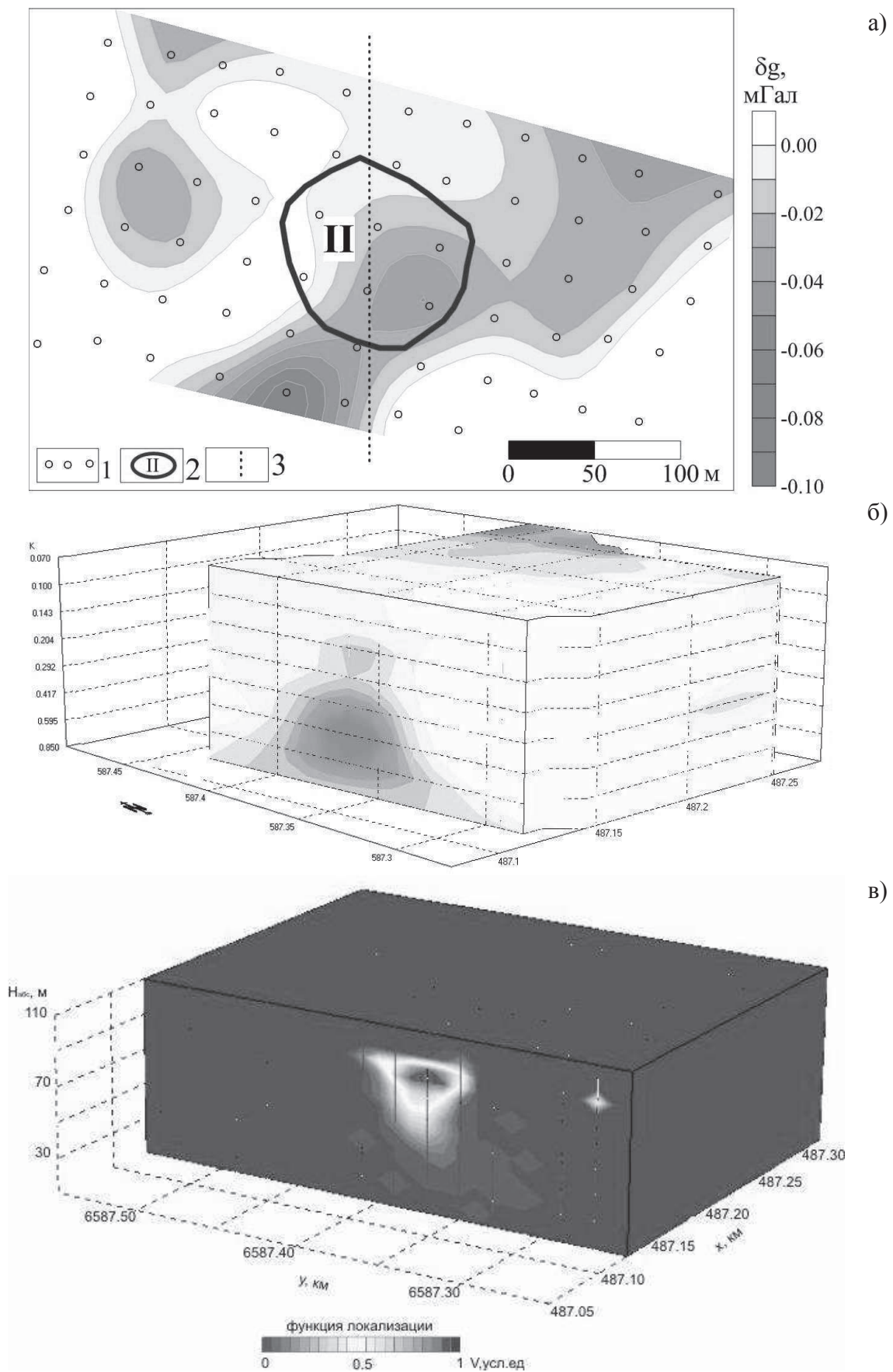


Рис. 3. Результаты интерпретации динамической аномалии: а) гравитационное поле (1 – пункты повторных наблюдений, 2 – провал земной поверхности в декабре 2011 г., 3 – линия вертикального сечения поля), б) трансформанта поля в системе VECTOR, в) результат количественной интерпретации динамической аномалии силы тяжести

Дальнейшее развитие событий привело к образованию в декабре 2011 г. еще одного провала земной поверхности (обозначенного цифрой II на рис. 2 и 3) в пределах обнаруженной цепочки отрицательных локальных аномалий гравитационного поля северного простирания и динамической аномалии силы тяжести, выявленной по съемке в сентябре 2011 г.

В 2016 г. работы в восточной части данной площади были продолжены (рис. 2). Здесь зафиксирована динамическая аномалия гравитационного поля амплитудой 0.022 мГал (более чем в три раза превышающая точность съемки), размерами 250×125 м. Модельные расчеты показали, что уменьшение поля на 0.02 мГал при данной форме и размере выделенной динамической аномалии может быть обусловлено источником поля находящимся на глубине порядка 30 м, плотность которого изменилась на -0.10 г/см^3 . Размер зоны разуплотнения может достигать 40×40 м и мощности 20-40 м. Зона разуплотнения, создающая данную динамическую аномалию, представляет, на наш взгляд, повышенную опасность.

Разработанная технология проведения и интерпретации мониторинговых наблюдений позволяет перейти на новый качественный уровень получения информации о распределении и развитии во времени плотностных неоднородностей геологического разреза, что существенно повышает безопасность проведения горных работ. Гравиметрия должна применяться как опережающий метод, позволяющий на предварительном этапе уточнить геолого-тектоническую обстановку в пределах шахтных полей, выделить зоны повышенного риска.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 16-45-590426 и 17-45-590302 p_a).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев О.П., Кобылкин Д.Н., Ахмедсафин С.К., Кирсанов С.А., Безматерных Е.Ф., Кривицкий Г.Е. Гравиметрический контроль разработки газовых и газоконденсатных месторождений. Состояние, проблемы, перспективы. М, ООО Издательский дом Недрa. 2012. 374 с.
2. Бычков С.Г. Геологическая интерпретация результатов томографической трансформации геопотенциальных полей наблюдений // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей: Восьмые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Екатеринбург, ИГФ УрО РАН, 2015, с. 57-61.
3. Бычков С.Г., Долгаль А.С., Костицын В.И., Мичурин А.В., Симанов А.А. Построение объемных моделей геологических объектов по гравитационному полю на основе синтеза качественных и количественных методов интерпретации // Геофизика, 2015, №5, с. 47-54.
4. Новоселицкий В.М., Бычков С.Г., Щербинина Г.П., Простолупов Г.В., Яковлев С.И. Гравиметрические исследования изменений плотностной характеристики геологической среды под воздействием горных работ // Горный журнал, 2008, №10, с. 37-41.
5. Bychkov S.G., Dolgal A.S., Simanov A.A. Synthesis of qualitative and quantitative methods of extraction of geological information out of gravimetric data // Eurasian mining, 2013, №2, p. 12-15.

УДК 550.3

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

*Варзаков Артемий Павлович¹, Борисов Алексей Викторович²,
Виноградов Владислав Борисович³*

¹*Redrick777@gmail.com*

^{1,2,3}*Уральский государственный горный университет, Россия, Екатеринбург*

Аннотация. Рассмотрены примеры имитационного моделирования магнитных и гравитационных полей золоторудных месторождений Чукотки, Урала, Амурской области, Якутии. Сделан вывод о высокой эффективности повсеместного применения в комплексе геофизических методов гравиразведки масштаба 1:5000 и 1:1000 для поисков месторождений золота. Для истолкования геофизических полей необходимо использовать классификацию Крейтера В.М., поскольку применение генетической классификации не эффективно.

IMITATIVE MODELING OF GEOPHYSICAL FIELDS OF GOLD DEPOSITS

Varzakov A.P.¹, Borisov A.V.², Vinogradov V.B.³

¹*Redrick777@gmail.com*

^{1,2,3}*Ural State Mining University, Russia, Yekaterinburg*

Summary. Examples of simulation modeling of magnetic and gravitational fields of gold deposits of Chukotka, the Urals, the Amur Region, and Yakutia are considered. The conclusion is made about the high efficiency of the general application in a complex of geophysical methods of gravity prospecting of scale 1:5000 and 1:1000 for prospecting gold deposits. To interpret geophysical fields, it is necessary to use the V.M. Kreiter's classification, so far as the application of genetic classification is not effective.

В настоящее фактически окончена гравиметровая съемка страны масштаба 1:200000. Объемы гравиметрических работ уменьшились в несколько раз. Необходимо найти новые геологические и инженерные задачи, которые могут быть решены с помощью гравиразведки. Более 50 % финансовых затрат на поиски твердых полезных ископаемых в нашей стране выделяются на поиски месторождений золота. С помощью гравиразведки можно решать задачи поисков и изучения месторождений золота типов ранее не выявленных на территории нашей страны, например, месторождений карлинского типа [2], месторождений золотопорфирового типа калиевых щелочных массивов и других.

Интенсивность аномалий золоторудных месторождений, как правило, мала. Наиболее эффективен при истолковании таких полей метод имитационного моделирования, который обеспечивает наиболее полное извлечение геологической информации из геофизических данных. Проведено имитационное моделирование месторождений Чукотки, Амурской области, Якутии и других регионов.

На площади первого месторождения, где проведены электроразведочные и магниторазведочные работы, широко представлены метасоматиты, кварцевые, карбонат-кварцевые и карбонатные жилы. Выявлены многочисленные зоны вторичных кварцитов, аргиллизитов, сульфидизации. Рудная минерализация связана с внедрением субвулканитов и интрузий, с зонами метасоматических изменений. Протяженность зон до 200 м, мощность 40 – 50 м, в раздувах до 50 м. Выявлена метасоматическая зональность, смена вещественного состава в последовательности вмещающие породы → пропилиты → вторичные кварциты и аргиллизиты. Переходы между зонами постепенные, соответственно возникает непрерывная пространственная изменчивость физических свойств. Метасоматическая зональность существенно затрудняет истолкование геофизических полей, поскольку нет четких границ

смены пород, а расчетные глубины для модели кусочно-постоянных сред в несколько раз превышают реальные. Значительная изменчивость вещественного состава метасоматитов обуславливает высокую дисперсию физических свойств горных пород и над метасоматитами поля также обладают высокой дисперсией. Проявления однотипных метасоматитов в физических полях на разных участках площади разные. При их истолковании необходимо использовать модели с латеральной изменчивостью физических свойств.

Измерения проведены по сети 200×20 м. Эта сеть эффективна для объектов меридионального простирания длиной более 300 м. Сеть геофизических измерений значительно искажает характер поля. Сеть с соотношением расстояниями между пикетами и расстояниями между профилями 1:10 и 1:5 не выявляет кварцевые жилы с широтным, северо-западным и северо-восточным простиранием. Для решения поставленных задач сеть по возможности должна быть квадратной. Во всех геофизических полях Эмской площади отчетливо проявляется рельеф местности, нередко наблюдаются аномалии дипольного типа. По мнению авторов - единственное решение этой проблемы – подбор поля на физическом рельефе.

По результатам качественной интерпретации по данным всех методов создана предварительная схема распространения разных структурно-вещественных комплексов (СВК). Далее для создания прогнозно-поисковой модели сформировали набор геофизических признаков СВК. Для решения задачи геологического картирования применили идентификационные операторы $W(x, y)$:

$$W_{ij} = \sum_i \frac{1}{1 + \mu |f_{ij} - f_{i0}| / (f_{i\max} - f_{i\min})}$$

где, i - номер поля, $f_{i\min}$ и $f_{i\max}$ - максимальное и минимальное значения поля, f_{ij} - значение поля в j точке, μ - весовой коэффициент (стандартное значение 2), f_0 - модальные значения поля целевого структурно-вещественного комплекса. По результатам расчетов выделены области распространения целевых структурно-вещественных комплексов – андезитобазальтов, гранодиоритов, области с разным типом метасоматоза (рис. 1). Для них построены крупномасштабные объемные модели. Проведено объемное моделирование магнитного поля на всей площади. Для детальных участков выполнено моделирование в крупном масштабе. Модель четырехслойная, в качестве элементарного тела выбран вертикальный цилиндр многоугольного сечения, что позволило использовать менее 300 тел для всей площади. Расчет проведен по сети наблюдений, соответствующей детальным участкам полевых наблюдений 100×20 м. Определены участки для дальнейшего изучения.

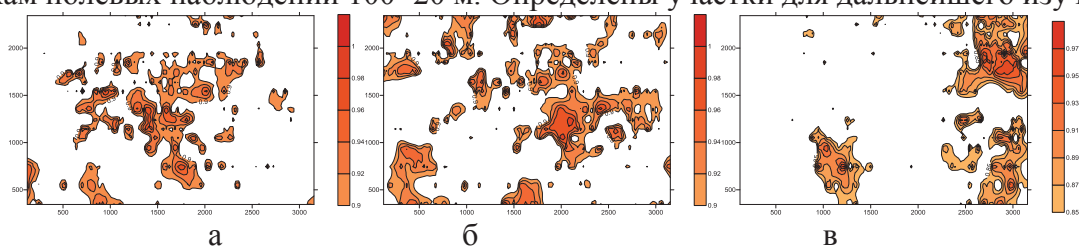


Рис. 1 Области распространения СВК и метасоматитов выделенные с помощью идентификационных функций W а - области пропилитизации, б - области аргиллитизации, в - андезитобазальты

Объемное моделирование полей проведено в три стадии: в масштабе съемки, в масштабе 1:10000, для детальных участков в масштабе 1:5000.

Для выявленных перспективных участков созданы однометодные объемные модели с помощью комплекса программ расчета потенциальных полей для многослойной среды с набором вертикальных цилиндров треугольного и многоугольного сечения. Треугольники легко объединяются в многоугольники, что влечет резкое уменьшение количества тел в модели. Применение геометрических шаблонов со стандартным числом элементарных тел (не более 1500) заданной формы и размеров резко уменьшает затраты времени на создание

моделей. Создание объемных моделей проводится в автоматизированном режиме с помощью программы. В шаблоне предусмотрено более подробное описание среды в центре площади. Автоматизация создания объемной модели по стандартному шаблону значительно экономит время.

С помощью имитационного моделирования для изучаемой площади проведена оценка влияния параметров сети наблюдений на полноту выявляемых аномалий, правильную рисовку изолиний поля (рис. 2). Расчет магнитного поля проводился для модельных источников с размерами, свойствами и ориентировкой относительно сторон света сходными с таковыми на исследуемой площади.

Второе месторождение относится к малосульфидному золото-кварцевому близповерхностному типу. Выделение областей распространения разных СВК при отсутствии эталонных объектов начинали с построения диаграмм корреляции и гистограмм полей. По этим графическим материалам выявили в измерениях ураганные выбросы, наличие которых приводит к низкому разрешению гистограмм. Количество таких значений не превышает процента. Если они занимают локальные участки, то их легко выделить и определить их геологический источник. После удаления ураганных значений для оставшихся измерений проводят построение диаграмм корреляции и гистограмм полей, которые обладают более высоким разрешением.

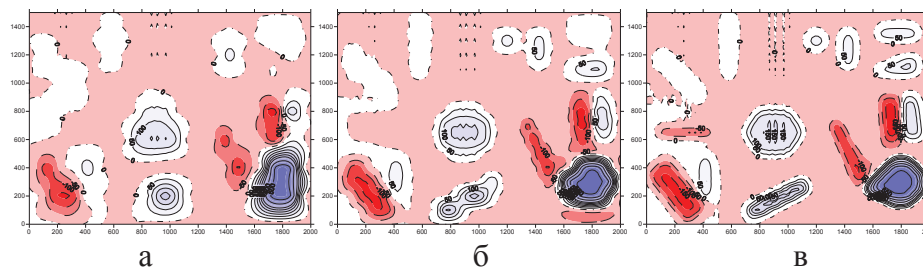


Рис. 2 Результаты имитационного моделирования магнитного поля для разных сетей измерения а- 200×20, б- 100×20, в- 50×20

Строить поле корреляции для большого количества измерений бессмысленно, поскольку происходит наложение разных зависимостей. Изучаемую территорию разбивают на 8 – 10 участков, для которых были построены диаграммы корреляции полей.

При применении комплекса из трех методов для выделенных участков строим карты $\rho(\varphi, \Delta T)$ или $f_1(f_2, f_3)$ (рис. 3). Анализ этих карт проводится совместно с рассмотрением гистограмм полей, что позволяет по количеству измерений обоснованно судить о надежности построения изолиний в разных областях карты. На картах выделены области характерные для возможных СВК, т.е. определяют диапазоны изменения полей для них. Разные участки существенно различаются в картах $\rho(\varphi, \Delta T)$ [1].

При совместном истолковании геофизических полей в случае наличия эталонов искомым геологическим объектам для проведения процедур распознавания образов и литологического расчленения горных пород в каждой точке измерения i их преобразуют к относительному (безразмерному) виду.

Диапазон изменения представленного W равен 0 - 1, а значения близкие к 1 выявляют перспективные площади. Такой подход позволяет обнаружить участки метасоматических окколорудных изменений (окварцевания, аргиллитизации, сульфидизации, пропилитизации, фенитизации и др.) путем подбора коэффициентов μ в формуле для W (рис.4).

Оценкой надежности процедуры распознавания служат расстояния между центрами классов. При проведении процедуры распознавания расстояния между центрами классов вычисляем на основе полученных полей в относительном виде.

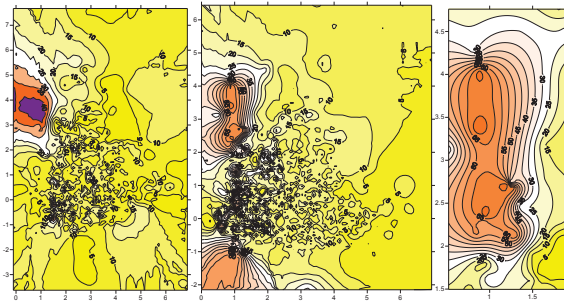


Рис. 3 Карты изолиний $\rho(\varphi, \Delta T)$ разных участков территорий

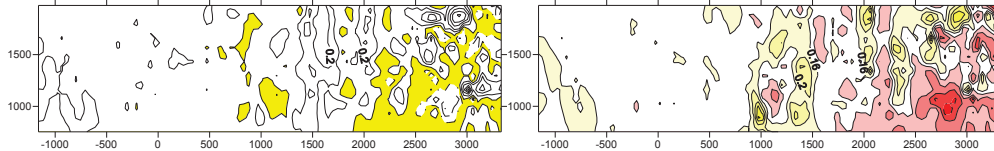


Рис. 4 Пример выделения перспективных участков на планах W

Гравиразведка очень информативна при поисках большеобъемным месторождений карлинского, сухоложского и других типов. По данным съемок масштаба 1:5000 выделяют рудоперспективные участки. Однако месторождения одного типа могут быть разного объема, что для геофизических методов важнее генетического типа.

Особенность моделирования месторождений карлинского типа состоит в том что, форма рудных тел может быть самой разнообразной: таблитчатой, Г-образной, морковообразной и др. Для их описания необходимо применять геометрические шаблоны с разной формой элементарной ячейки. Поэтому для аппроксимации геологического строения вытянутых в горизонтальном направлении тел наиболее эффективны модели размерности 2,5, представленные набором горизонтальных цилиндров многоугольного сечения. При этом даже на одной территории могут встречаться месторождения различной формы, соответственно для их описания необходимы ячейки разной формы. Поэтому в программном пакете необходимо иметь очень широкий набор шаблонов, состоящих из элементов разной формы.

Амплитуда аномалии силы тяжести рудной зоны до 1,5 мГал, а интенсивность аномалии силы тяжести рудных тел близка к 0,1 - 0,3 мГал. Рис.5 демонстрирует эффективность комплекса магниторазведки и гравиразведки для изучения золоторудных месторождений.

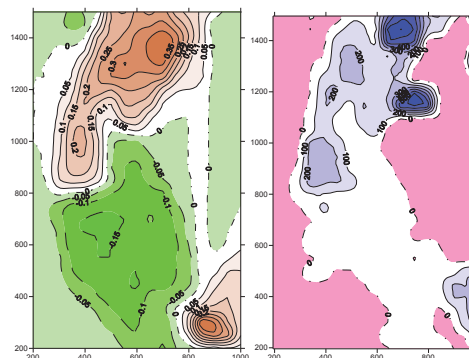


Рис.5 Гравитационное и магнитное поле модели рудной зоны месторождения карлинского типа

Месторождение в Якутии золотопорфирового типа приурочено к калиевому щелочному комплексу [3]. Многофазный шток щелочных пород 400×600 м образовался на пересечении разломов северо-западного и северо-восточного простирания. Штокообразное рудоносное тело серицит-микроклиновых метасоматитов имеет размеры приблизительно 115×130 м. Выявление рудоносного штока достаточно надежное при сети наблюдений 50×50 м (рис. 6). Имитационное моделирование геофизических полей рудоносного штока

проведено на основе нескольких его погоризонтных планов (рис. 7 а-г). Установлено, что по наземным гравитационным и магнитным полям масштаба 1:1000 можно изучать форму штока верхних 150 метров. На рис. 7 а и 7б представлено поле верхней части штока и всего штока соответственно. На рис. 7 б-в представлены гравитационные поля штоков разной формы. На рис. 7 г карта силы тяжести наземной съемки с учетом сульфидизации. Форму штока более глубоких горизонтов при наземной съемке надежно установить нельзя. Для изучения глубоких горизонтов необходимы наблюдения в горных выработках. Истолкование гравитационного поля позволило уточнить контуры многофазного штока и отдать предпочтение одному варианту геологического строения из двух.

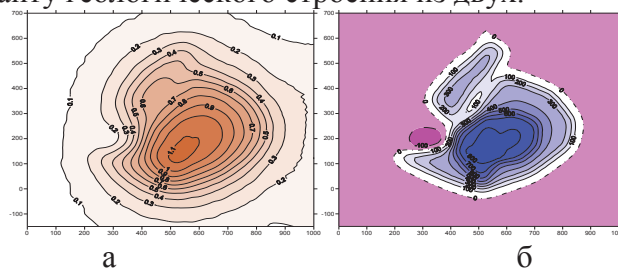


Рис.6 Гравитационное и магнитное поля многофазного штока

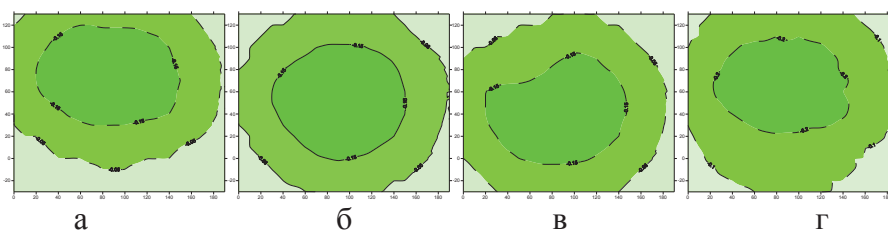


Рис.7 Изменение аномального гравитационного поля рудоносного штока в зависимости от его вертикального размера (а, б), формы (а, б, в) и сульфидизации (г)

Выводы. При выявлении геофизических признаков прогнозно-поисковой модели неудобно пользоваться генетической классификацией золоторудных месторождений. В геофизических полях отражаются в первую очередь структурные характеристики месторождений и минеральный состав пород.

Необходима адаптация графа обработки к конкретной геологической ситуации. На этапе качественной интерпретации по планам $f_1(f_2, f_3)$ выделяют СВК и их параметры. С помощью идентифицирующих функций W определяют контуры СВК.

При начальном этапе работ проводится съемка масштаба 1:5000 для выявления рудовмещающего СВК с помощью идентификационных функций и карт взаимосвязей полей комплекса для выделения перспективных участков карты $\rho(\varphi, T)$.

В период полевых работ проводится имитационное объемное моделирование с целью оценки влияния сети измерений и рельефа и других негеологических факторов. Завершением служит создание объемных моделей масштаба 1:5000 и 1:1000.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богомоллов А.В., Виноградов В.Б. Алгоритм обработки геофизических данных золоторудных месторождений амурской области. //Горный журнал. 2015. № 1. С. 132 – 135.
2. Волков А.В., Сидоров А.А. Геолого-генетическая модель месторождений золота карлинского типа. Литосфера. №4. 2016. С. 145-165.
3. Дворник Г.П. Метасоматизм и золотое оруденение калиевых щелочных массивов (на примере Центрально-Алданской щелочной провинции). Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. 329 с.

УДК 550.837

**МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ, ОБРАБОТКИ И ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ
ИНТЕРПРЕТАЦИИ ПОЛЯ ТОКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ***Вишнев Владимир Сергеевич*

e-mail: Vishnev.38@mail.ru

Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН, г.Екатеринбург, Россия

Аннотация. Изложены теоретические основы, рассмотрены характерные особенности, приведены примеры экспериментального опробования метода разведки недр блуждающими токами электрической железной дороги.

Abstract. The theoretical basics are stated and the characteristic features are considered. The examples of tentation of the stray currents from electric railways prospecting method are shown.

В Институте геофизики УрО РАН разрабатывается электроразведочная методика, позволяющая из совокупности данных измерений аperiodических импульсных помех от электрической железной дороги (ЭЖД) выделять идентичные по структуре источника (полезные) сигналы, преобразовывать их в кривые кажущегося сопротивления и интерпретировать эти кривые как качественно, так и количественно. К настоящему времени подготовлено краткое пособие по применению техногенного импульсного поля ЭЖД для решения геологических задач. Оно состоит из введения пяти глав и заключения. Во введении обосновывается актуальность работы. Глава I посвящена обзору предшествующих исследований по применению промышленных помех от ЭЖД в электроразведке. В главе II изложены физические предпосылки, в главе III теоретические основы, в главе IV методика полевых и камеральных работ, в главе V результаты практического опробования предлагаемых геофизических приемов. В заключении подводятся итоги выполненного исследования.

Ниже излагаются основные положений этой работы.

1. Известно, что самые интенсивные помехи от ЭЖД возникают при изменении тяговой нагрузки электровозов. Они имеют форму импульсов, регистрируются серийной геофизической аппаратурой на расстояниях от рельсовых путей до 20 и более километров, но амплитудные и морфологические характеристики этих импульсов в подавляющем большинстве случаев не постоянны во времени и не однородны в пространстве. В стандартном методе электроразведки, называемом методом блуждающих токов (МБТ), их используют, обычно, лишь при поисках и картировании контрастных по сопротивлению электропроводящих геологических образований на территориях или вблизи горнодобывающих предприятий, оснащенных откаточными средствами на электровозной (троллейной) тяге [1]. Там рельсы контактируют с рудой. Места токов утечки из железнодорожного полотна локализованы. Структура пространственного распределения электрических составляющих импульсов практически неизменна. Аномалии намного превышают нормальное поле, а непостоянство его интенсивности легко устраняется делением соответствующих амплитуд, измеренных в рядовых пунктах наблюдения, на амплитуды, измеренные в базисном пункте.

Однако замечено, что изменение тяговой нагрузки электровозов происходит чаще всего на определенных, заранее известных отрезках рельсового пути. Если наряду с регистрацией помех фиксировать еще время и особенности движения поездов (остановка, ускорение и т.п.) по одному из таких отрезков дороги, то из совокупности их измерений можно выделять однотипные по структуре источника (полезные) сигналы. Это дает возможность

использовать в электроразведке техногенное поле не только промышленных, но и магистральных (междугородних) электрических железных дорог.

2. В качестве модели источника, выделяемых из помех, сигналов хорошо подходит обособленная транспортная электромагистраль с одним неподвижным, но многократно изменяющим свой режим энергопотребления локомотивом (движение поезда, как вытекает из соответствующих оценок, больших погрешностей не вносит и им можно пренебречь). Модель состоит из одной секции контактного провода, длиной L , подводящих и отсасывающих фидеров, высотой h , электровоза в пункте l_0 и электрически неразрывного рельсового пути с параметром $k=(r_p/r_n)^{1/2}$, где r_p и r_n – погонные сопротивления рельсов и перехода рельс – земля (грунт). Модель довольно проста и, если считать, что рельсовый путь бесконечно длинный, равномерно заземленный и неветвящийся, а поле установившееся, поддается алгоритмизации.

3. Формулы для расчета нормального поля ЭЖД приведены в работе [2]. Анализ формул показывает, что в установившемся режиме сведения о параметрах геоэлектрического разреза содержатся только в электрических составляющих. Магнитные же составляющие отражают лишь структуру и интенсивность их источника. Значит, нормировать электрические составляющие полезных сигналов (E_x , E_y) нужно к амплитудам магнитных (H_y , H_x), измеренных или в тех же рядовых, что и E_x , E_y , или в базисном пункте (а не к электрическим, как в МБТ, измеренным в базисном пункте).

Отношения амплитуд импульсов E_x к H_y , E_y к H_x , что очень важно, можно преобразовывать в значения кажущегося сопротивления ($\rho_{к,тс}$, тс – тяговая сеть). Математические выражения для расчета экспериментальных и теоретических значений $\rho_{к,тс}$ имеют вид [2]:

$$\rho_{к,тс}^{ij} = \frac{G_0^j}{P_0^i} \cdot \frac{\Delta E_i}{\Delta H_j}, \quad \rho_{к,тс}^i = \frac{\rho_1 \cdot P_{сл}^i}{P_0^i},$$

где G_0^j / P_0^i – соотношение, играющее роль коэффициента электроразведочной установки, $i=x, y$; $j=y, x$ – координаты пункта наблюдения (j – рядовой (р) или базисный (д), i – рядовой пункт), $P_{сл}^i$ – электрические числа поля ЭЖД в случае горизонтально – однородного слоистого геоэлектрического разреза, ρ_1 – удельное электрическое сопротивление его первого слоя.

Формулы использованы для выявления влияния модельных погрешностей (Δk , Δl_0 , ΔL) на ход кривых $\rho_{к,тс}$ [3]. Установлено: для получения практически значимых кривых $\rho_{к,тс}^{ij}$ достаточно обеспечить: задание длины секции контактного провода (L) с ошибкой до первых единиц процентов, задание координаты места изменения тяговой нагрузки электровозов (l_0) с ошибкой не более нескольких десятков – первой сотни метров, а параметра k с ошибкой, меньшей 10 - 12 % . Что на практике вполне осуществимо.

Кроме того, возможна корректировка искаженных модельными погрешностями кривых $\rho_{к,тс}$. Дело в том, что профильные распределения параметра $\rho_{к,тс}^{ij}$, рассчитанные по электрическим полезным сигналам (E_i), нормированным к магнитным (H_j), измеренным в тех же рядовых, что и E_i (E_{ip}/H_{jp}), а также в базисном (E_{id}/H_{jd}) пункте, при отсутствии модельных погрешностей должны на всем профиле наблюдения попарно совпадать. Если в каком – либо параметре ошибка очень большая, то на каких – то заранее известных отрезках профиля они должны расходиться. Так, на рис.1 кривые под шифром 1, 1' рассчитаны при $k=0,14 \text{ км}^{-1/2}$ и $\Delta k=0,14 \text{ км}^{-1/2}$. Продольные кривые (ось y измерительной установки – вдоль ЭЖД) очень сильно расходятся до расстояний примерно 0,8 - 1 км от рельсов, а поперечные (ось x – поперек дороги) – начиная с 10 км. Это и говорит о том, что большая погрешность возникла в параметре k . Варьируя значениями параметра k , можно существенно снизить упомянутые расхождения. Так, кривые под шифром 2, 2' рассчитаны при k также $0,14 \text{ км}^{-1/2}$, но $\Delta k=0,01 \text{ км}^{-1/2}$. И поперечные кривые в пределах точности полевых электроразведочных работ (5 – 10%) везде совпали, о чем свидетельствует график их искажений (2''), а продольные – еще

расходятся. Но в этом случае большие погрешности заданы в других параметрах модели источника и в координатах пунктов наблюдения. Варьируя ими, можно и расхождения продольных кривых $\rho_{к,тс}$ свести к допустимым.

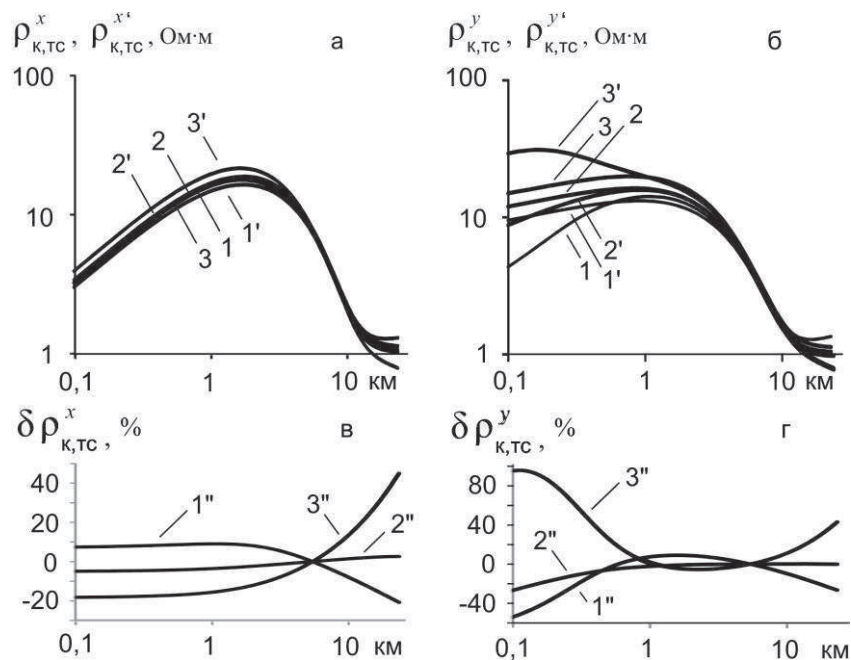


Рис.1. Пример корректировки искаженных модельными погрешностями кривых $\rho_{к,тс}$. 1, 1' - исходные, 2, 2' - уточненные, 3, 3' - контрольные кривые (штрих – нормировка электрических полезных сигналов к магнитным, измеренным в базисном пункте наблюдения), 1'', 2'', 3'' – графики относительных отклонений $\rho'_{к,i}$ от $\rho_{к,i}$ [2].

4.Методика полевых наблюдений в излагаемой модификации электроразведки, условно обозначенной аббревиатурой МЭПЖД (метод электроразведки полем электрической железной дороги), отличается от методики стандартного варианта МБТ только тем, что базисный пункт располагают около такого отрезка рельсового пути, где изменение режима энергопотребления тяговых потребителей практически неизбежно. И тем, что регистрируют, наряду с электрическими составляющими, еще магнитные составляющие поля, а также время и особенности прохождения поездов (ускорение, остановка и т.п.) мимо базисного пункта [2]. В остальном она такая же, как в методе БТ.

Обработка полевых материалов в МЭПЖД включает в себя выделение из помех однотипных по структуре источника сигналов, пересчет их значений в величины кажущегося сопротивления и построение профильных или площадных распределений этого параметра, а интерпретация может выполняться как на качественном, так и на количественном уровне.

5.Всего по методике, максимально приближенной к рассматриваемой методике было выполнено три полевых эксперимента. Все они производились тогда, когда эта методика только разрабатывалась. Главная задача экспериментов - подтвердить работоспособность испытываемых технологических приемов. Доказательство же геологической эффективности МЭПЖД на данном этапе было второстепенным. Поэтому сеть полевых измерений была не регулярной, привязка точек наблюдения – не инструментальной, что позволяло экономить время и средства при разработке излагаемой методики.

Первый эксперимент производился в районе места заложения Уральской сверхглубокой скважины СГС – 4 (рис.2).

Пункты регистрации поля ЭЖД располагались вдоль автомобильной дороги г. Верхняя Тура – пос. Арбатский (ныне ликвидирован) и вдоль ЛЭП, пролегающей через место заложения СГС – 4. Несколько позже вдоль этой ЛЭП производственной организацией были

поставлены электроразведочные работы методом ВЭЗ [4]. Чтобы сравнить результаты метода ЭПЖД с результатами метода ВЭЗ, все точки МЭПЖД снесены на линию профиля ВЭЗ по направлениям преимущественного простираения геологических структур на данном участке. Сравнивая кривые $\rho_{к,тс}$ (рис.3 а) с кривой кажущейся продольной проводимости S_k (рис.3 б), построенной по материалам ВЭЗ, можно заметить, что как по кривым $\rho_{к,тс}$, так и по кривой S_k четко выделяется граница места смены геоэлектрического разреза с менее проводящего на более проводящий, которая на исследуемой площади, очевидно, очень резкая и хорошо выдерживается по простираению геологических структур.

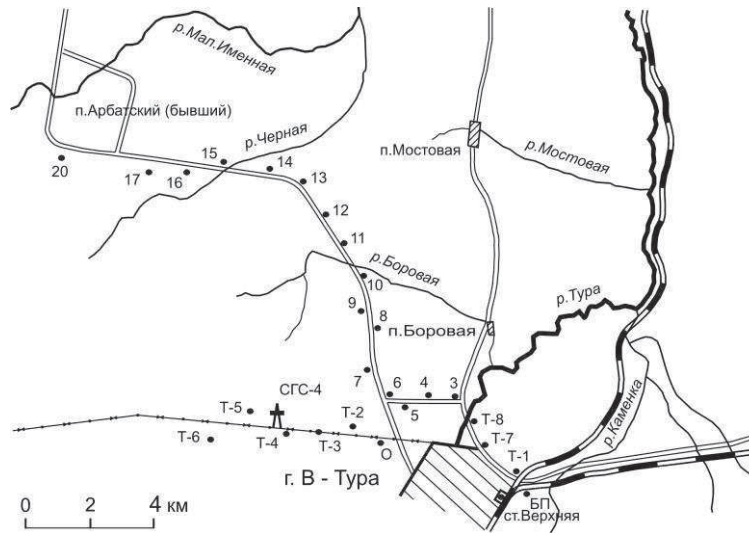


Рис.2 Схема сети наблюдений помех от ЭЖД. БП – базисный пункт, СГС-4 – Уральская сверхглубокая скважина, затемненные кружки – пункты наблюдения [2].

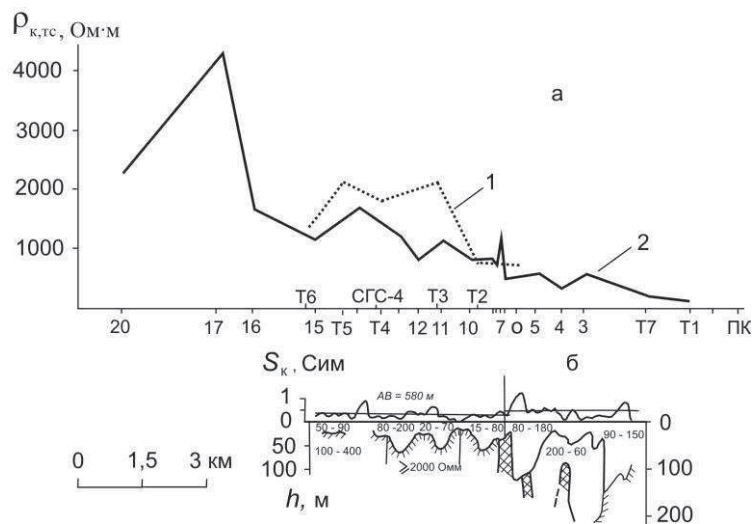


Рис.3. Результаты полевых работ: а – кривые $\rho_{к,тс}$ (1 – по линии ЛЭП, 2 – по пунктам наблюдения вдоль автодороги город Верхняя Тура – пос. Арбатский); б – кривая кажущейся продольной проводимости и геоэлектрический разрез, построенные по материалам ВЭЗ [4]

Таким образом, возможность выделения из помех от ЭЖД однотипных по структуре источника сигналов, а также соображение о преимуществе нормировки электрических составляющих поля к магнитным составляющим, измеренным в тех же рядовых, что и электрические, или в базисном пункте, подтвердились.

Следующие эксперименты упрочили эти выводы и показали, что данные регистрации помех от ЭПЖД можно интерпретировать не только на качественном, но и на количественном уровне [2].

Заключение. В процессе выполненных работ установлено:

1. В техногенном поле электрической железной дороги самыми интенсивными являются аperiodические импульсы, возникающие при переключении электровозов с одного режима энергопотребления на другой.

2. Смена режима энергопотребления любых типов локомотивов происходит, чаще всего, на определенных, заранее известных отрезках рельсового пути. Корреляция времени, а также особенностей прохождения поездов по одному из таких отрезков дороги, с моментами возникновения соответствующих импульсов и простейшая статистическая обработка амплитудных значений последних дают возможность выделять из совокупности помех от ЭЖД однотипные по структуре источника сигналы, распределения которых свободны от нестабильности первичной части техногенного поля.

3. В качестве полезных сигналов в предлагаемой модификации электроразведки предпочтительно использовать отношения $\Delta E_i / \Delta H_j$. Их профильные распределения могут быть пересчитаны в кривые кажущегося сопротивления, которые легко интерпретировать количественно.

4. Геологическая информация, извлекаемая из данных съемки помех от ЭЖД с помощью выше изложенных приемов, сопоставима по содержанию и качеству с информацией других электроразведочных методов.

5. Предлагаемая методика позволяет использовать для решения геологических задач не только техногенное поле транспортных систем горнодобывающих предприятий, как в стандартном варианте МБТ, являющимся прототипом, но и поле токов тяговой сети магистральных (междугородних) электрических железнодорожных веток.

Работа выполнена (частично) при поддержке Программы фундаментальных исследований ОНЗ РАН №7 (№ 15-18-5-54).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Березин Г.И., Семенов М.В. Об использовании полей блуждающих токов для электроразведки флангов разрабатываемых месторождений // Методика и техника разведки, Л., 1973, № 86. С. 69 - 76.

2. Вишнев В.С. Приемы полевых и камеральных работ в методе электроразведки блуждающими токами тяговой сети железной дороги // Уральский геофизический вестник. УрО РАН: Екатеринбург. 2012. № 2 (20). С. 14 - 30.

3. Вишнев В.С. Трехслойные кривые кажущегося сопротивления в методе блуждающих токов при неточном задании параметров источника // Уральский геофизический вестник. УрО РАН: Екатеринбург. 2011. № 1. С. 15 – 22 .

4. Глушков А.Н., Григорьева А.Г. и др. – Отчет Красноуральской геолого-съемочной партии по групповому геологическому доизучению масштаба 1:50000 Красноуральской площади в пределах листов О-40-60-3, Р; О-40-72-А,Б; О-41-49-А,В; О-41-61-А, проведенному в 1978 – 1984 г.г. Фонды ПГО «Уралгеология». 1985.

УДК [550.83:550.814:552.3:553.08](571.61/62)

**АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УДЫХИНСКОГО
ЗЕЛЕНОКАМЕННОГО ПОЯСА (ПРИАМУРЬЕ)**

Володькова Татьяна Васильевна

tat-volodkova@yandex.ru

Институт Тектоники и Геофизики ДВО РАН, г. Хабаровск, Россия

Аннотация. В связи с высокой рудной перспективностью, при поисковых работах в пределах нескольких зеленокаменных поясов (ЗКП) Приамурья проводились крупномасштабные аэрогеофизические работы. Обработка и интерпретация этих данных показывает: ЗКП Приамурья контрастно выделяются на фоне других комплексов пород типичными только для них фоновыми характеристиками отношений естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ). Рассчитаны средние значения отношений ЕРЭ, которые позволяют оконтурить ЗКП и определить степень их сохранности. С помощью такой методики уточнялась конфигурация Удыхинского ЗКП.

**AEROGEOPHYSICAL CHARACTERISTICS OF THE UDYKHYN
GREENSTONE BELT (PRIAMURYE)**

T. V. Volod'kova

tat-volodkova@yandex.ru

Yu.A. Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, 65, Kim Yu Chen St, Khabarovsk, 680000, Russia

Abstract. Large-scale aerogeophysical surveys were conducted during exploration and prospecting in several greenstone belts (GSB) in the Priamurye area in connection with the ore perspective. The data processing and interpretation show that GSBs of Priamurye are contrastingly displayed against the background of other rock complexes by their background characteristics of the natural radioactive element (NRE) ratios which are typical of only these greenstone belts. The calculated average NRE ratio values allow us to delineate GSBs and to determine a degree of their integrity. The configuration of the Udykhyn GSB was verified by using this technique.

Зеленокаменные пояса Приамурья (ЗКП) – слабоизученные структуры в древнейших комплексах Алдано-Станового щита, представляющие огромный интерес в связи с их высокими рудными перспективами. Одним из основоположников представлений о ЗКП Приамурья был крупный исследователь архейских пород Л.П. Карсаков [2]. В шовных зонах дислокаций, определяющих облик Алдано-Станового щита (в приразломных зонах) он описал верхнеархейский гилуийский комплекс. Эти образования узкой полосой прослеживались вдоль важнейших глубинных разломов, включали в себя несколько метаморфических серий и ассоциирующих с ними магматических комплексов и были аналогами зеленокаменных трогов. В гилуийский комплекс входили цепочки зеленокаменных поясов, выделенных Л.П. Карсаковым на более поздних картах [2, 6]. Точное положение поясов, размеры, границы в большинстве случаев гипотетичны, так как специализированные исследования ЗКП Приамурья не проводились. Только в последнее время появились работы, посвященные слабоизученным Холодниканскому и другим ЗКП Приамурья [3, 5]. В пределах некоторых зеленокаменных поясов (Каларский, Тас-Юряхский, Удыхинский), выявлены высокоперспективные площади и месторождения руд, они частично изучены крупномасштабными аэрогеофизическими, съемочно-поисковыми и поисково-оценочными работами. Тем не менее, эти работы не учитывали специфику ЗКП, не ставили целью картирование ЗКП и оценку их общих перспектив, поэтому результаты крупномасштабных

работ не дают возможности уточнить границы и морфологию ЗКП. Представления о ЗКП Приамурья к настоящему времени позволяют создать только их обобщенную модель:

1. С учетом классического труда К. Конди [4], ЗКП Приамурья двухстадийны, заложены в верхнем архее и интенсивно проработаны нижнепротерозойскими (и более поздними) магматическими и тектоническими процессами (подобные образования К. Конди описывал во всех древнейших регионах мира, кроме «белого пятна» - неизученного Алдано-Станового щита).

2. Предполагается, что все ЗКП Приамурья субсогласны с гилуийским комплексом, возможно, их протяженность гораздо значительнее, а количество больше, чем окончательно выделено Л.П. Карсаковым [6].

3. Гилуийский комплекс может включать ЗКП, а также их многочисленные переработанные поздними наложенными процессами фрагменты; принимаем в качестве ЗКП только хорошо сохранившиеся, достаточно протяженные, не разрушенные структуры.

4. При картировании ЗКП мира широко применялись геофизические работы, особенно, магниторазведка, гравиразведка, но никогда – аэрогаммаспектрометрия [4]. Объяснялось это тем, что в эталонных ЗКП мира широко распространены магматические и метаморфические комплексы повышенной основности, которые характеризуются очень низкими значениями урана, тория, калия.

5. По А.К. Карсакову, ЗКП Приамурья переходного (либо плейтктонического?) типа, возникшие на континентальной коре [3], поэтому в них довольно широко распространены магматические и метаморфические комплексы более кислого состава, в приразломных зонах они хорошо проработаны процессами глубинного метасоматоза; все это повышает их радиоактивность. Благодаря широкому развитию магматических и метаморфических комплексов повышенной основности, ЗКП Приамурья часто характеризуются относительно низкой, но выше пороговой, радиоактивностью, что позволяет достоверно определять величины отношений ЕРЭ этих комплексов пород.

С учетом вышесказанного, относительно изученные ЗКП Приамурья, выделенные на картах Л.П. Карсакова и др. [6], взяты за эталоны, в их пределах определены значения содержаний и отношений естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ) всех магматических и метаморфических комплексов.

Предполагается: если ЗКП Приамурья существуют и могут быть закартированы, согласно принципу отношений ЕРЭ, они должны описываться контрастными постоянными значениями отношений ЕРЭ. Оценка была проведена автором с использованием данных по Холодниканскому, Тас-Юряхскому, Каларскому, Удыхинскому зеленокаменным поясам, а также по ниже-верхнеархейским комплексам Алдано-Станового щита [1, 2, 6].

Средние значения отношений ЕРЭ докембрийских комплексов Приамурья. Табл.1

Состав комплекса и тектонический индекс	Значения отношений ЕРЭ			Состав комплекса и тектонический индекс	Значения отношений ЕРЭ		
	U/Th ^{*1}	K/Th, 10 ⁺⁴	U/K, 10 ⁻⁴		U/Th	K/Th, 10 ⁺⁴	U/K, 10 ⁻⁴
Слои земли и мантийные резервуары (для сравнения)				Гилуийский комплекс в зоне Желтулакского разлома			
Континентальная кора СС	0,23	0,25	0,28	Мрамор-двупироксеновые кристаллические сланцы тс А ₂	0,38	0,20	2,00*
Гранитно-метаморфический слой	0,25	0,20	1,28	<u>Гранито-гнейсы</u> тс А ₂	0,24	0,17* ³	1,70*
Андезитометаморфический слой	0,21	0,21	1,00	Гнейсо-граниты рсР ₁ ¹	0,24	0,14*	1,83*
Гранулитобазитовый слой	0,33	0,50	0,66	Каларский и Тас-Юряхский зеленокаменные пояса			

Примитивная мантия РМ	0,26	0,30	0,94	Плагииграниты, гранитогнейсы тс А ₁	0,21 0,27	0,23 0,30	0,80 0,80
Деплетированная мантия DM	0,40	0,53	0,80	Чарнокитоиды тс А ₁	0,25	0,23	1,00
Обогащенная мантия EM I	0,08	0,17	0,45	Гнейсовидные граниты, плагииграниты тс А ₂	0,32	0,36	0,88
Обогащенная мантия EM II	0,49	0,49	1,00	Двуслюдяные сланцы, кварцитосланцы тс А ₂	0,30	0,30	1,00
Обогащенная мантия HIMU	0,25	0,10	1,90 – 2,51	Габбро-анортозиты рР ¹ ₁	0,30	0,43	0,80
Средние характеристики отношений ЕРЭ по профилю Джалинда – Томмот* ²				Лейкократовые сиениты амН ₁	1,0-1,5	0,50	0,7-1,0
Алдано-Становой щит. Пристановая область. Нижний архей тс А ₁				Удыхинский зеленокаменный пояс			
Биотит-гиперстеновые гнейсы, гранито-гнейсы, кварцито-гнейсы тс А ₁	0,25- 0,26	0,19	1,43- 1,56	Мрамор-двупироксеновые кристаллические сланцы тс А ₁	0,10- 0,30	0,10- 0,30	1,25- 1,50
Селенга-Становой орогенный пояс. Уркская зона. Верхний архей А ₂ .				Биотит-горнблендитовые гнейсы, кристаллосланцы, горнблендитовые сланцы тс А ₂	0,30- 0,50	0,30- 0,50	1,0-1,5
Диоритовые гнейсы, гранито-гнейсы, гнейсо-граниты тс А ₂	0,27	0,20	1,39	Диоритовые гнейсы тс А ₂ (измененные)	0,40- 0,60	0,20- 0,40	1,25- 2,50*
Становая гранит-зеленокаменная область. Иликанский блок. Верхний архей А ₂ .				Гранито-гнейсы рсР ¹ ₁	0,45- 0,65	0,3-0,5	1,0-1,2
Гранито-гнейсы, гнейсо-граниты, биотит-горнблендитовые гнейсы, кристаллосланцы тс А ₂	0,30	0,25	1,08	Региональные гидротермально-метасоматические изменения (мезозойская активизация)	0,2-0,5	0,10*- 0,30	1,75*- 2,70*
Диориты, гранодиориты амМ ₂	0,29	0,31	1,11	Оценка среднестатистических характеристик ЗКП Приамурья			
Алданская плита.				Кристаллические сланцы и гнейсы тс А ₂	0,25- 0,35	0,30- 0,45	0,80- 1,20
Гранито-граносиениты, монзониты, сиениты амМ ₂	0,65	0,80	0,67	Гранито-гнейсы, гранитоиды рсР ¹ ₁	0,25- 0,45	0,30- 0,50	0,50- 1,20
Холодниканский зеленокаменный пояс							
Высокоглиноземистые граниты рсР ¹ ₁	0,22 0,27	0,35 0,45	0,37 0,93				
Биотит-горнблендитовые сланцы, кварцито-гнейсы тс А ₂	0,28 0,25 0,25	0,43 0,25* 0,28	1,15 1,07 1,67*				

Примечания.

*1. Комплексы считаются контрастными, если хотя бы по одному из трех значений отношений ЕРЭ расходятся на величину более доверительного интервала $\pm 2\sigma$, где σ - среднеквадратическая погрешность (по урану – 0,1; торию – 0,1; калию – 0,25).

*2. На Каларском и Тас-Юряхском массивах средние характеристики отношений ЕРЭ представительны, на профиле Джалинда–Томмот (Холодниканский, Желтулакский ЗКП) рассчитаны приближенно, по Удыхинскому ЗКП оценка фона проведена грубо по карте отношений ЕРЭ.

*3. Звездочкой обозначены аномальные значения отношений ЕРЭ, характеризующие влияние гидротермально-метасоматических процессов в приразломных комплексах.

Предварительные выводы:

1. Средние характеристики отношений ЕРЭ нижнеархейских, верхнеархейских образований зеленокаменных поясов значимо отличаются; аномальные характеристики типичны для регионально метасоматически измененных приразломных комплексов.

2. Характеристики пород ЗКП выделяются существенно повышенными (до $0,4-0,5$)* 10^{+4} калий-ториевыми и относительно пониженными (до $1,0-1,2$ и менее)* 10^{-4} уран-калиевыми отношениями ЕРЭ; у раннепротерозойских гранитоидов эта тенденция сохраняется и выражена еще более контрастно.

3. С учетом геодинамического критерия [1], характеристики архейских гранито-гнейсовых комплексов типичны для коллизионного этапа, а более поздних зеленокаменных поясов для постколлизионного – внутриплитного этапа.

4. Характеристики отношений ЕРЭ ЗКП Приамурья ближе всего к соответствующим данным для гранулит-базитового слоя либо обогащенной мантии ЕМ II (производной от коры океанического типа); они существенно отличаются от величин отношений ЕРЭ гранито-метаморфического слоя.

5. Желтулакская зона, представлена гиллойским комплексом, в сечении профиля Джалинда-Томмот она не должна содержать ЗКП или их крупных фрагментов [1], действительно, ее характеристики сильно отличаются от параметров ЗКП.

Таким образом, теоретически показана возможность выделения ЗКП Приамурья по картам отношений ЕРЭ. В ЗКП Приамурья широко распространены гранитоиды; характеристики отношений ЕРЭ гранитоидов и пород повышенной основности сопоставимы.

По картам отношений ЕРЭ можно уточнить контуры ЗКП, а также их морфологию (сплошность). По фрагментам с аномальными характеристиками отношений ЕРЭ, с учетом их площади, можно определить относительно разрушенные (переработанные наложенными процессами) части ЗКП; с учетом данных по магнитному и гравитационному полю, можно разделить комплексы пород по основности. Такая работа проделана в пределах Удыхинского зеленокаменного пояса. Супракристалльные зеленокаменные комплексы пород, характерные для ЗКП Приамурья, здесь известны давно, тем не менее, контуры Удыхинского пояса вызывают большое сомнение. Известно, что ЗКП Приамурья субсогласны основным глубинным разломам, но Удыхинская площадь – это узел пересечения двух крупнейших систем разломов, северо-восточной и субширотной. Северо-восточная система совпадает, по Л.П. Карсакову, с краевой северо-восточной зоной Сибирской платформы (зоной рифтов и расколов), субширотная зона субсогласна южной краевой зоне Алдано-Станового щита; на картах Л.П. Карсакова направление пояса менялось с субширотного на северо-восточное [2, 6]. Вопрос о контурах Удыхинского пояса особо актуален, так как площадь считается перспективной на золото и полиметаллы, которые связываются с комплексами Удыхинского ЗКП. На Удыхинской площади автором выделена региональная вытянутая в северо-восточном направлении уран-калиевая аномалия, близкая по контуру ранее известному рудному району. Аномалия автором трактовалась, как зона нижнепротерозойской (?) активизации, магматизма и метасоматоза; после завершения нижнепротерозойских процессов, становление Удыхинского пояса было завершено. Эти факты использовались при определении контура Удыхинского ЗКП, Можно предположить, что пояс имеет сложную,

крестообразную форму, его ветви протягиваются в двух направлениях (фрагменты зеленокаменных комплексов отмечаются в пределах обеих ветвей).

Проведена интерпретация карт отношений ЕРЭ и магнитного поля в пределах двух ветвей. Выделены комплексы повышенной основности, гранитоиды, ареалы широко развитого метасоматоза, вероятно, мантийного. В пределах обеих ветвей широко проявлены процессы мезозойского магматизма и метасоматоза, которые вели к переработке (уничтожению) зеленокаменных комплексов пород. Главный вывод: как в северо-восточном, так и в субширотном направлении отмечаются комплексы пород с характеристиками отношений ЕРЭ, типичными для ЗКП Приамурья (табл.1). Особо характерны для этих комплексов величины калий-ториевых отношений порядка 0,3-0,35 – 0,5-0,55. Точнее, такие калий-ториевые отношения типичны для верхне-архейских комплексов (биотит-горнблендитовых кристаллосланцев, диоритовых гнейсов и гранитогнейсов) – пород субстрата ЗКП. Среди них отмечаются небольшие блоки и пластины нижнеархейских мрамор-двупироксеновых гнейсов, для которых типичны аномально низкие уран-ториевые и калий-ториевые отношения ($U/Th = 0,1-0,3$, $K/Th = 0,1-0,3$). Наименования архейских комплексов на Удыхинской площади даются с учетом «Тектонической карты»... [6]. Важно также знать, какую относительную площадь занимают породы с такими характеристиками. ЗКП Приамурья промежуточного (либо плейттектонического) типа сформированы на довольно гранитизированной коре, в подобном случае зеленокаменные комплексы могут составлять до 50-60%; эта доля уменьшается при высокой степени последующей магматической и метасоматической переработки в мезозое. Пусть зеленокаменный пояс считается слабозрушенным, если породы с типичными для ЗКП характеристиками отношений ЕРЭ занимают в общем контуре площадь не менее 30%. По картам отношений ЕРЭ заключаем: в северо-восточной зоне Удыхинского ЗКП типичные калий-ториевые характеристики (более 0,3) имеют около 40% площади, в субширотной зоне около 20%. Данные комплексной геолого-геофизической интерпретации и характеристики магнитного поля также подтверждают, что закартированные фрагменты можно трактовать как зеленокаменные комплексы. Эти предварительные данные нуждаются в уточнении, но вероятно, что северо-восточный фрагмент Удыхинского ЗКП сохранился лучше субширотного.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Володькова Т.В. Тренды отношений радиоактивных элементов по профилю Джалинда–Томмот // Литосфера. 2016. №2. С. 24-67.
2. Л.П. Карсаков. Региональная стратиграфическая схема нижнего докембрия Становой складчатой области // Стратиграфия нижнего докембрия Дальнего Востока. Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. С. 10-17.
3. А.К. Корсаков. Тектонические условия формирования и металлогенические особенности зеленокаменных поясов // автореф. дисс. д.г.-м.н., Москва, 2000.
4. Конди К. Архейские зеленокаменные пояса. М.: Мир, 1983. 374 с.
5. Лаврик С.Н. Холодниканский зеленокаменный пояс (Алданский щит): природа протолитов метаморфических пород и их петрогенезис // автореф. дисс. к.г.-м.н., Владивосток, 2006.
6. Тектоника, глубинное строение, металлогения области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов. Объяснительная записка к Тектонической карте масштаба 1:1500000. Владивосток-Хабаровск: ДВО РАН, 2006. 264 с.

УДК 551.241 (550.34)

ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ И ДСР РАЙОНА СТРОИТЕЛЬСТВА КАПСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА АРМЕНИИ

Гаспарян Гамлет Сергеевич, Оганесян Амаяк Оганесович,

Саргсян Рудольф Суменович, Авдалян Арман Грачевич

e-mail: hamlet1952@mail.ru,

e-mail: hmayak.hovhannisyan@bk.ru,

e-mail: rudolf90sargsyan@gmail.com,

e-mail: arman.avdalyan.1981@mail.ru

*Институт Геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова НАН РА,
Республика Армения, г. Гюмри*

Аннотация. На основе анализа результатов трехмерной количественной интерпретации гравитационного поля в комплексе с данными ГСЗ, сейсмологии, геодезии и других геофизических полей была составлена трехмерная структурно-динамическая модель земной коры района строительства Капсского водохранилища (радиусом 50 км). Выделены зоны возникновения очагов землетрясений (ВОЗ) с оценкой их сейсмических потенциалов (M_{max}). Проведено районирование слагающих территорию района Капсского водохранилища геолого-литологических комплексов по их устойчивости. Составлена карта сейсмической опасности территории водохранилища с дифференциацией уровня ожидаемой интенсивности по местным инженерно-геологическим условиям.

DEEP STRUCTURE AND DSZ OF THE KAPS RESERVOIR PROJECT TERRITORY OF ARMENIA

Gasparyan Hamlet Sergey, Hovhannisyan Hmayak Hovhannes,

Sargsyan Rudolf Suren, Avdalyan Arman Hrach

e-mail: hamlet1952@mail.ru,

e-mail: hmayak.hovhannisyan@bk.ru,

e-mail: rudolf90sargsyan@gmail.com,

e-mail: arman.avdalyan.1981@mail.ru

*Institute of Geophysics and Engineering Seismology after A. Nazarov of NAS,
Gyumri, Rep. Armenia*

Summary. On the base of the analyses of the results of 3D quantitative interpretation of the gravitation field in the complex with the DSS, seismological, geodetic and other geophysical data the 3D structural-dynamic model of the earth crust of Kaps reservoir project territory was built. The zones of the origin of earthquakes hypocenters were highlighted with the assessment of their seismic potential (M_{max}). The zoning of the geology-lythological complexes of the Kaps reservoir territory by their sustainability was made. The seismic risk map of the reservoir's territory was built with differentiating the level of predicted intensity by local engineering-geological conditions.

Намеченные, в последние годы, направления развития экономики Республики Армении, указывают на необходимость составления региональных планов экономического развития отдельных областей, однако, действующая карта сейсмического районирования (М 1:500000), составленная на основе детерминистического подхода, не позволяет этого. Она не только не может отражать весь возможный потенциал сейсмогенных структур, но и ее масштаб и информативность не удовлетворительны. Отсюда ясно, что для целесообразного

размещения крупных промышленных и гидротехнических сооружений нужна более детальная карта сейсмического районирования, позволяющая оценить исходное значение сейсмической интенсивности. Такие исследования по отдельным областям территории Армении проводились неоднократно, однако, составленные карты ДСР оставались по сути картами общего сейсмического районирования с некоторыми детализациями элементов сейсмоструктуры. В них не учитывались ряд факторов, связанных с механизмом очага и ее сейсмического излучения, в особенности затухания интенсивности в зависимости от строения среды и грунтовых условий, которые существенно влияют на величину количественных параметров сейсмических воздействий.

На современном этапе развития сейсмологических исследований в этом направлении разработаны новые методические подходы и технологии, позволяющие при составлении карт ДСР учитывать весь комплекс вышеперечисленных факторов. Исходя из этого в настоящей работе детальная оценка сейсмической опасности и составление карты ДСР района строительства Капского водохранилища в масштабе 1:200000 проведена по широко применяемой в мировой практике детерминистко-вероятностной методологии.

Согласно данной методологии поэтапно проводились следующие исследования:

- создание структурно-геодинамической модели земной коры на основе комплекса геолого-геофизических, геодезических и др. данных;
- выделение зон возникновения очагов землетрясений (ВОЗ) и оценка их потенциальной сейсмичности (M_{max});
- районирование геолого-литологических комплексов, слогающих территорию (радиусом 50 км вокруг водохранилища), по их устойчивости;
- составление карты ДСР.

Для построения структурной модели земной коры территории Капского водохранилища (радиусом 50 км) были использованы результаты трехмерной количественной интерпретации гравитационного поля в комплексе с данными ГСЗ, сейсмологии и других геофизических полей. В качестве показателей динамичности этих структур были приняты не только геолого-геофизические, сейсмологические и геоморфологические признаки, но и по мере возможности были использованы данные современных вертикальных и горизонтальных движений и т.д. [1].

В результате комплексной интерпретации вышеуказанных данных была составлена трехмерная структурно-динамическая модель земной коры района Капского водохранилища, состоящая из комплекта схем разломно-блокового строения земной коры на трех уровнях глубин:

- по поверхности кристаллического фундамента (до 5 км);
- по подошве сейсмоактивного слоя в земной коре (до 20 км);
- по границе Мохоровичича (до 45 км и более).

На схемах выделены системы разрывных нарушений с подразделением их на категории по размерам и глубине проникновения в земную кору.

К первой категории отнесены разломы, разграничивающие крупные тектонические блоки и имеющие глубину проникновения до 45 км и более (мантийные).

К второй категории отнесены разломы глубиной 15-20 км, разграничивающие тектонические блоки более низких порядков и проникающие до подошвы сейсмоактивного слоя. Эти разломы подразделены на два подтипа – активные и неактивные.

Анализ и сопоставление выделенных элементов структурной модели с гипоцентральной полем наблюдаемой сейсмичности показывает, что вообще земная кора территории Армении сейсмоактивна от поверхности до 30 километровых глубин, исходя из чего можно заключить, что для проведения сейсмоструктурного районирования с выделением зон ВОЗ в качестве основы можно принять схему разломно-блокового строения земной коры на уровне подошвы сейсмоактивного слоя, с естественным учетом активных структурных элементов залогающих выше и ниже от этого уровня (Рис. 1).

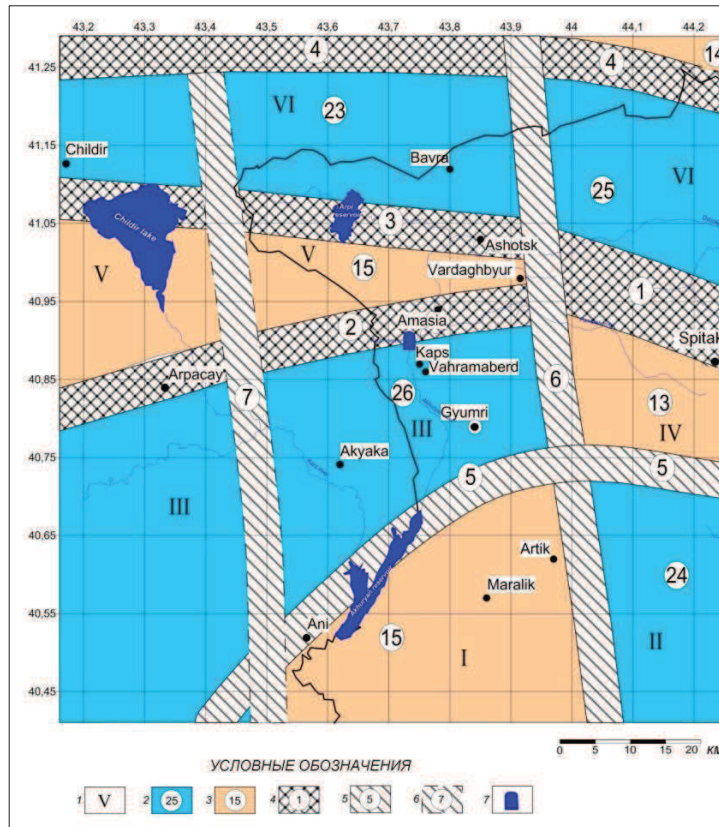


Рис. 1. Карта разломно-блокового строения Капского водохранилища и прилегающих территорий (по геофизическим данным)

1 – номера блоков: I. Мараликский приподнятый блок, II. Арагацский опущенный блок, III. Ширак-Карсский опущенный блок, IV. Спитакский приподнятый блок, V. Арпи-Чилдырский приподнятый блок, VI. Ташир-Джавахетский опущенный блок, 2 – опущенные блоки и их глубина (ниже уровня моря в км), 3 – приподнятые блоки и их глубина (ниже уровня моря в км), 4 – глубинные разломы пересекающие земную кору и мантию: ① Памбак-Севанский, ② Вардахбюр-Амасийский, ③ Арпи-Вардахбюрский, 5 – активные разломы пересекающие земную кору и видимые на земной поверхности: ④ Ниноцминда-Мецаванский, ⑤ Ани-Байандур-Алагязский, ⑥ Арагац-Джавахетский, 6 – активные разломы пересекающие земную кору и не видимые на земной поверхности: ⑦ Транскавказский шов, 7 – участок строительства Капского водохранилища

Как видно из Рис. 1 земная кора исследуемого района состоит из мозаично расположенных относительно приподнятых и опущенных блоков, разделенных друг от друга глубинными разломами, основная часть которых имеет северо-западное, а два из них субмеридианальное простирание. В сеймотектоническом отношении главнейшим тектоническим элементом земной коры исследуемого района является Памбак-Севанская глубинная зона разломов (на Рис. 1 отмечена номером ①), которая в районе села Вардахпюр разветвляется на два самостоятельных разлома (на Рис. 1 отмечены ② и ③). С этой зоной связано самое крупное сейсмическое событие XX столетия, произошедшее на территории Армении – Спитакское землетрясение 1988 г. с магнитудой $M-7,1$. По различным расчетам в пределах этой зоны ВОЗ возможное сильное землетрясение может проявиться с максимальной магнитудой $M_{\max}=6,5\div 7,5$.

Выделенные в исследуемом районе другие сейсмогенные зоны (на Рис. 1 отмечены ④, ⑤, ⑥ и ⑦), хотя и проявляются активной современной сейсмичностью, однако,

обладают на порядок низким сейсмическим потенциалом, который в пределах этих зон ВОЗ оценивается $M=5,75 \div 6,25$ [2].

При возможных землетрясениях с разными величинами магнитуд были рассчитаны максимальные значения ускорений грунтов для разных расстояний от очага землетрясения. Кроме того для каждой зоны ВОЗ производились также оценки интенсивности проявления возможных землетрясений, выраженных в «баллах» по шкале MSK-64 [3].

На следующем этапе исследований проведено районирование слагающих территорию района Капского водохранилища геолого-литологических комплексов по их устойчивости, подразделяющихся на четыре категории: сильные, средние, слабые и весьма слабые [4]. Имея ввиду, что устойчивость – это способность пород противостоять внешним физическим воздействиям (при процессах выветривания и переноса) можно заключить, что она сопоставима со способностью пород противостоять сейсмическим воздействиям. Кроме того описание грунтов каждой категории, сопоставимо с описанием грунтовых условий строительной площадки, принятых в СНРА-6.02. 2006 г. к применению при сейсмическом районировании [5].

Как видно из карты (Рис. 2) в исследуемом районе со средним показателем устойчивости выделяются, в основном, вулканогенно-осадочные отложения, которые по горнотехническим свойствам подходят к скальным и полускальным грунтам. Следовательно, эти отложения по сейсмическим свойствам подходят к средним (эталонным) грунтам – с исходным значением сейсмической интенсивности. Учитывая также расстояние данных участков от потенциальной очаговой зоны, интенсивность сотрясений на них оценивалась в 8-9 и 9 баллов.

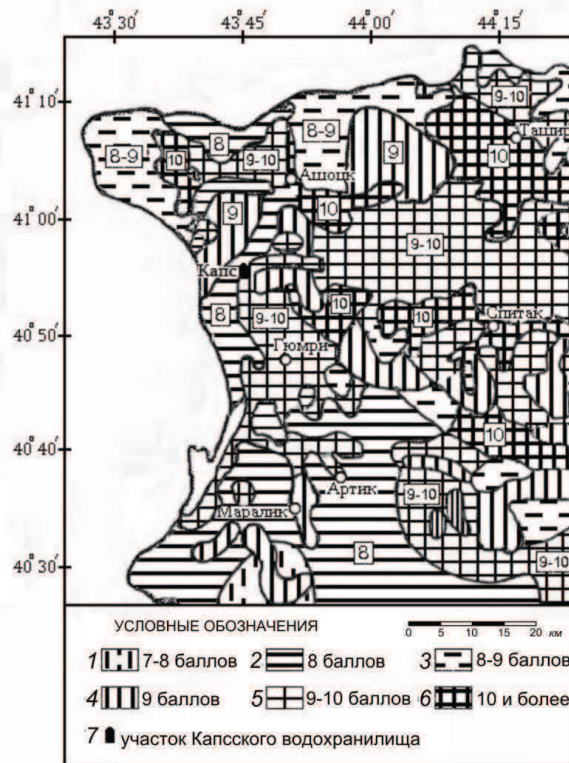


Рис. 2. Схематическая карта детального сейсмического районирования территории Капского водохранилища (с учетом геолого-литологических комплексов)

С сильной устойчивостью отличаются вулканические образования, которые на исследуемой территории занимают большую площадь. По сейсмическим свойствам эти породы соответствуют грунтам первой категории, следовательно в районах их распространения исходное значение ожидаемой сейсмической интенсивности понизится на 1

балл. Учитывая расстояние этих областей от возможных очагов сильных землетрясений, сейсмическая интенсивность на них оценивается в 7-8 и 8 баллов. Как видно из Рис. 2 участок строительства Капского водохранилища расположен на грунтах этой категории, представленных миоцен-четвертичными вулканическими образованиями: базальты, андезито-базальты, андезиты и т.д.

Породы со слабой устойчивостью представлены в основном осадочными отложениями, сейсмические свойства которых сопоставимы с аналогичными показателями грунтов третьей категории и, следовательно, в районах их распространения исходное значение сейсмической интенсивности должно повышаться на 1 балл и будет равно 9-10 баллам.

В районе исследований выделены также участки распространения пород с весьма слабой устойчивостью, свойства которых сопоставимы со свойствами грунтов 4-ой категории. При планировании какого либо строительства на таких участках кроме повышения исходного значения сейсмической интенсивности на 1 балл, при котором оно будет равно 10 баллам, необходимо предусмотреть также проведение дополнительных работ по инженерной подготовке строительной площадки.

Таким образом, проведенные исследования показали, что в условиях отсутствия общепринятой методики ДСР, следует применять комплексный подход решения этой важнейшей задачи, с учетом возможностей каждого метода в данной сеймотектонической ситуации.

Исследованиями последних несколько десятилетий показано, что при решении задач ДСР на территории Армении, первоочередное значение имеет изучение глубинного строения региона и определение глубин очагов их этажности, в первую очередь для трассировки и уточнения положения зон ВОЗ.

Определение потенциальной сейсмичности очаговых зон также должно быть комплексным, включающим не только сейсмостатистические и палеосейсмогеологические, но и всевозможные теоретические методы.

Выделяемые при ДСР районы должны достаточно полно отражать природную обстановку, влияющую на уровень сейсмического воздействия и общую сейсмическую опасность, следовательно, ДСР должен проводиться на кондиционной инженерно-геологической основе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оганесян С.М., Оганесян А.О., Гаспарян Г.С., Фиданян Ф.М. Структурно-динамическая характеристика земной коры территории Армении по комплексу Геофизических данных // Изв. НАН РА «Науки о Земле», 2005, N3, сс. 46-54.
2. Оганесян С.М., Оганесян А.О., Геодакян Э.Г., Гаспарян Г.С., Григорян В.Г. Выделение зон возникновения очагов землетрясений на основе сейсмологической идентификации и параметризации основных элементов структурно-динамической модели земной коры Армении // Изв. НАН РА «Науки о Земле», 2008, N1, сс. 39-44.
3. Оганесян С.М., Оганесян А.О., Геодакян Э.Г., Григорян В.Г., Гаспарян Г.С. Детальное сейсмическое районирование территории Армении // Проблемы сейсмологии в Узбекистане, Том I, N7, Ташкент, 2010, сс. 244-249.
4. Схематическая инженерно-геологическая карта условий развития оползней, обвалов и осыпей на территории Армянской ССР (масштаб 1:200 000, под редакцией А.Т. Асланяна, составили: Хачатрян К.Е., Мелтонян Н.А., Казанчян А.А.), 1986.
5. Строительные нормы Республики Армения. Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования, СНРА II-6.02-2006., Ереван, 2006, 120 с.

УДК 550.832

**ЯДЕРНОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ И
ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

Глушкова Татьяна Анатольевна, Талалай Александр Григорьевич

e-mail: nedra@uralnedra.ru

ООО Концерн «НЕДРА», г. Екатеринбург, Россия,

Аннотация. Важная роль в комплексе геоэкологических работ отводится ядернофизическим исследованиям. В развитии научных исследований в области ядерных процессов и их использовании при поисках, разведке, подсчете запасов и разработке месторождений полезных ископаемых (в том числе техногенных), для контроля технологических процессов переработки минерального сырья, промпродуктов и отходов их переработки, при геофизических, геохимических, гидрогеологических, инженерно-геологических и экологических (в т.ч. радиоэкологических) работах можно выделить следующие направления ядернофизических исследований: ядерная геохимия, ядерная геофизика, ядерная петрофизика, ядерная гидрофизика, ядернофизический анализ объектов окружающей среды и ядернофизический анализ минерального сырья.

NUCLEAR PHYSICAL STUDIES OF NATURAL AND TECHNOGENIC OBJECTS

Glushkova Tatiana Anatolyevna, Talalai Alexander Grigorievich

e-mail: nedra@uralnedra.ru

Co Ltd «Nedra», Ekaterinburg, Russia

Summary. An important role in the complex of geoecological work is assigned to nuclear physics research. In the development of scientific research in the field of nuclear processes and their use in prospecting, exploration, calculation of reserves and the development of mineral deposits (including man-made deposits), for monitoring the technological processes of processing mineral raw materials, industrial products and wastes of their processing, in geophysical, geochemical Hydrogeological, engineering-geological and ecological (including radioecological) works, the following areas of nuclear physics research can be distinguished: nuclear geochemistry, nuclear geophysics Nuclear petrophysics, nuclear hydrophysics, nuclear physics analysis of environmental objects and nuclear physics analysis of mineral raw materials.

Возникновение контролируемых антропогенных изменений геологической среды связано, в первую очередь, с природопользованием, а во вторую – с отсутствием методологии комплексного прогноза изменения геосреды, отсутствием правовой и нормативной базы защиты и рационального использования геологической среды от негативных последствий хозяйственной деятельности.

Технические средства, применяемые на службе литомониторинга должны быть современными, надежными в эксплуатации на длительный срок в трудных климатических условиях. По возможности эти средства должны работать в автоматизированном режиме и выдавать информацию в центры любого уровня в унифицированном виде. Применяемая техника должна обеспечивать заданную программой точность измерений по всем параметрам.

Современная наука располагает арсеналом современных методов, приборов и оборудования, при помощи которых можно осуществлять мониторинг геологической среды, точно оценивать многообразные физические и химические свойства горных пород, руд, промпродуктов, отходов производств и объектов окружающей среды.

Диапазон геоэкологических задач, решаемых современными методами и приборами, весьма широк – от региональных исследований земной поверхности с помощью приборов,

установленных на спутниках, до детального изучения разреза земной коры при помощи аппаратуры, опускаемой в скважины.

Важная роль в комплексе геоэкологических работ отводится ядернофизическим исследованиям. В развитии научных исследований в области ядерных процессов и их использовании при поисках, разведке, подсчете запасов и разработке месторождений полезных ископаемых (в том числе техногенных), для контроля технологических процессов переработки минерального сырья, промпродуктов и отходов их переработки, при геофизических, геохимических, гидрогеологических, инженерно-геологических и экологических (в т.ч. радиоэкологических) работах можно выделить следующие направления ядернофизических исследований: ядерная геохимия, ядерная геофизика, ядерная петрофизика, ядерная гидрофизика, ядернофизический анализ объектов окружающей среды и ядернофизический анализ минерального сырья.

Особо следует подчеркнуть, что все перечисленные направления ядернофизических исследований теснейшим образом переплетаются при мониторинге геологической среды.

Новые радиоактивные методы изучения изотопного состава природных образований послужили основанием для использования радиоактивных излучений элементов горных пород при разведке полезных ископаемых. Проведенная впервые в СССР в 1920 г. при поисках и разведке радоновых источников радиометрическая съемка в последующие годы широко применялась при поисках радиоактивных руд и минералов во всех странах. Особенно широкий размах новый вид разведки достиг в 50-60-х годах в Канаде, где использовались специальные радиометры, установленные на самолетах и вертолетах, позволившие обследовать на радиоактивность всю территорию страны.

К радиоактивным методам разведки относятся методы изучения геологического разреза нефтяных и газовых скважин по регистрации естественной, а затем и наведенной активности горных пород, слагающих геологический разрез. Метод был разработан в СССР в 1937 г., получив название радиоактивного каротажа, затем усовершенствован в США и ФРГ, где в 1941 г. впервые предложено использовать нейтронные источники облучения пород и регистрировать их ответное излучение. Важнейшим шагом в развитии методов изучения радиоактивности геологического разреза было предложение Г. Н. Флерова изучать вызванное нейтронное излучение пород не только в пространстве (по разрезу), но и во времени с применением импульсного генератора нейтронов. Ядернофизические методы изучения геологических разрезов, в первую очередь нефтяных скважин, в настоящее время широко применяются при контроле за геологическими процессами, протекающими на больших глубинах, например при контроле за продвижением фронта закачиваемой воды или газа на крупнейших месторождениях нашей страны.

Были разработаны самые разнообразные ядернофизические методы, повышающие эффективность поисков и разведки полезных ископаемых. Использование ядернофизических основ дало возможность разрабатывать методы, выявляющие пространственно-временное распределение урана, тория, бора и лития, например, с одновременным определением их локальной и общей концентрации в минералах, образцах горных пород, природных водах и нефтях.

Ядернофизические методы изучения горных пород, получившие название ядерногеофизических, занимают важное место в комплексе методов, использующихся при поисках, разведке и контроле разработки месторождений полезных ископаемых. Становление и развитие ядерной геофизики началось в 20-х годах с разработки аппаратуры и методов регистрации радиоактивных излучений в полевых условиях (Л. Н. Богоявленский, А. П. Кириков, А. Г. Грамматиков, Г. В. Горшков и др.). Эти методы особенно бурно развивались в 40-х годах в связи с ростом потребностей в уране, были разработаны разнообразные методы, включая гамма-спектроскопию и измерение гамма-излучения с самолета. В 30-х годах был предложен метод измерений гамма-активности в скважинах (Г. В. Горшков, Л. М. Курбатов, В. А. Шпак, (1933)), начиная с 30-х годов получили развитие методы ядерной геофизики, основанные на облучении горных пород ядерными излучениями

искусственных источников и регистрации продуктов ядерных реакций (вторичные гамма-кванты, нейтроны) или же рассеянного излучения. Первый из таких методов, нейтрон-нейтронный, заявлен в США в 1938 г., второй нейтронный гамма-метод исследования скважин предложен и осуществлен Б. Понтекорво в 1941 г. Примерно в то же время разработан нейтронный активационный анализ (Г. Хевеши, Х. Леви). В дальнейшем, число таких предложений быстро растет: гамма-нейтронный метод (Б. С. Айдаркин, Г. В. Горшков, А. Г. Грамматиков, (1946)), метод рассеянного гамма-излучения (Ф. Холленбах, 1947), рентгенорадиометрический метод (Л. Рейфел, Р. Хемфрид), метод ядерно-резонансного поглощения и рассеяния гамма-квантов (В. Н. Гольданский, А. В. Доленко и др.), импульсный нейтронный (Г. Н. Флеров, 1956).

Практическая реализация и дальнейшее совершенствование этих методов осуществляется в 50-60-х годах. В СССР они разрабатывались при изучении разрезов нефтяных и газовых скважин многими исследователями – Ф. А. Алексеевым, О. А. Барсуковым, Д. Ф. Беспаловым, Ю. Г. Гулиным, В. Н. Дахновым, И. Г. Дядькиным, В. Г. Ерозолиским, В. М. Запорожцем, Н. К. Кухаренко, Б. Б. Лапуком, В. В. Ларионовым, С. А. Кантором, А. Л. Поляченко, А. И. Холиным, Ю. С. Шимелевичем и др., твердых полезных ископаемых – Ф. А. Алексеевым, В. А. Арцыбашевым, А. М. Блюменцевым, Ю. П. Булашевичем, Г. С. Возжениковым, Г. М. Воскобойниковым, Д. И. Лейпунской, В. А. Мейером, А. П. Очкуром, И. И. Фельдманом, Е. М. Филипповым, А. Л. Якубовичем и др.

Развитие теоретических основ нейтронных методов было заложено трудами Ю. П. Булашевича, С. А. Кантора, В. Ф. Захарченко, Д. А. Кожевникова, А. А. Поляченко, гамма-гамма методов И. Г. Дядькина, Г. М. Воскобойникова, В. А. Арцыбашева, рентгенорадиометрического каротажа – В. А. Мейера, А. П. Очкура, Е. П. Лемана, нейтронного активационного каротажа – Ю. С. Шимелевича, Д. И. Лейпунской, Г. С. Возженикова, К. И. Якубсона, спектрометрического нейтронного гамма-каротажа – Ю. П. Булашевича, Е. М. Филиппова, А. Ф. Постельникова, спектрометрического гамма-каротажа – И. М. Хайковича, В. Л. Шашкина, Ю. Б. Давыдова, Е. С. Кучурина и др. Из зарубежных исследователей большой вклад в становление методов ядерной геофизики внесли И. В. Титтл, Я. П. Чубек, Л. С. Аллен, Р. П. Колдуэлл и др.

В области методического обеспечения и разработки технических средств ядерногеофизического каротажа крупный вклад внесли такие видные ученые как В. А. Мейер, Е. В. Карус, А. П. Очкур, Е. И. Крапивский, Ю. А. Гулин, Е. П. Леман, А. П. Поляченко, Е. М. Филиппов, А. А. Хайдаров, В. П. Шашкин, А. С. Штань, Ю. В. Давыдов, А. Л. Якубович, В. Я. Ямщиков, А. Ю. Большаков, И. И. Фельдмаг, И. П. Кошелев, В. О. Шишахин, Д. А. Кожевников, В. А. Красноперов, В. С. Камышев, Г. Г. Козлов, В. М. Колесов, И. В. Томский, С. Ф. Федоровский, В. Я. Бородовский, В. И. Уткин, В. В. Бахтерев, В. В. Шестаков, Е. Б. Лухминский, Г. А. Иванюкович, В. С. Нахабцев, Г. А. Пшеничный, А. М. Блюменцев, В. Ф. Караниколо, Е. А. Соколов, А. Ф. Постельников, Л. З. Зив, А. В. Давыдов, Е. С. Кучурин и многие другие. Благодаря работам таких ученых к началу 80-х годов определились место и роль ядерногеофизических методов и их комплексов в технологиях геологоразведочных работ при поисках и разведке различных полезных ископаемых, и данные ядерногеофизических исследований стали широко использоваться для уточнения подсчетных параметров разведываемых залежей рудных и угольных месторождений. В последние два десятилетия центр тяжести научно-исследовательских работ по развитию ядернофизических методов каротажа в нашей стране сместился на развитие и внедрение рентгенорадиометрического каротажа, объемы применения которого на рудных месторождениях к концу 80-х годов достигли 75-95 %, тогда как по остальным ядерногеофизическим методам – 15-25 %. Отмеченное объясняется не столько благоприятными аналитическими возможностями метода РРК, сколько высоким уровнем разработанности технических средств для возбуждения и детектирования рентгеновского излучения, способствующих глубокому изучению физических процессов

переноса рентгенорадиометрического излучения в горных породах и рудах различного вещественного состава. Прикладные возможности других ядерногеофизических методов каротажа исследованы менее полно, хотя по аналитическим возможностям многие из них являются уникальными, позволяя исследовать большие массы пород.

Курс лекций по радиометрии в Свердловском горном институте (ныне Уральский государственный горный университет) был впервые (1952) прочитан профессором Н. А. Ивановым. В течение нескольких лет (1954-1959) лекции по радиоактивной разведке для студентов ядерногеофизической специальности читал профессор Ю. П. Булашевич, который работал в те годы на кафедре геофизических методов поисков и разведки месторождений радиоактивных руд и редких металлов в качестве совместителя. Общий объем курса, который вел Ю. П. Булашевич, составлял более 300 часов, половина из которых отводилась для лекций, а другая половина – для лабораторных работ. Лабораторные работы включали изучение радиометрической аппаратуры, которую кафедра получала, в основном, через своих выпускников, работавших в экспедициях Первого главного геологоразведочного управления.

После Ю. П. Булашевича курс лекций по радиометрии и ядерной геофизике стал читать профессор Г.С. Возжеников, а в 1980 г. он возглавил кафедру ядерной геофизики, бессменным руководителем которой был в течение 15 лет.

Первый выпуск инженеров-геофизиков ядерного профиля на геофизическом факультете СГИ состоялся в 1953 г., последний выпуск (группа РФ-92-1) – в 1997 г. Более 150 (15 %) выпускников РФ-1 защитили кандидатские диссертации, а 25 из них стали докторами наук.

Невозможно переоценить результат коллективных усилий выпускников РФ-1 в укреплении минерально-сырьевой базы нашей страны, особенно в части ядерного и редкометалльного сырья. Экспедиции Первого Главного геологоразведочного управления МинГео СССР осуществляли свою деятельность не только на территории России, но также и на территориях бывших союзных республик Средней Азии Казахстана. К востоку от Урала – это Березовская, Сосновская, Приленская и Таежная экспедиции. На юге от Урала: Волковская, Краснохолмская и Степная экспедиции. Немало наших выпускников работали в составе Кольцовской экспедиции (г. Ессентуки), в Невском ПГО и, конечно же, здесь, в Уральском регионе, в Зеленогорскгеологии. Обычно – это основная часть геофизического штата, а геофизики Степного и Зеленогорского ПГО – практически на 100 % были выпускниками нашего факультета.

Несколько слов об одном из выпускников РФ-59-1.

Геннадий Иванович Новиков – специалист в области поисков и разведки месторождений радиоактивных руд, редких металлов, алмазов и золота.

Один из первооткрывателей нескольких месторождений урана в Казахстане. Занимался разведкой Ломоносовского месторождения алмазов в Архангельской области. Руководил поисково-разведочными работами, в результате которых были открыты уникальные по качеству руд и запасов месторождение ванадия и первое месторождение золота в Карелии, долгое время возглавлял ФГУП «Невскгеология».

Награжден орденами «Знак Почета» (1971), «Трудового Красного Знамени» (1981), «Дружба народов» (1989). Удостоен знака отличия и диплома «Первооткрыватель месторождений» (1980), «Заслуженный геолог РФ».

Еще один пример. Академическая группа РФ-55-1. Девять (!) выпускников этой группы защитили кандидатские диссертации. Четверо из них стали докторами наук. Среди них – Борис Петрович Рыжий, который руководил геофизическими исследованиями на территории ПО «Маяк». Участвовал в открытии и разведке нескольких месторождений руд черных, цветных и редких металлов. Награжден медалями СССР и РФ, знаком «Отличник разведки недр». В 80-х годах возглавлял геофизическую службу «Уралгеологии», с 1988 по 1999 гг. – директор Института геофизики УрО РАН, заслуженный деятель науки РФ.

И еще об успехах наших выпускников.

Евгений Сергеевич Кучурин – выпускник РФ-69-1. Доктор технических наук. Теоретически и экспериментально обосновал новые помехоустойчивые технологии нейтронного активационного каротажа, автор 80 свидетельств и патентов на изобретения. В течение нескольких лет возглавлял ВНИИ геофизических исследований скважин (г. Октябрьский).

Большой колокол памяти Евгения Кучурина установлен 26 ноября 2006 года на Храме во имя Николая Чудотворца в Уральском государственном горном университете, на котором начертано: “Помяни, Господи, во царствии своем раба твоего Евгения Кучурина”. От выпускников и сотрудников Уральского государственного горного университета и иных благодателей”.

Продолжил ядерное направление Черменский Владимир Германович – выпускник РФ-79-1, доктор технических наук, один из авторов современного метода нейтронной геофизики, получившего название «С/О каротажа».

Немало выпускников РФ-1 удостоены государственных наград и почетных званий. Среди них имеются кавалеры орденов и медалей СССР и РФ, лауреаты Государственных премий и премий СМ СССР, академики и чл.-корр. Международной академии минеральных ресурсов, заслуженные геологи РФ, заслуженные деятели науки и заслуженные работники высшей школы Российской Федерации.

Среди наших выпускников и участник двух антарктических экспедиций, участник научно-координационных программ МАГАТЭ Борис Ефимович Серебряков. Борис Ефимович – кандидат физико-математических наук, участник ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС.

В настоящее время выпускники ядерного профиля СГИ трудятся и в Институте геофизики УрО РАН. Это В. В. Бахтерев, В. А. Давыдов, Д. Ю. Демежко, И. А. Козлова, Е. Н. Рыбаков, В. А. Щапов, А. К. Юрков. В течение почти тридцати лет (1958-1986 гг.) заведующим лабораторией был член-корреспондент РАН Ю.П. Булашевич, один из основателей индустрии ядерных методов разведочной геофизики. Влияние работ Ю.П.Булашевича, выполненных в предыдущие (1948-1958) годы было так велико, что в постановлении Президиума АН СССР об организации Института геофизики (№ 2, от 10.01.1958г.) было указано, что институт определяется ведущим в системе Академии наук СССР по ядерно-геофизическим методам.

На кафедре геофизики Уральского государственного горного университета ядернофизические исследования природных и техногенных объектов продолжают Ж. Н. Александрова, Ю. В. Бельшев, Т. А. Глушкова, С. А. Игумнов, Н. С. Земцов, А. Г. Талалай.

Не забываем и не умаляем заслуг учеников и сподвижников, работающих в ядерном направлении, – это В. А. Антонов, Л. К. Борисова, В. И. Борисов, Е. Г. Возжеников, Ю. В. Демехов, Н. М. Зараменских, Г. Г. Коргуль, О. Е. Кучурина, В. А. Лысенков, В. Т. Перелыгин, А. Н. Скобелев, В. А. Федоров, Г. А. Федоров, Н. А. Черепанов, В. Г. Черменский, А. Г. Шампаров и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Институт геологии и геофизики Уральской государственной горно-геологической академии. Екатеринбург, УГГА, 2002. 282 с.
2. Геофизика XXI века: Материалы II Международного симпозиума, посвященного 60-летию образования геофизического факультета Уральского государственного горного университета, 24-25 ноября 2011 г. – Екатеринбург: УГГУ, 2012. – 200 с.



УДК 550.837

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫЗВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ В МЕТОДЕ ЗОНДИРОВАНИЯ СТАНОВЛЕНИЕМ ПОЛЯ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ (ЗСБ)

Голиков Юрий Владимирович

e-mail: p12252@yandex.ru

Уральский государственный университет путей сообщения

г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. Статья посвящена определению поляризуемости горных пород в методе ЗСБ. Рассматриваются предпосылки выделения и несколько подходов расчета эффекта ВП. Нами предложен способ определения вызванной поляризации по спаду отрицательной части ЭДС на основе измерений методом ЗСБ с аппаратурой АНП-3. Представлены формулы расчёта поляризуемости и металл-фактора..

METHOD DETERMINATION OF THE INDUCED POLARIZATION IN THE TIME-DOMAIN MEASUREMENTS IN THE NEAR ZONE (TEM)

Golikov Yuriy Vladimirovich

e-mail: p12252@yandex.ru

Ural state University of railway engineering , Ekaterinburg, Russia

Summary. Article is devoted to the definition of total polarizability of rocks in the method near-field time-domain electromagnetic sounding. Preconditions isolation and several approaches for calculating the effect of the EP. We propose the definition of the parameters of induced polarization from the decay of the negative EMF measurement-based method near-field time-domain electromagnetic sounding equipment ANP-3. The formulas for the calculation of the polarizability and m-factor.

Классический интерпретационный аппарат материалов по зондированию становлением поля базируется на пересчете и последующем анализе кривых зондирования в серию трансформант. Для получения количественных характеристик геоэлектрических разрезов обычно прибегают к использованию двух – трехслойных моделей среды. Типичная кривая зондирования является монотонно спадающей функцией, близкой к экспоненциальному закону. Однако практика показывает, что в некоторых случаях кривая зондирования переходит через нулевое значение (изменяет свой знак). В статье [4]. доказано что произвольно сложный неполяризующийся разрез не может вызвать это явление. Единственное объяснение этого феномена – влияние низкочастотной дисперсии горных пород на процессы становления поля [4]. Низкочастотная дисперсия может быть обусловлена повышенной поляризуемостью горных пород под установкой зондирования. Явление смены знака кривой зондирования не может быть проинтерпретировано в рамках классического подхода, и долгое время считалась мешающим фактором. Однако с конца 70х годов прошлого века появилась идея использования этого явления для определения поляризуемости горных пород. Главной задачей в этом подходе является разделение кривой зондирования на процесс становления поля и процесс, связанный с частотной дисперсией. Первые попытки математически описать данное явление приводятся в работах [11, 12].

Серия расчетов, проведенная авторами позволяет сделать следующие важные выводы:

1. ВП при индуктивном возбуждении является интегральным эффектом, обусловленным влиянием больших объемов среды.

2. Относительная роль ВП возрастает с уменьшением проводимости среды. Абсолютное значение ЭДС ВП пропорционально произведению · поляризуемости объекта и его удельного электрического сопротивления.

3. Каменецкий и Светов [6] привели решение на основе асимптотической формулы для неустановившегося сигнала в частотной и временной областях в соосных петлях, расположенных на поверхности однородного полупространства. На основе этих построений делаются следующие выводы о становлении поля в ближней зоне: 1. индукционный и поляризационный переходные процессы в ближней зоне аддитивны. 2. главная часть влияния частотной дисперсии во временной области определяется той частью вторичного поля в частотной области, которая прямо пропорциональна частоте и электропроводности среды и не дает вклада в переходный процесс в недиспергирующей среде 3. индукционный и поляризационный процессы различным образом зависят от размера установки, что может быть положено в основу их разделения. 4. относительное влияние частотной дисперсии возрастает с уменьшением электропроводности среды. В работе Кормильцева и Мезенцева [10] получены общие закономерности становления электромагнитного поля на поверхности поляризуемого полупространства для разных установок. Н.О. Кожевниковым [8] предложен способ подбора для однородного полупространства со сложной частотно-зависимой проводимостью описываемую моделью Коул–Коул. К сожалению более половины восстановленных моделей, сильно отличаются от базовых.

В работе [9] предложен способ качественной оценки индукционного ВП, основанный на измерениях с различными размерами петли.

Практическое применение вышеприведённых подходов сдерживается незнанием удельной электропроводности среды, Абсолютное значение ЭДС ВП пропорционально произведению поляризуемости объекта на его удельное электрическое сопротивление. Отличительные особенности индукционного зондирования с нашей технологией и аппаратурой в отличие от стандартной технологии ЗМПП: –Высокая разрешающая способность метода для изучения разреза на глубину (от первых метров до 1-2 км) благодаря значительному числу регистрируемых на временной оси точек измерений в линейном масштабе времени (более 300 значений).

Измерения методами: индукционного зондирования выполняются универсальной авторской аппаратурой АНП-3 (аппаратура неустановившегося поля, 3-я модификация), разработанной и созданной под руководством проф. Голикова Ю.В. [2, 3]. Разработка поддержана российским фондом Бортника. Выигран и выполнен грант «НИОКР» по теме: "Разработка способов создания аппаратуры для импульсной геоэлектроразведки" (контракт №10412р/18707 от 08.06.2012). Подана заявка на изобретение [2]. Вид аппаратуры и основные технические характеристики генератора и измерителя приведены на рис. 1

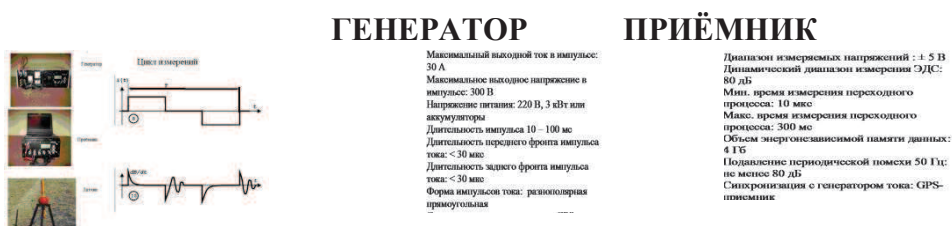


Рис.1 Авторская аппаратура АНП-3

Технология измерений простая. Раскладывается петля в центре которой датчиком измеряется процесс-3-4 минуты. Размер петель 50, 100 и 200 метров, что позволяет выполнить зондирование до глубины 1000 метров.

Нами предложен простой способ расчёта вызванной поляризации по спаду отрицательной части ЭДС становления поля. При этом, вызванная поляризация при индуктивном возбуждении является интегральным эффектом, обусловленным влиянием больших объемов среды под совмещённой петлёй. Все исследователи индукционного ВП отмечают: 1. Индукционный и поляризационный переходные процессы в ближней зоне аддитивны. 2. Эффект ВП приводит к смене знака в поздней стадии становления поля.

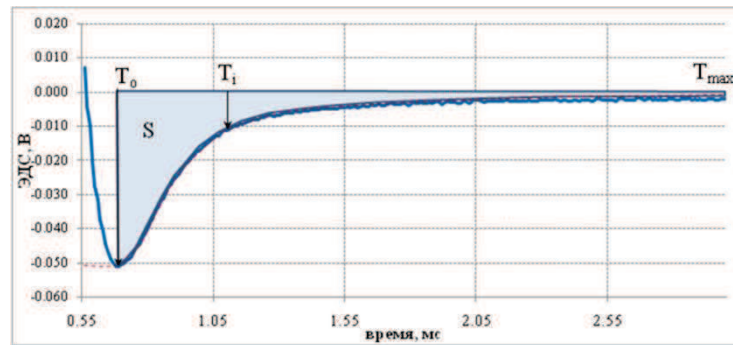


Рис. 2 Измеренный график ЭДС в поздней части процесса

Как показал В. А. Сидоров [11] ЭДС становления поля в совмещённой петле над поляризующимся полупространством равна:

$$\varepsilon = |\varepsilon_{cm}| - |\varepsilon_{ВП}| \quad (1)$$

Поскольку второе слагаемое со временем убывает медленнее, то при всех комбинациях параметров при каком-то значении t произойдет изменение знака ε на отрицательный. Расчёт поляризуемости выполняется по установленной зависимости (2).

$$\eta \approx F(\text{ЭДС}(T_0), T_0, R, J) \quad (2)$$

В практике работ в России и СНГ параметр м-фактора не применяется, хотя известны положительные результаты для вкрапленных полиметаллических месторождений [12].

$$m\text{-фактор} \approx \eta \sum_{i=1}^n U(T_i) \Delta T_i \quad (3)$$

Где ΔT_i — шаг квантования по времени, который в нашей аппаратуре АНП-3 равен 10 микросекунд. T_0 — время отрицательного минимума, секунды, R — радиус эквивалентной петли, метры, n — число точек от T_0 до T_{\max} , J — ток в генераторной петле (А).

Зависимости (2 и 3) справедливы для экспоненциального временного закона ВП, который, как показал А. П. Карасёв [7], справедлив в миллисекундном диапазоне времён. Выявлена зависимость поляризуемости от величины и времени минимума ЭДС. С ростом размеров петли поляризуемость уменьшается. Определив величину поляризуемости, рассчитывается и удельное электрическое сопротивление [11],

$$R_0 \approx \frac{4\mu R^2}{\eta^2 T_0} \quad (4)$$

Для ряда моделей поляризующихся сред выполнена оценка определения максимальной относительной погрешности нашего способа.

Максимальные относительные погрешности определения поляризуемости и м-фактора для следующих моделей. Диапазон изменения поляризуемости от 5% до 30%. Изменение размеров петли от 50 до 200 метров, глубина S плоскости и 2-го слоя в трёхслойном разрезе от 20 до 200 метров.

Таблица 1

№ п/п	Модель	Максимальная погрешность определения поляризуемости %	Максимальная погрешность определения м-фактора %
1	Однородное поляризующееся полупространство	3	2
2	Тонкий проводящий поляризующийся пласт S плоскость	6	5
3	Трёхслойный разрез	14	11

Как следует из результатов математического моделирования максимальная погрешность не превышает 14%.

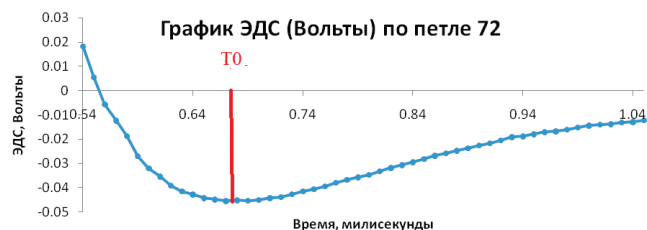


Рис. 3. График ЭДС с переходом через ноль в петле 72. Восточный Казахстан.

Исходные данные: $U(T_0)=0.047$ В, $J=10$ А, $T_0=0.0067$ секунды, $R=100$ метров.
Результат: $\eta=12,01\%$,М-фактор=0.27 миллисекунды, $R_0=1732$ Ом*м

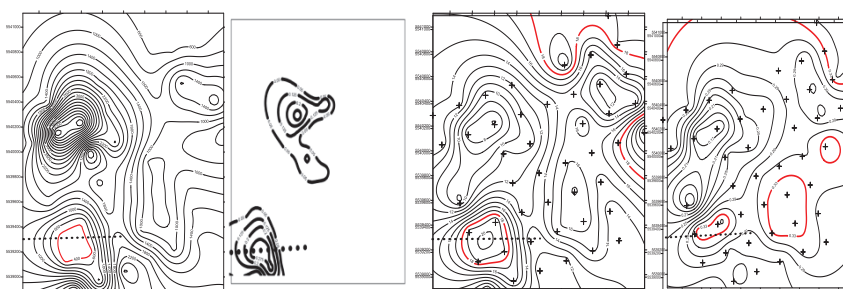


Рис. 4. План изолиний поляризуемости (а) в %, м-фактора в миллисекундах (б), R_0 Ом*м (в) , эдс (В/А) 0,7 мс (г). Восточный Казахстан.

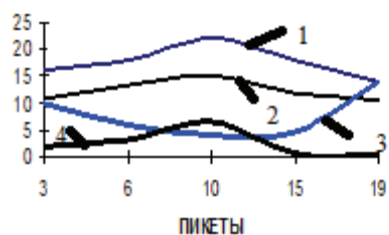


Рис. 5. Графики поляризуемости (1) в %, м-фактора в миллисекундах *40 (2), R_0 Ом*м /100 (3) , эдс (В/А) 0,7 мс*20 (4) по интерпретационному профилю.
Восточный Казахстан.

По результатам определения ВП, м-фактора, R_0 и ЭДС на полученной аномалии в юго-западной части планшета (Рис.4, 5, пикет 10) вскрыты промышленные вкрапленные полиметаллические руды. Наиболее эффективно работает ВП (Рис. 4а).

Способ корректно работает при детальном измерении поздней стадии становления поля с аппаратурой АНП-3 (Рис. 1) и может быть использован при проектировании работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1.Астраханцев Г.В. Индукционное зондирование при изучении контрастных по электропроводности сред. Свердловск: УрО АН СССР, 1988.
- 2.Байдигов С.В., Голиков Ю.В., Крылов С.А., Человечков А.И. Способ геоэлектроразведки, Бюллетень изобретений, 2012, №2.

3. Голиков Ю. В. Импульсная электроразведка методом заряда. Научное издание, Екатеринбург, Изд-во УГГГА, 2002, 273с.
4. Губатенко В.П., Тикшаев В.В. Об изменении знака электродвижущей силы индукции в методе становления электромагнитного поля. Известия АН СССР. Физика Земли, 1979, №3.
5. Журавлева Р.Б. Способ интерпретации переходных кривых МПП, осложненных влиянием поляризуемости. Электромагнитные методы при исследовании земных недр. Свердловск, 1983.
6. Каменецкий Ф.М., Светов Б. С. Низкочастотная дисперсия электропроводности и её влияние на результаты электромагнитных геофизических исследований. «Неклассическая геоэлектрика». Саратов, 1995.
7. Карасев Р.С., Сейфулин Р.С., Бумагин О.В. и др. Применение временных характеристик ранней стадии вызванной поляризации при поисках сульфидных месторождений. - М: Недра, 1973. - 129с.
8. N.O. Kozhevnikov, E.Y. Antonov . Inversion of TEM data affected by fast-decaying induced polarization: Numerical simulation experiment with homogeneous half-space / Journal of Applied Geophysics 66 (2008) 31–43
9. Яхин А.М. (RU), Яхина И. А (RU) . Патент G01V3/08, 2013.
10. Кормильцев В.В., Мезенцев А.Н. Электроразведка в поляризующихся средах. Свердловск, 1989.
11. Сидоров В.А. Импульсная индуктивная электроразведка. Недра, 1985.
12. Уэйт Дж. Р. Геоэлектромагнетизм: Пер. с англ. Ред. Пер. М.Н. Бердичевский. М.: Недра, 1987, 235с., ил. Пер. изд.: США, 1982.
13. Голиков Ю. В. Новые технологии импульсной рудной электроразведки. Тезисы докладов научно-практической конференции 19-20 апреля 2016 года. Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений благородных, цветных металлов и алмазов-состояние и перспективы. ЦНИГРИ, МОСКВА 2016

УДК 550.384.5

ПАЛЕОМАГНЕТИЗМ ОРДОВИКСКО-СИЛУРИЙСКИХ ВУЛКАНИТОВ
ЗАПАДНОГО СКЛОНА ЮЖНОГО УРАЛА

Голованова Инесса Владимировна, Данукалов Константин Николаевич
e-mail: golovanova@ufaras.ru, danukalov@mail.ru
Институт геологии УНЦ РАН, г. Уфа

Аннотация. В работе представлены новые результаты палеомагнитного изучения двух датированных объектов верхнеордовикско-раннесилурийских вулканитов Башкирского мегантиклинория. Полученные результаты дают основание надеяться, что при дальнейшем изучении палеозойских вулканитов на западном склоне Южного Урала мы получим новое ордовикско-раннесилурийское палеомагнитное определение, которое можно будет использовать для уточнения раннепалеозойской части кривой миграции полюса Балтики и для палеореконструкций.

PALEOMAGNETISM OF ORDOVICIAN-SILURIAN VOLCANIC ROCKS ON THE
WESTERN SLOPE OF THE SOUTH URALS

Inessa Golovanova, Konstantin Danukalov
e-mail: golovanova@ufaras.ru, danukalov@mail.ru
Institute of Geology, Ufa Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, Ufa

Summary. This work presents new results of paleomagnetic study of two U/Pb-dated geological objects of Late Ordovician-Silurian volcanic rocks in the Bashkir Meganticlinorium. The obtained results give reason to hope that further research of Paleozoic volcanic rocks on the western slope of the South Urals will give us a new Ordovician-Early Silurian paleomagnetic determination to be used in identifying the APWP for Baltica in the Early Paleozoic.

Применение палеомагнитного метода для изучения истории развития Урала позволяет получить независимые данные о горизонтальных движениях в регионе. Кроме того, палеомагнитные исследования на Урале могут помочь в уточнении кривой кажущейся миграции полюса Восточно-Европейской платформы. Западная часть Уральского складчатого пояса является деформированной окраиной платформы. Ранее было показано, что значительных перемещений самой западной части Южного Урала относительно платформы не было [1, 6]. Не обнаружено также локальных поворотов отдельных тектонических блоков по отношению друг к другу. Следовательно, полученный по ордовикско-силурийским породам западной части Южного Урала полюс можно экстраполировать на всю платформу.

Формирование современной структуры Урала происходило в палеозое, начиная с позднего кембрия - начала ордовика. К сожалению, для Южного Урала, да и для всей Восточно-Европейской платформы, в настоящее время имеются лишь единичные надежные палеомагнитные определения для этого времени. Для ордовика - силура Восточно-Европейской платформы (палеоконтинент Балтика) известны, в основном, немногочисленные скандинавские данные и единичные данные, полученные на Украине [7]. В интервале 432 - 458 млн. лет назад надежные фактические палеомагнитные данные для Восточно-Европейской платформы отсутствуют. Между тем, за это время происходит значительное смещение магнитного полюса, а на кривой миграции полюса для Балтики [7] показана только расчетная линия, длинный участок без фактических данных.

На Южном Урале палеомагнитными исследованиями ордовикских образований занимались Н.Ф. Данукалов с коллегами [3] и И.А. Свяжина [5]. Однако значительная часть палеомагнитных определений выполнена до 1990 года по устаревшей методике и не может

быть использована для геодинамических построений. А данные, полученные И.А. Свяжиной, не согласуются с мировыми данными по палеоконтиненту Балтика, хотя вычисленные палеошироты отличаются не очень сильно. Опыт предыдущих исследователей и наш показывает, что значительная часть палеозойских пород в регионе, особенно осадочных, перемагничена в пермское время и не сохранила первичную намагниченность. Одной из целей работы стал поиск новых геологических объектов, которые имеют надежно установленный возраст и которые могли сохранить первичную намагниченность.

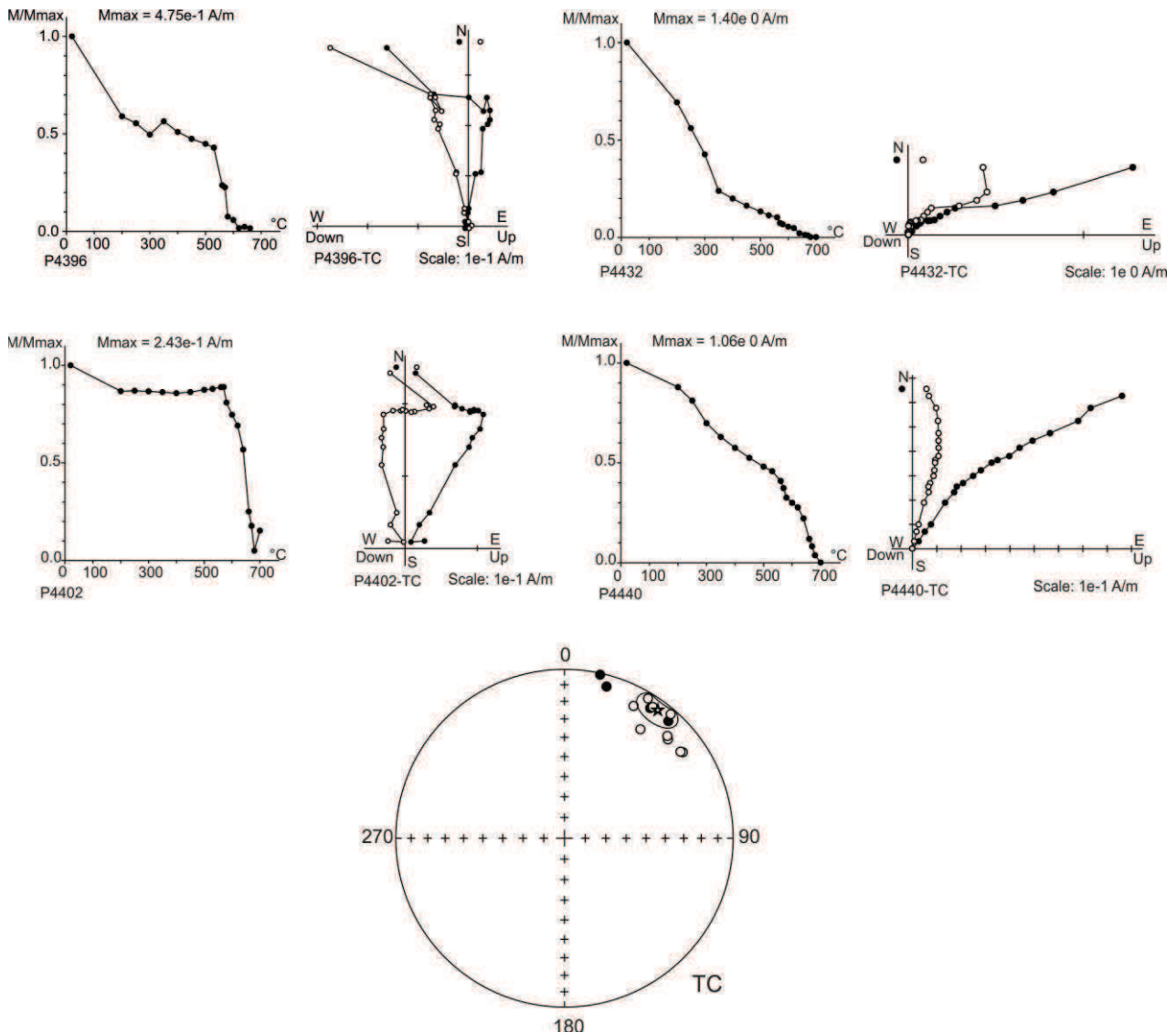


Рис. 1. Диаграммы Зийдверельда направлений намагниченности (древняя система координат), кривые терморазмагничивания отдельных образцов и стереограмма распределения высокотемпературной компоненты J_n изученных сайтов разрезов Ушат и Шмелевка. Звездочкой с овалом доверия показано общее среднее направление по сайтам.

В последние годы при изучении возраста магматических пород Башкирского мегантиклинория, которые ранее относились исключительно к докембрию, были получены изотопные палеозойские датировки U/Pb методом по цирконам [4]. Выделен позднеордовикско-силурийский магматический комплекс, все датировки для которого укладываются в узкий интервал 435-455 млн. лет (конец ордовика-лландовери). На одном из датированных объектов – на р. Ушат нами было выполнено рекогносцировочное палеомагнитное опробование. Полученные предварительные результаты [2] неплохо согласуются с расчетными данными по палеоконтиненту Балтика, приведенными в работе [7], однако требуют дальнейшего подтверждения.

В данной работе приводятся новые данные изучения ордовикско-силурийских вулканитов из двух датированных разрезов в обрамлении Тараташского массива. Разрезы сложены лавовыми потоками субщелочных базальтов, отличающихся низкой степенью вторичных изменений, залегающими в поле развития навышской подсвиты айской свиты нижнего рифея. Конкордантные датировки цирконов в магматических породах изученных разрезов укладываются в интервал 437-442 млн. лет. Для палеомагнитных исследований повторно, более детально, опробованы обнажения на р. Ушат. В итоге, на выделенных 9 потоках отобрано всего 89 образцов, объединенных в 9 сайтов. На обнажениях на р. Шмелевка из 4 потоков отобрано 36 образцов, объединенных в 4 сайта.

Для выделения компонент естественной остаточной намагниченности применялся метод температурной чистки, подразумевающий разделение вектора естественной остаточной намагниченности J_n на компоненты по их стабильности к воздействию высоких температур. Чистка проводилась в 18-20 шагов вплоть до 700°C с использованием терморазмагничивающей печи ASC Scientific TD-48, с остаточным магнитным полем в области размещения образцов не более 10 нТл. Естественная остаточная намагниченность (ЕОН) измерялась на спин-магнитометрах JR-4 и JR-6 (уровень шума 0.005 мА/м). В целом, лабораторные исследования согласуются с общепринятой в настоящее время методикой. Для определения направлений компонент намагниченности использовались линейные участки траекторий на диаграммах Зийдервельда. Затем компоненты анализировались на уровне сайтов при помощи пакета программ Р. Энкина и Ж.-П. Конье.

Таблица 1. Рассчитанные палеомагнитные направления

Сайт	n	A/Y	ССК				ДСК			
			D°	I°	k	α_{95} °	D°	I°	k	α_{95} °
р. Ушат, 55,73° с.ш., 59,83° в.д.										
1	13/5	310/57	25,0	2,6	23,2	16,7	34,9	-22,4	23,2	16,7
2	9/7	310/57	28,4	14,2	57,3	8,0	27,6	-12,6	57,3	8,0
3	13/9	310/45	45,0	19,8	17,0	12,9	33,4	8,5	17,0	12,9
4	9/7	310/45	34,5	8,1	42,8	9,4	34,0	-7,0	42,8	9,4
5	8/5	310/45	50,9	14,5	25,9	15,8	41,6	8,0	25,9	15,8
6	10/9	310/50	35,6	14,7	46,4	7,6	30,9	-4,0	46,4	7,6
7	7/6	310/50	33,1	33,8	39,6	11,5	15,5	7,5	39,6	11,5
8	9/5	310/50	25,0	31,3	51,3	10,8	12,3	1,0	51,3	10,8
9	11/8	310/50	42,2	7,1	18,9	13,3	40,6	-3,6	18,9	13,3
р. Шмелевка, 55,46° с.ш., 059,62° в.д.										
10	10/8	75/70	41,3	41,4	101,2	5,5	54,0	-14,4	101,2	5,5
11	9/9	75/70	41,5	40,3	48,2	7,5	53,3	-15,3	48,2	7,5
12	9/6	75/70	36,8	34,5	30,3	12,4	46,3	-16,3	30,3	12,4
13	8/6	75/70	34,9	34,4	34,1	11,6	45,2	-15,1	34,1	11,6
Среднее	(13)/(13)		36,4	23,0	28,1	8,0	36,1	-6,8	24,7	8,5

n - число образцов (сайтов): изучено/использовано. *A/Y* - азимут падения/угол падения слоев. *ССК*, *ДСК*, современная и древняя системы координат соответственно. *D* - склонение, *I* - наклонение, *k* - кучность, α_{95} - радиус круга доверия.

Все породы характеризуются сильным магнитным сигналом. Естественная остаточная намагниченность образцов варьирует от 64 до 9270 мА/м. На диаграммах Зийдервельда (рис. 1, табл. 1) на низкотемпературном интервале до 200-250 °С выделяется низкотемпературная компонента, которая на стереограмме группируется вокруг современного магнитного поля. В среднетемпературном интервале от 250-300 до 480-600 °С в некоторой части образцов выделяются круги перемагничивания. Высокотемпературная характеристическая компонента может выделяться и на узком интервале от 560-580 до 680-700 °С, и на широком от 250-300 °С вплоть до размагничивания. Пермское перемагничивание практически не проявлено в изученных образцах. Судя по кривым ступенчатого терморазмагничивания носителем намагниченности являются гематит и магнетит. Вычисленный палеомагнитный полюс имеет

координаты $23,9^\circ$ с.ш., $199,7^\circ$ в.д., радиус круга доверия возле полюса $A_{95}=7,1^\circ$, что неплохо согласуется с данными по палеоконтиненту Балтика для возраста 440 млн. лет [7].

Данные палеомагнитные результаты являются предварительными. К сожалению, на данный момент нет возможности провести полевые тесты. В намагниченности выявлена только одна полярность. Элементы залегания на двух изученных разрезах отличаются друг от друга, но не позволяют провести тест складки. Главным итогом работы можно считать то, что найдены геологические объекты, которые могли сохранить первичную палеомагнитную запись. В датированных ордовикско-силурийских вулканитах западного склона Южного Урала обнаружен устойчивый палеомагнитный сигнал, который может быть интерпретирован как первичный. Подтверждением этого может служить тот факт, что в разных разрезах во всех изученных сайтах получен уверенный согласованный палеомагнитный сигнал, а также близость полученного палеомагнитного полюса к расчетной кривой миграции полюса Балтики. Полученные результаты дают основание надеяться, что при дальнейшем изучении палеозойских вулканитов на западном склоне Южного Урала мы получим новое ордовикско-раннесилурийское палеомагнитное определение, которое можно будет использовать для уточнения раннепалеозойской части кривой миграции полюса Балтики и для палеореконструкций.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 0252-2014-0009.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голованова И.В., Данукалов К.Н., Кадыров А.Ф., Хидиятов М.М., Сальманова Р.Ю., Шакуров Р.К., Левашова Н.М., Баженов М.Л. Палеомагнетизм осадочных толщ и происхождение структур западного склона Южного Урала // Физика Земли. 2017. № 2. С. 148-156.
2. Голованова И.В., Данукалов К.Н., Баженов М.Л. Первые результаты палеомагнитного изучения ордовикско-силурийских вулканитов на западном склоне Южного Урала // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий: Материалы / 11-я Межрегиональная научно-практическая конференция, посвященная 65-летию Института геологии УНЦ РАН. Уфа, 17–19 мая 2016 г. – Уфа: ДизайнПресс, 2016. С. 8-11.
3. Данукалов Н.Ф., Кондручина Л.С., Черников А.П. Палеомагнетизм палеозоя Южного и Среднего Урала. Уфа: БФАН СССР. 1983. 120 с.
4. Пучков В.Н., Козлов В.И., Краснобаев А.А. Палеозойские U-Pb SHRIMP датировки магматических пород Башкирского антиклинория по цирконам. – В кн.: Геологический сборник № 9. Информ. материалы / ИГ УНЦ РАН. Уфа, «ДизайнПолиграфСервис». 2011. С. 36–43.
5. Свяжина И.А., Пучков В.Н., Иванов К.С., Петров Г.А. Палеомагнетизм ордовика Урала. Екатеринбург: УрО РАН. 2003. 136 с.
6. Levashova N.M., Bazhenov M.L., Meert J.G., Kuznetsov N.B., Golovanova I.V., Danukalov K.N., Fedorova N.M. Paleogeography of Baltica in the Ediacaran: Paleomagnetic and geochronological data from the clastic Zigan Formation, South Urals // Precambrian Research. 2013. V. 236. P. 16-30.
7. Torsvik, T.H., Van der Voo, R., Preeden, U., MacNiocaill, C., Steinberger, B., Doubrovine, P.V., van Hinsbergen, D.J.J., Domeir, M., Gaina, C., Tohver, E., Meert, J.G., McCausland, P.J.A., Cocks, R.M. Phanerozoic polar wander, palaeogeography and dynamics // Earth Science Reviews. 2012. V. 114. P. 325–368.

УДК 550.384.5

ПОЗДНЕПАЛЕОЗОЙСКОЕ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЕ НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

Голованова Инесса Владимировна, Данукалов Константин Николаевич

e-mail: golovanova@ufaras.ru, danukalov@mail.ru

Институт геологии УНЦ РАН, г. Уфа

Аннотация. В работе получены новые данные по позднепалеозойскому перемагничиванию в породах восточной части Башкирского мегантиклинория. Совместный анализ новых результатов и ранее опубликованных данных по позднепалеозойскому перемагничиванию позволяет проследить формирование складчатых структур на завершающих стадиях формирования Южного Урала.

LATE PALEOZOIC REMAGNETIZATION IN THE SOUTH URALS

Inessa Golovanova, Konstantin Danukalov

e-mail: golovanova@ufaras.ru, danukalov@mail.ru

Institute of Geology, Ufa Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, Ufa

Summary. This work presents new data on Late Paleozoic remagnetization in the rocks of the eastern Bashkir Meganticlinorium. Combined analysis of the newly obtained results and previously published data on Late Paleozoic remagnetization makes it possible to trace the formation of folded structures at the final stages of the formation of the South Urals.

Палеомагнитные данные могут помочь в изучении истории формирования орогенов, в том числе в определении характера и масштабов деформаций на завершающих стадиях. Палеомагнитные исследования на Южном Урале показали, что практически во всех изученных разрезах и палеозойских, и докембрийских отложений присутствует позднепалеозойская компонента намагниченности [5, 6, 8, 9, 12]. Известно всего несколько работ, в которых обобщаются и анализируются данные о вторичной намагниченности пород для отдельных участков [12, 3], однако систематический анализ для всей территории не проводился. Нам представляется, что более подробный анализ вторичных компонент намагниченности позволит проследить формирование складчатых структур на завершающих стадиях формирования Южного Урала. В работе представлены новые результаты палеомагнитных исследований на Южном Урале и совместный анализ новых и известных данных о вторичных позднепалеозойских компонентах намагниченности. Сделана попытка использования вторичной позднепалеозойской намагниченности для изучения времени и последовательности деформаций, имевших место в пределах пассивной континентальной окраины Восточно-Европейской платформы (палеоконтинент Балтика) и в западной части Магнитогорской зоны во время формирования Уральского орогена.

В самых общих чертах Урал является результатом коллизии докембрийского Восточно-Европейского и палеозойского Казахстанского континентов и четко распадается на две части, разделенные Главным Уральским разломом [13]. Западно-Уральская окраина Восточно-Европейского континента заложилась в позднем кембрии-раннем ордовике, оставалась пассивной вплоть до конца девона, а в карбоне и перми была деформирована при формировании Уральского складчато-надвигового пояса. Восточная часть Урала представляет собой сложный коллаж океанических, островодужных и микроконтинентальных блоков, формировавшийся начиная с позднего девона.

Были изучены разрезы верхнепротерозойских и палеозойских пород различного состава в западной части Зилаирского синклинория в широтном и верхнем меридиональном течении р. Белой. Изучались разрезы, по возможности, тектонически не нарушенные, представляющие собой полные последовательности, комплексно охарактеризованные

различными группами фауны. В разрезах Апшак и Кривая Лука (табл. 1) изучены верхнерифейские и вендские песчаники, алевролиты и аргиллиты, а также дайка диабазов. Отложения ордовика изучены в разрезах у д. Набиево, д. Кургашлы, д. Миндигулово, в районе д. Киекбаево. У д. Набиево опробованы тонкослоистые доломитистые кварцевые песчаники, у д. Кургашлы – доломитистые песчаники, в Миндигулово – доломиты и аргиллиты, в Киекбаево – доломиты и доломитизированные песчаники. Силурийские отложения исследованы в разрезах у д. Миндигулово – доломиты и аргиллиты, и у д. Киекбаево – доломиты окварцованные. Девонские отложения изучены в разрезах Кага и Миндигулово. В долине р. Белой у пос. Кага отобраны серые известняки иргизлинской свиты, кварцевые песчаники ваяншинской свиты, черные битуминозные известняки с глинистыми прослоями вязовской свиты и койвинские известняки. При этом песчаники ваяншинской свиты оказались непригодными для лабораторных исследований, т.е. не дали никакого палеомагнитного результата. В разрезе Миндигулово отобрана небольшая группа нижнедевонских образцов, представленных доломитами.

Для выделения компонент естественной остаточной намагниченности был выбран метод температурной чистки, подразумевающий разделение вектора естественной остаточной намагниченности J_n на компоненты по их стабильности к воздействию высоких температур. Чистка проводилась в 12–20 шагов вплоть до 700°C с использованием терморазмагничивающей печи ASC Scientific TD-48 с остаточным магнитным полем в области размещения образцов не более 10 нТл. J_n и ее компоненты, выделяемые при магнитной чистке, измерялись на спин-магнитометрах JR-4 и JR-6 (уровень шума 0.005 мА/м). Для части коллекции (разрезы Кага, Набиуллино, Кургашлы, Миндигулово) измерения естественной остаточной намагниченности выполнены на криогенном (SQUID) магнитометре в Лаборатории Главного геомагнитного поля и Петромагнетизма Института физики Земли РАН имени О.Ю. Шмидта. В целом, лабораторные исследования согласуются с общепринятой в настоящее время методикой.

При анализе данных размагничивания на диаграммах Зийдервельда выделялись линейные сегменты, которые использовались для расчета компонент J_n . Затем компоненты анализировались на уровне коллекций (сайтов). Анализ палеомагнитных данных проводился с помощью пакетов программ Р. Энкина и Ж.-П. Конье.

Изученные породы слабомагнитны. Естественная остаточная намагниченность отложений варьирует от 0.1 до 8 мА/м, большей частью не превышая 5 мА/м, для силурийских пород менее 1.5 мА/м. Магнитная восприимчивость меняется от 0.1 до 20×10^{-5} СИ, обычно не выше 2.5×10^{-5} . При нагреве до 200–250°C разрушается нестабильная компонента намагниченности, направления которой хаотичны. Вероятнее всего, она является суммой вязкой и так называемой лабораторной намагниченностей. В некоторых образцах при нагреве выше 250°C другие компоненты не выделяются, однако в большей части коллекции надежно выделяется среднетемпературная компонента (СТК) намагниченности в интервале от 300–350 до 510–540°C, иногда до 600°C, часто составляющая более 90% остаточной намагниченности. Во всех изученных образцах СТК имеет обратную полярность. После ее удаления намагниченность уменьшается практически до нуля, и только в единичных образцах можно подозревать присутствие еще одной компоненты в интервале температур от 450 до 600°C, но определить ее направление не удастся. Судя по результатам терморазмагничивания и петромагнитным данным из предшествующих работ [5, 9], носителем СТК во всех образцах является магнетит.

Отметим, что наши результаты не всегда совпадают с опубликованными данными предшественников. И.А. Свяжина, изучавшая палеомагнетизм отложений ордовика в районе д. Байназарово (район д. Набиево и д. Кургашлы) [8], выделяла также более высокотемпературную компоненту намагниченности после нагревов до 600 °C. С этой компонентой она связывала первичную намагниченность, образовавшуюся в ордовикское время. Однако, как уже отмечалось, в изученной нами коллекции выделить

высокотемпературную компоненту не удастся. Кроме того, результаты термомагнитного анализа не выявили присутствия гематита в исследованных нами образцах.

Таблица 1. Рассчитанные палеомагнитные направления

Сайт	Возраст	n	АП/УП	ССК				ДСК			
				D	I	k	α_{95}	D	I	k	α_{95}
Апшак (53°19' с.ш., 57°32') в.д.											
A1	R	12/5	175/25	212,5	-44,8	28,4	14,6	249,2	-62,0	22,9	16,3
A14	V	15/5	164/31	245,2	-33,9	9,7	25,9	265,2	-28,9	8,3	28,3
A29	V	13/6	140/35	244,5	-35,3	12,5	19,7	265,3	-27,9	14,4	18,2
Кривая Лука (53°24' с.ш., 57°32') в.д.											
Кл51	R	10/5	290/46	227,2	-38,3	169,1	6,1	180,8	-41,6	35,3	13,4
Кл61	дайка	9/5	287/55	239,8	-30,9	29,9	14,2	189,2	-50,5	29,9	14,2
Кл69	V	15/6	287/49	215,4	-43,6	26,4	13,3	191,9	-30,7	3,4	42,8
Кл85	V	14/7	270/50	262,2	-28,5	15,1	16,2	221,3	-70,1	15,1	16,2
Кл102	V	12/6	302/76	228,5	-34,4	14,9	17,9	178,1	-19,6	18,2	16,1
Набиево (53°16' с.ш., 57° 31' в.д.)											
P3000	O	7/5	260/38	235,4	-31,9	25,3	15,5	207,8	-60,1	29,0	14,4
P3007	O	7/6	263/21	229,7	-42,4	26,4	13,3	219,2	-54,7	35,2	11,4
P3015	O	7/5	63/24	221,5	-54,5	16,8	19,2	229,6	-28,4	20,9	17,1
P3022	O	7/5	71/31	234,9	-46,8	50,6	10,9	239,3	-24,0	28,3	14,6
Кургашлы (53°17' с.ш., 57° 32' в.д.)											
P3034	O	8/8	279/55	222,1	-16,3	17,1	13,9	194,1	-36,2	16,2	14,3
P3042	O	6/5	82/20	250,5	-45,3	23,9	16,0	255,7	-25,5	28,7	14,5
Киекбаево (53°03' с.ш., 57° 16' в.д.)											
P1454	O	18/13	126/11	219,8	-42,7	38	6,8	229,6	-41,1	36	7,0
P1472	S	9/5	74/25	235,7	-21,9	59,7	10,0	237,1	1,9	82,0	8,5
д. Миндигулово (53°04' с.ш., 57° 21' в.д.)											
P3049	O	15/8	137/22	257,5	-25,9	32,2	9,9	264,4	-16,7	34,6	9,5
P3064	S	11/6	131/23	247,9	-28,8	83,7	7,4	257,4	-20,7	83,7	7,4
P3075	S	13/11	112/29	249,4	-36,0	38,5	7,5	258,1	-13,0	30,3	8,4
P3088	D	8/5	109/42	241,0	-36,0	114,8	7,2	253,0	-7,2	36,8	12,8
Кага (53°31' с.ш., 57°42' в.д.)											
K1	D	7/7	100/38	223,1	-46,1	100,0	6,1	243,1	-21,2	64,6	7,6
K8	D	8/7	109/28	226,0	-39,8	36,1	10,2	240,7	-23,2	40,2	9,6
K30	D	6/6	117/38	231,7	-49,5	85,0	7,3	256,6	-26,0	81,2	7,5
K37	D	9/5	112/43	229,1	-43,1	62,7	9,7	249,2	-15,4	58,0	10,1
K45	D	8/8	116/52	226,5	-50,8	85,0	6,0	257,6	-18,4	47,3	8,1
Среднее		25		231,6	-38,6	33,8	5,1	234,1	-33,8	7,1	11,7
		4,3%		231,9	-38,6	34,0	5,1				

n - число образцов (сайтов): изучено/использовано. АП/УП - азимут падения/угол падения слоев. ССК, ДСК, современная и древняя системы координат соответственно. D - склонение, I - наклонение, k - кучность, α_{95} - радиус круга доверия.

Исследователи, ранее работавшие в районе Каги, не пришли к единому мнению. В. Бахтадзе [11], изучавший здесь кроме отложений девона также и ордовикские и силурийские, считает, что палеомагнитные направления, выделенные в результате нагревов или воздействия на образцы переменного магнитного поля в разновозрастных породах, соответствуют геомагнитному полю конца палеозоя. В.С. Буртман и др. [1] получили другое направление, значительно отличающееся по палеонаклонению. Опираясь на данные тестирования, авторы сделали вывод о первичности выделенной ими высокотемпературной компоненты. Г.А. Петров и И.А. Свяжина предполагают доскладчатую природу средне и высокотемпературной компонент J_n [7].

По нашим данным и для палеозойских, и для неопротерозойских пород средние по сайтам направления СТК сгруппированы лучше в географических координатах, чем в стратиграфических. При ступенчатом пропорциональном распрямлении складок максимальное значение кучности (=минимум дисперсии) данных достигается при

распрямлении 4,3 %. Разница между максимальной кучностью и кучностью в современной системе координат не является значимой. Это свидетельствует о том, что соответствующая компонента намагниченности послескладчатая.

Сравнение с кривой кажущейся миграции палеомагнитного полюса Балтики [14] показало, что средние направления СТК лучше всего согласуются с референтным результатом с возрастом 270-290 млн лет. Такой возраст СТК согласуется и с повсеместной обратной полярностью этой компоненты, что указывает на ее возникновение во второй половине суперхрона Киама обратной полярности, и с геологическими данными о кунгурском (272–279 млн лет) возрасте завершающей стадии деформаций на Урале [13].

В изученных породах неопротерозойско-нижнепалеозойского возраста первичная компонента намагниченности не сохранилась.

Процесс перемагничивания затронул практически весь Южный Урал. Анализ полученных нами ранее результатов и опубликованных данных других авторов показывает, что почти во всех изученных палеозойских разрезах породы перемагничены в позднем палеозое. Такая же компонента намагниченности выделяется и в верхнерифейских и вендских породах. В части разрезов перемагничивание доскладчатое, в некоторых – послескладчатое. Таким образом, фиксируемое в палеомагнитной записи позднепалеозойское перемагничивание имеет региональный характер и, вероятно, отражает коллизионное событие заключительного этапа эволюции Уральского палеоокеана.

Анализ имеющихся данных по позднепалеозойскому перемагничиванию позволяет в какой-то степени проследить формирование складчатых структур Уральской складчатой области на завершающих стадиях закрытия Уральского палеоокеана.

Для западной части Западно-Уральской мегазоны на Южном Урале по результатам исследования большого количества разрезов пород разного возраста сделан вывод, что среднетемпературная компонента намагниченности – доскладчатая или возникла на начальных этапах деформации в кунгурское время (279–272 млн. лет назад) [3, 12]. В восточной же части, в меридиональном течении р. Белая выделенная компонента намагниченности – послескладчатая. Об этом свидетельствуют результаты данной работы, а также данные приведенные в работе (2). Нам представляется, что анализ вторичных компонент намагниченности позволяет проследить формирование складчатых структур на завершающих стадиях формирования западного сегмента Южного Урала, как деформированной окраины Восточно-Европейской платформы. Коллизионные процессы, происходившие на Южном Урале, начиная с позднего девона до поздней перми, несомненно, имели отголоски и в западных (в современных координатах) структурах. В пределах пассивной окраины Балтики вследствие коллизии образовывался латеральный ряд складчато-надвиговых структур, формирование которых начиналось от Главного Уральского разлома и шло на запад, с возможным постепенным затуханием этого процесса в сторону Предуральского краевого прогиба. Полученные в данной работе палеомагнитные результаты подтверждают эти представления.

В Магнитогорской зоне в большей части изученных сайтов выделяется среднетемпературная компонента намагниченности, соответствующая позднепалеозойскому перемагничиванию. В западной части Магнитогорской зоны в породах девонского возраста эта компонента послескладчатая [4]. Этот результат позволяет предположить, что деформации здесь произошли задолго до заключительной стадии развития Урала, скорее всего, в конце девона – начале карбона, что, в целом, совпадает с представлениями геологов о времени деформаций в этой части Урала. Палеомагнитные данные по породам нижнекаменноугольного возраста из Магнитогорско-Богдановского грабена свидетельствуют о том, что эта позднепалеозойская намагниченность возникла или в процессе деформации, или незадолго до складкообразования и на начальных этапах деформаций [10]. Таким образом, можно предположить, что складкообразование на изучаемой территории центральной части Магнитогорской зоны происходило на заключительной стадии развития Урала, в средней перми, в кунгурское время.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буртман В.С. Гурарий Г.З., Дворова А.З. и др. Уральский палеоокеан в девонское время (по палеомагнитным данным) // Геотектоника. 2000. № 5. С. 61-70.
2. Виноградов Е. В., Палеомагнетизм ордовикско-силурийских отложений Западно-Зилаирской зоны Южного Урала / Материалы международной школы-семинара «Проблемы палеомагнетизма и магнетизма горных пород» /ФГБУН Институт Физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Санкт-Петербургский государственный университет. – Ярославль: Филигрань, 2016. – 196с.
3. Голованова И.В., Данукалов К.Н., Кадыров А.Ф., Хидиятов М.М., Сальманова Р.Ю., Шакуров Р.К., Левашова Н.М., Баженов М.Л. Палеомагнетизм осадочных толщ и происхождение структур западного склона Южного Урала // Физика Земли. 2017. № 2. С. 148-156.
4. Голованова И.В., Данукалов К.Н., Косарев А.М., Хидиятов М.М., Баженов М.Л. Палеомагнетизм девона Магнитогорской зоны Южного Урала. Предварительные результаты / Палеомагнетизм и магнетизм горных пород: Материалы международной школы-семинара «Проблемы палеомагнетизма и магнетизма горных пород» /ФГБУН Институт Физики Земли им.О.Ю.Шмидта РАН, Санкт-Петербургский государственный университет. – Ярославль: Филигрань, 2016. – С. 29-35.
5. Данукалов Н.Ф., Кондручина Л.С., Черников А.П. Палеомагнетизм палеозоя Южного и Среднего Урала. Уфа: БФАН СССР. 1983. 120 с.
6. Палеомагнитология / А.Н. Храмов [и др.]. Л.: Недра, 1982. 312 с.
7. Петров Г.А., Свяжина И.А. Корреляция ордовикско-девонских событий на Уральской и Скандинавской окраинах Балтики: геологические и палеомагнитные данные // Литосфера. 2006. № 4. С. 23-39.
8. Свяжина И.А., Пучков В.Н., Иванов К.С., Петров Г.А. Палеомагнетизм ордовика Урала. Екатеринбург: УрО РАН. 2003. 136 с.
9. Стратотип рифея. Стратиграфия. Геохронология Ред. Келлер Б.М. – М.: Наука, 1983. 183 с.
10. Хидиятов М.М., Голованова И.В., Данукалов К.Н., Кадыров А.Ф., Левашова Н.М., Баженов М.Л. Палеомагнетизм нижнекаменноугольных вулканогенных и осадочных толщ Магнитогорско-Богдановского грабена на Южном Урале. Предварительные результаты / Палеомагнетизм и магнетизм горных пород: теория, практика, эксперимент / Геофизическая обсерватория «Борок» – филиал Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН – Ярославль: Филигрань, 2015. С. 229-234.
11. Bachtadse V., Tait J., Soffel H. et al. Paleomagnetism and plate kinematics of the South Urals // Europrobe workshop on Uralides/ Programm and Abstracts. M., 1998. P.23.
12. Levashova N.M., Bazhenov M.L., Meert J.G., Kuznetsov N.B., Golovanova I.V., Danukalov K.N., Fedorova N.M. Paleogeography of Baltica in the Ediacaran: Paleomagnetic and geochronological data from the clastic Zigan Formation, South Urals // Precambrian Research. 2013. V. 236. P. 16-30.
13. Puchkov V.N. The Uralides and Timanides: their structural relationship and position in the geologic history of the Ural-Mongolian fold belt // Russian Geology and Geophysics. 2003. V. 44(1–2). P. 28–39.
14. Torsvik, T.H., Van der Voo, R., Preeden, U., MacNiocaill, C., Steinberger, B., Doubrovine, P.V., van Hinsbergen, D.J.J., Domeir, M., Gaina, C., Tohver, E., Meert, J.G., McCausland, P.J.A., Cocks, R.M. Phanerozoic polar wander, palaeogeography and dynamics // Earth Science Reviews. 2012. V. 114. P. 325–368.

УДК 550.361+550.83 (5.012)

ТЕПЛОВОЕ ПОЛЕ ОХОТОМОРСКОГО РЕГИОНА*Горнов Павел Юрьевич**gornov@itig.as.khb.ru**Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, Россия, Хабаровск*

Аннотация. Рассмотрена тектоническая природа Охотоморской плиты и сопредельных территорий. Обобщён и проанализирован существующий геотермический материал. Построена детальная карта распределения теплового потока. Выявлены основные закономерности распределения теплового потока по тектоно–структурным элементам региона.

HEAT FLOW OF THE OKHOTSK REGION*P. Yu. Gornov**E-mail: gornov@itig.as.khb.ru**Institute of Tectonics and Geophysics, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia*

Summary. The paper considers the tectonic origin of the Okhotsk plate and adjacent areas. The available geothermal data are generalized and analyzed. A detailed map of heat flow distribution is constructed. The main regularities in the heat flow distribution are revealed from tectono-structural elements of the region

Центральное место в Охотоморском регионе занимает Охотоморская (Охотская) буферная литосферная плита второго порядка, занимающая промежуточное положение между Евразийской, и Тихоокеанской плитами первого порядка, границы плиты [1.4.6] вписываются в контуры Охотского моря.

Внешние границы Охотоморской плиты характеризуются разными тектоническими обстановками. С востока и запада плита ограничена правосторонними сдвигами [6] на севере и северо-западе к границам плиты приурочены рифтогенные структуры, а на востоке граница плиты проходит по Курило–Камчатской островной дуге. Юго-восточная граница плиты характеризуется субдукцией Тихоокеанской плиты, а западная – субдукцией Охотоморской плиты под континент.

В кайнозойскую Охотоморская плита подверглась значительной тектонической и магматической переработке, в которой, по различным представлениям, главная роль отводилась взаимосвязанным рифтогенным и магматическим процессам. На протяжении 40 млн. лет в литосфере Охотоморского региона чередовались периоды сжатия и растяжения. Сжатия приводили к образованию островных дуг, подводных поднятий, тектонических покровов, растяжения – к образованию впадин. В нижней литосфере обнаружены признаки двух зон растяжения, западная – является продолжением рифтовой зоны Танлу, а восточная – южным продолжением Охотско–Анадырской рифтовой системы, выраженной на поверхности Земли цепью кайнозойских впадин (ТИНРО, Шелихова, Пенжинская, Марковская, Анадырская). Новейшими зонами растяжения являются Татарский и Южно-Охотский рифты. Структурами сжатия (утолщения) литосферы являются островодужные системы: Хоккайдо–Сахалинская и Курильско–Камчатская [5].

К настоящему времени в Охотоморском регионе выполнены новые измерения теплового потока, появились новые геоинформационные технологии, новые возможности для построения геотермических моделей. В работе обобщён и проанализирован существующий геотермический материал, построена детальная карта распределения

теплового потока. Выявлены основные закономерности распределения теплового потока по тектоно–структурным элементам региона Рис. 1

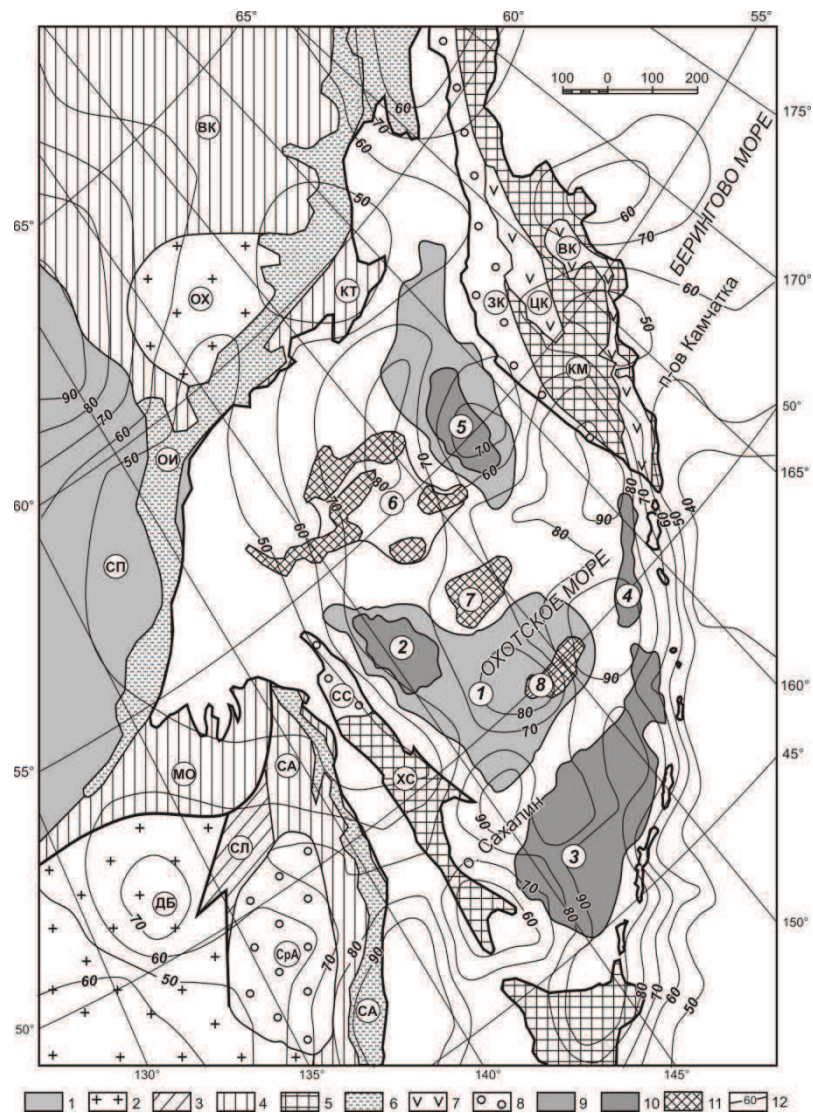


Рис. 1. Тектоно–морфологическая схема [1,4,6] и тепловой поток Охотского моря и сопредельных территорий [7].

Тектонические элементы сопредельных территорий Охотского моря (буквы в кружках): 1 – Сибирская платформа (СП); 2 – докембрийские блоки в составе орогенных поясов: Охотский (ОХ), Дзямусы-Буреинский (ДБ); 3-5 – орогенные пояса: 3 – герцинский-Сулукский (СЛ); 4 – киммерийские: Монголо-Охотский (МО), Верхояно-Колымский (ВК), Колымо-Танюровский (КТ), Сихотэ-Алинский СА); 5 – позднекиммерийские, альпийские: Камчатский (КМ), Хоккайдо-Сахалинский (ХС); 6-7 – вулканогенные пояса: 6 – мезозойские: Охото-Чукотский (ОЧ), Сихотэ-Алинский (СА); 7 – позднемезозойские, кайнозойские Центрально-Камчатский (ЦК), Восточно-Камчатский (ВК); 8 – кайнозойские впадины: Средне-Амурская (СРА), Северо-Сахалинская СС, Западно-Камчатская; 9-10 – глубоководные впадины, прогибы; 11 – поднятия; 12 – изолинии теплового потока (mW/m^2). Морфоструктуры дна Охотского моря (цифры в кружках). 1 – Центрально-Охотский прогиб; 2 – глубоководная впадина Дерюгина; 3 – Южно-Охотская глубоководная впадина; 4 – Голыгинский прогиб; 5 – глубоководная впадина Тинро; 6 – Центрально-Охотское поднятие; 7 – поднятие института Океанологии; 8 – поднятие Академии Наук.

Геотермические исследования в Охотоморском регионе начали проводиться с конца 60 годов 20 века учеными России, Японии. Измерения теплового потока в регионе

выполнены неравномерно, наиболее детальные исследования проведены в центральной и южной части Охотского моря, несмотря на это, их количество позволяют надёжно характеризовать тепловое поле, практически всех, структурно формационных зон региона.

Детальный анализ распределения теплового потока указывает на переработку фундамента в мелу, а в некоторых случаях в палеогене, неогене. Выделены закономерности трёх порядков: уменьшение теплового потока с увеличением возраста тектонических структур; изменение теплового потока внутри основных тектонических структур, его рост над поднятиями и зонами глубинных разломов; возникновение локальных аномалий в зонах конвективного теплопереноса [2]. Остановимся подробнее на основных особенностях распределения теплового потока в регионе.

В Охотском море и сопредельных территориях выполнено порядка 300 определений теплового потока. Средние значения теплового потока в центральной и южной частях моря равно 85 мВт/м^2 . На северо-востоке шельфа Охотского моря имеется два определения теплового потока – участок Хмитиевский и участок Магаданский -1. Оценочные величины теплового потока составляют в них 64 и 84 мВт/м^2 .

Высокие значения теплового потока зарегистрированы в системе прогибов по периферии Охотского моря. Так среднее значение теплового потока во впадине Дерюгина составляет 87 мВт/м^2 , во впадине ТИНРО превышает 100 мВт/м^2 , в прогибах Северном, Западно–Камчатском, Голыгинском, Восточно–Сахалинском и др. изменяется от 60 до 80 мВт/м^2 . В Южно–Охотской впадине средние значения теплового потока составляют 90 мВт/м^2 . Одной из особенностей распределения теплового потока Охотоморского региона является высокие значения его над положительными структурными формами, к которым приурочены разломные зоны северо-западного направления. Тепловой поток Пограничной системы поднятий, разделяющий Восточно–Сахалинский и Дерюгинский прогиб составляет 110 мВт/м^2 , несколько ниже значения теплового потока имеют поднятия Института Океанологии и Академии наук СССР 95 мВт/м^2 , в разделяющих их прогибах Макарова и Центрально–Охотском тепловой поток равен 60 мВт/м^2 , в системе Центрально–Охотского поднятия составляет $56\text{--}70 \text{ мВт/м}^2$, но там же зарегистрированы и значения 110 мВт/м^2 .

В южной части Татарского пролива тепловой поток изменяется от 80 до 120 мВт/м^2 , что в первую очередь связано с рифтогенным характером этой тектонической структуры, большой мощностью осадков (более 7 км), их теплоизолирующим эффектом, утонением земной коры и, по всей вероятности, ярко выраженным диапиризмом магматических расплавов верхней мантии.

На фоне высоких значений теплового потока Охотского моря выделяются остров Сахалин и его Восточно–Сахалинский шельф с низкими значениями теплового потока в пределах $42\text{--}58 \text{ мВт/м}^2$, хотя и с высоким значением геотемпературного градиента – $32\text{--}36 \text{ К/км}$, зарегистрированного в десятках скважин Лунской, Венинской, Одоптинской, Колендинской и др. площадей.

Обрамляет Охотское море разновозрастные вулканогенные структуры. На юго–западе и северо–западе это Восточно–Сихотэ–Алинский и Охото–Чукотский вулканические пояса, максимальная тектономагматическая активность которых приходится, главным образом, на миоцен (10–20 млн лет), а в плиоцене–плейстоцене, второй этап тектономагматической активизации, происходит завершение формирования вулканических поясов Камчатки, задуговых бассейнов и Курильской островной дуги. Тепловое поле рассматриваемых вулканических поясов мало изучено, включая и территорию Камчатки. На повышенную интенсивность теплового режима вулканических поясов указывают многочисленные проявления гидротермальной активности, наличие как “спящих”, так и действующих вулканов (Камчатка, Курильские острова). Все эти структуры обладают повышенными значениями измеренного теплового потока от 60 до 110 мВт/м^2 . Тепловой поток Курило–Камчатского глубоководного желоба, хребта Витязь изменяется от 20 до 60 мВт/м^2 . Возможно, это связано с субдукцией Тихоокеанской плиты под Евроазиатскую плиту и экранизацией ею мантийной составляющей теплового потока, а также циркуляцией

термальных вод внутри земной коры морского дна. Есть и другие модели низкого теплового потока в зоне желобов морского дна. Низкий тепловой поток в узкой полосе центрального Хоккайдо–о. Сахалин, возможно, связан с зарождением высокотемпературного очага в мантии, возникновением конвективного теплопереноса с малым адиабатическим градиентом, отчасти, поглощением тепла вследствие метаморфизма и гранитизации, а также, в меньшей мере, уменьшением теплового потока под влиянием рефракции, осадконакоплением, наличием надвигов.

Тепловой поток, измеренный на поверхности Земли, можно представить как сумму двух составляющих: первая определяется теплогенерацией горных пород земной коры, радиогенный тепловой поток, вторая – тепловым потоком, поступающим из более глубоких слоев Земли и имеющим другую физическую природу – мантийный тепловой поток.

$$q = q_p + q_m$$

где q – полный тепловой поток, q_p – радиогенный (коровый) тепловой поток, q_m – мантийный тепловой поток.

Вклад радиогенного тепла земной коры в полный тепловой поток оценивается разными исследователями по-разному – от 20 – 40% до 80 – 90%. Сравнительный анализ теплового баланса литосферы зон сочленения Центрально–Азиатского и Тихоокеанского складчатых поясов [3], позволил установить, что соотношение коровой (радиогенной) и мантийной составляющих теплового потока существенно меняются от структуры к структуре и зависит от целого ряда факторов: мощности земной коры, типа ее геотермического режима, количества генерируемого радиогенного тепла, интенсивности и объемов притока глубинной тепловой энергии из подкоровых зон и т. д.

По имеющимся значениям содержания радиоактивных элементов в горных породах Охотоморского региона была проведена оценка радиогенной составляющей теплового потока, что позволило определить и мантийную составляющую теплового потока основных тектоно. структурных элементов региона. Для глубоководных впадин и прогибах мантийный тепловой поток составляет 70–80 %, для остальной части Охотского моря – 60-70%, тогда как для областей континентального обрамления мантийная составляющая теплового потока составляет 20–40%.

Выводы. Тепловой поток Охотоморского региона носит разноплановый характер, изменяясь от 20 до 140 мВт/м² и определяется, в первую очередь, циклами тектономагматической активизации, геотермическим режимом тектонических структур, наличием глубинных разломов, раздробленностью фундамента Охотской плиты. В пунктах, приуроченных к современным гидротермальным системам, магматическим камерам геотермический режим резко не стационарен. Тепловой поток таких структур превышает фоновый в десятки раз и достигает величин 200–1000 мВт/м². Мантийная составляющая теплового потока глубоководных впадин составляет 60–80% от общей величины, тогда как для областей континентального обрамления мантийный тепловой поток не превышает 30–40%. Локальные аномалии теплового потока, температур в, основном, обусловлены нерегулярностью форм рельефа, контрастной теплопроводностью нижних слоёв осадочного чехла, относительно вмещающей толщи кристаллического фундамента, наличием источников дополнительного тепла. В этом случае амплитуда теплового потока в два–три раза превышает среднее для области значения, а источники этих аномалий располагаются на глубинах 10–20 км или менее. Температуры в источниках дополнительного тепла близки к температурам вмещающих пород. В целом тепловой режим Охотоморской плиты имеет стационарный характер, за исключением районов гидротермальной и вулканической деятельности и, может быть, с высокой степенью достоверностью, описан стационарным уравнением теплопроводности.

Исследования выполнены в рамках государственного задания Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданов Н.А., Добрецов Н.Л. Охотское океаническое вулканическое плато // Геология и геофизика, 2002, т. 43, № 2, с. 101–114.
2. Веселов О.В. Структура теплового потока Охотоморского региона // Строение земной коры и перспективы нефтегазонасыщенности в регионах Северо–Западной окраины Тихого океана. Южно–Сахалинск, 2000, т. 1, с. 107–129.
3. Горнов П.Ю., Горошко М.В., Малышев Ю.Ф., Подгорный В.Я. Геотермические разрезы земной коры области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов и смежных платформ // Геология и геофизика. 2009, т. 50, № 5, с. 630-647.
4. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натапов Л.М. Тектоника литосферных плит территории СССР. М., Недра, 1990. Кн. 2. 334 с.
5. Петрищевский А.М., Злобин Т.К. Плотностная неоднородность тектоносферы Охотоморского региона // Ученые записки Сахалинского государственного университета. Сборник научных статей, вып. 4. Южно-Сахалинск, изд-во СахГУ. 2004, с. 12–20.
6. Тектоническая карта Охотоморского региона м-ба 1 : 2 500 000 (на 2-х листах) и объяснительная записка к ней // Под ред. Н.А. Богданова, В.Е. Хаина. М. ПКО “Картография”, 2000, 193 с.
7. Global heat flow data base (IHFC) –<http://www.heatflow.und.edu>

УДК 550.832

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЛИЧИЯ ЭПИГЕННОГО ПИРИТА КОНДУКТИВНЫМИ
МЕТОДАМИ

Горшков Виталий Юрьевич¹, Маликов Александр Владимирович²

¹ e-mail: vitalaa@yandex.ru

² e-mail: alex.mal.1986@mail.ru

^{1,2} Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. Описан химический состав земной коры. Перечислены химические процессы над породами с повышенным содержанием серы, приводящие к появлению эпигенного пирита. Приведён пример исследования приповерхностного слоя земной коры над колчеданным месторождением методом кондуктивной электроразведки.

DETECTION OF EPIGENE PYRITE PRESENCE BY CONDUCTIVE METHODS

Gorshkov Vitaliy Yu.¹, Malikov Alexander V.²

¹ e-mail: vitalaa@yandex.ru

² e-mail: alex.mal.1986@mail.ru

^{1,2} Institute of geophysics Ural Branch of Russian Academy of sciences, Ekaterinburg, Russia

Summary. Described the chemical composition of the earth's crust. Listed chemical processes above rocks with a high content of sulfur, leading to the emergence of epigene pyrite. Given an example of research of near-surface layer of the crust above the massive sulfide deposit by conductive method of electrical prospecting.

Введение. Содержание железа в земной коре достигает 5,1%. Оно занимает четвертое место после кислорода (49,4%), кремния (28,6%) и алюминия (8,32%).

Железо присутствует почти во всех горных породах и составляет в кислых породах 2-3% (граниты), в основных породах от 7-8 до 12-14% (базальт, габбро, диабаз и др.) и в ультраосновных породах 15-16% (перидотиты и др.). В гидросфере содержание Fe достигает $5 \cdot 10^{-6}$ мг/л. Железо в земной коре находится в самородном состоянии, в составе хромитовых, ильменитовых, магнетитовых, гематитовых окисных руд и в составе многих первичных и вторичных минералов. [1]

Над месторождениями углеводородов (УВ) и различных руд, содержащих повышенное содержание серы (колчеданы), наблюдается явление *Сульфидизация*. Происходит оно как в терригенных, так и в карбонатных породах.

На участках с замедленным водообменом в породах, испытывающих воздействие УВ, могут протекать процессы биохимического окисления УВ кислородом неорганических соединений, преимущественно сульфатов. В этих процессах свободный кислород, а также кислород сульфатов, нитратов, ванадатов, гидроокислов железа и других соединений быстро расходуется на окисление органических веществ пород и вод. Широко развитая при этом сульфат-редукция обуславливает появление значительного количества H_2S . Известно несколько видов сульфат-редуцирующих бактерий. Они присутствуют всегда там, где органическое вещество (ОВ) разлагается в присутствии сульфатов. Образующийся при сульфат-редукции сероводород как сильный восстановитель создает так называемый сероводородный барьер, в условиях которого происходит осаждение ряда металлов в форме нерастворимых сульфидов (преимущественно железа, меди, реже цинка, ртути и др.). В этих же условиях осаждается четырехвалентный уран. Поэтому в ассоциации с пиритом могут присутствовать не только сфалерит, халькопирит, галенит, но и сульфиды урана.

Установлено, что сульфидные минеральные новообразования приурочены в основном к трещинам и порам непосредственно в зоне развития нефтеносных и вмещающих их непродуктивных отложений (84,4 % от общего числа случаев) и лишь в 5,7 % случаев – к

площадям, примыкающим к нефтегазоносным месторождениям. В ассоциации с вторичным пиритом встречаются эпигенетический кальцит, реже - доломит, опал и другие минералы. Содержание пирита в пределах нефтегазоносных площадей Урало-Поволжья, Тимано-Печорской области, Кубани, Предкарпатья, Западной Сибири изменяется в широких пределах – от сотых долей до процента, причем над залежами (особенно в зоне ВНК) его всегда больше, чем за контуром нефтеносности. Содержание пирита на некоторых месторождениях в покрывающей толще пород в пределах контура залежи достигает 10-20, а в отдельных случаях 30%. [2]

Эпигенный пирит, составляя мелкодисперсные проводящие включения в слабопроводящей среде, проявляется аномалиями вызванной поляризации, что является поисковым признаком залежей нефти и газа для дифференциально-нормированного метода электроразведки (ДНМЭ) и метода вызванной поляризации (ВП) [3]. Для выполнения исследований этими методами нужна очень точная, чувствительная, и потому дорогостоящая аппаратура. Однако отследить аномалии вызванной поляризации можно не только этим способом. Коллектив Института Геофизики УрО РАН провёл исследования методами симметричного электропрофилирования (СЭП) и дипольного индуктивного электропрофилирования (ДИП) для изучения возможности поиска подобных аномалий этими методами. Аппаратура для этих методов стоит существенно ниже, и методика исследований существенно проще, чем в методе ВП. В данной работе представлены результаты измерений методом СЭП на двух частотах при одном варианте разноса.

Объект исследования. Для проведения опытных работ было выбрано одно из рудных месторождений Среднего Урала. Это колчеданное месторождение относится к уральскому типу, оно имеет Cu-Zn состав и залегает среди вулканитов риолит-базальтовой формации, распространенной в пределах палеовулканических поясов. [4]

Профиль исследования проходил через эпицентр месторождения, пикеты 4-10 находились над рудным телом.

Методика работ. Для электроразведки методом СЭП использовалась цифровая электрометрическая станция ЭРА-МАХ (НПП «ЭРА», г. Санкт-Петербург). Измерения проводились установкой Веннера с расстоянием между электродами $a=5$ метров. Точка записи относилась к приёмному электроду М. Глубина исследования принималась равной трети длины питающей линии: $h_{эф}=a=5$ метров [5]. Рабочие частоты составляли 4,88 и 625 Гц, заземление генераторной и приемной линии осуществлялось с помощью стальных электродов.

По измеренным данным рассчитывалось кажущееся удельное электрическое сопротивление (УЭС) по формуле $\rho_k = k \frac{\Delta U}{I}$, где:

k – коэффициент установки, для использованной установки Веннера с разносом $a=5$ метров $k = \pi \frac{AB^2 - MN^2}{4MN} = 10\pi \approx 31,4$;

ΔU – измеренная на приёмной линии разность потенциалов;

I – сила тока в питающей линии.

Также был рассчитан коэффициент частотной дисперсии ($K_{чд}$) по формуле

$$K_{чд} = \frac{\rho_{нч} - \rho_{вч}}{\rho_{нч} \cdot \ln(f_{вч} / f_{нч})}, \text{ где}$$

$\rho_{нч}$ – эффективные УЭС на низкой частоте,

$\rho_{вч}$ – эффективные УЭС на высокой частоте,

$f_{вч}, f_{нч}$ – значения рабочих частот.

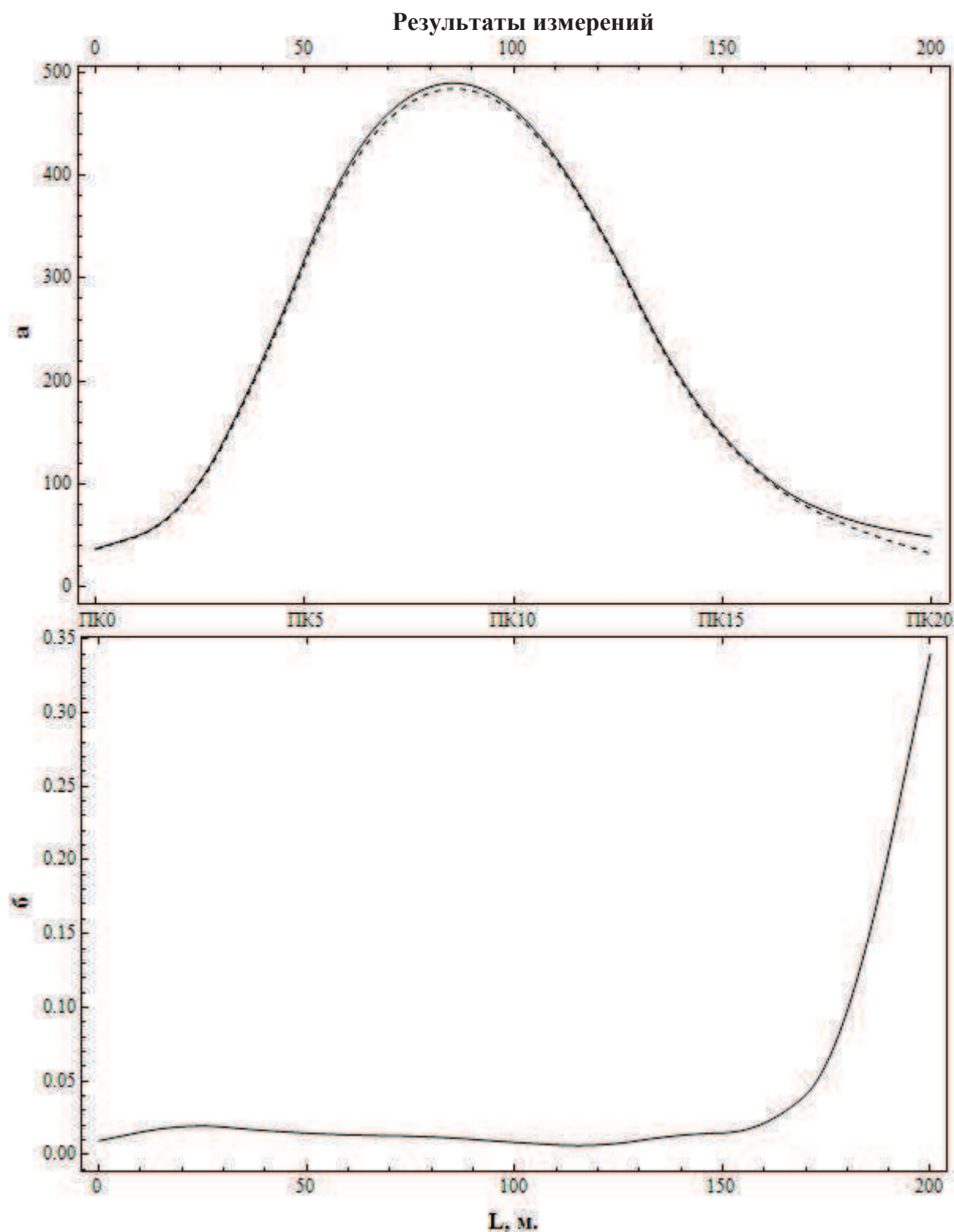


Рис. 1. Результаты измерений методом СЭП: а – кажущиеся сопротивления ρ_k , Ом*м, сплошная линия – значения при частоте 4,88 Гц, прерывистая – значения при частоте 625 Гц; б – коэффициент частотной дисперсии $K_{чд}$, отн. ед.

Заметно существенное повышение значений кажущегося электросопротивления ближе к эпицентру месторождения. На большей части профиля величина ρ_k для разных частот почти одинакова, $K_{чд}$ меньше 0,03. Увеличение $K_{чд}$, как и различия в величинах ρ_k , наблюдается лишь ближе к концу профиля, хотя в абсолютных величинах оно незначительное. Скорее всего, это не связано с месторождением, а вызвано увлажнением

почвы водой из реки, что протекает рядом, либо другими причинами. Косвенным подтверждением повышенной увлажнённости почвы можно считать изменение флоры на более влаголюбивую по сравнению с той, что растёт на основной части профиля.

По результатам исследования на данных частотах при данной установке не было выявлено аномалий коэффициента частотной дисперсии, было обнаружено лишь общее увеличение электросопротивления верхней части разреза земной коры. Исследования этого же объекта методами индуктивной электроразведки дали более интересные результаты, но они будут представлены в другой работе. В дальнейшем планируется проверить наличие эффекта при других расположениях электродов и на других частотах.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований УрО РАН, проекты №15–2–5–31 и №15–11–5–13.

Авторы выражают благодарность сотрудникам Института геофизики УрО РАН Давыдову В.А., Байдикову С.В. и Арзамасцеву Е.В. за организацию и проведение полевых работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зонн С. В. Железо в почвах. - М: Наука, 1982, - 207 с.
2. Теоретические основы литогеохимических методов [Электронный ресурс]// URL: http://life-prog.ru/1_19571_teoreticheskie-osnovi-litogeoхимических-metodov.html (дата обращения: 22.08.2017)
3. Кудрявцева Е. О. Моделирование процессов образования зон повышенной поляризуемости над нефтегазовыми залежами // Записки Горного института, СПб., 2009, Т.183, С. 246-250.
4. Прокин В. А., Серавкин И. Б., Виноградов А. М. Геологические условия размещения и перспективы выявления крупных медноколчеданных месторождений на Урале. // Литосфера, Екб., 2011, № 6, с. 123–133
5. Матвеев Б. К. Электроразведка при поисках месторождений полезных ископаемых. // Учебник для вузов. М.: Недра, 1985. – 375 с.

УДК550.388.2

ИОНОСФЕРА НАД УРАЛОМ ВО ВРЕМЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ
19 ОКТЯБРЯ 2015 ГОДА

Григорьева Светлана Анатольевна

ion@arudaemon.gsras.ru

Институт геофизики УрО РАН им Ю.П.Булашевича г.Екатеринбург, Россия

Аннотация. В статье рассматривается поведение ионосферы до землетрясения, во время землетрясения и после землетрясения 19 октября 2015 года. Были зафиксированы изменения в поведении и верхней ионосферы, и нижней, увеличение электронной концентрации в максимуме слоя F2 до землетрясения.

Abstract. The article discusses the behavior of the ionosphere before the earthquake, during the earthquake and after the earthquake 19 October 2015. Were the recorded changes in behavior and the upper ionosphere and lower, the increase of the electron concentration in the maximum of the F2 layer before the earthquake.

Ионосферные явления, связанные с сейсмической активностью, усиленно обсуждаются уже не один десяток лет. Одна из наиболее ранних работ по исследованию электромагнитных явлений, которые наблюдались до и после мощных землетрясений, является работа Гайворонской Т. В., Зеленовой Е. И. [1]. В ней рассматривается поведение критической частоты foF2 во время сильного землетрясения в Средней Азии. Результаты различных исследований продемонстрировали, что при достаточно благоприятных геофизических условиях сейсмо-ионосферные предвестники могут быть выделены даже для несильного землетрясения [2].

Систематическая регистрация землетрясений на Урале началась после открытия в 1913 году сейсмической станции в Екатеринбурге. Несмотря на то, что Уральские горы старые, время от времени и у нас происходят тектонические подвижки. Землетрясений силой более 2,5 баллов только за последний век у нас зарегистрировано более сотни. Связаны они в том числе и с горно-тектоническими ударами - обрушениями в шахтах и выработках. Подавляющее большинство уральских землетрясений происходило на Среднем и Южном Урале – примерно от широты Серова на севере до Златоуста на юге. Землетрясения фиксировались по всему Большому Уралу: в Перми, Кунгуре, Миассе, Сысерти, Златоусте, Кыштыме, Нижнем Тагиле.

В ночь на 19 октября 2015 года было зафиксировано очередное землетрясение на Урале магнитудой 4,2. Произошло оно в 02:44ч. по местному времени (00:44ч. по московскому) в районе Уральских гор в Свердловской области. Эпицентром стал поселок Шали, который находится примерно в 165 км от Екатеринбурга. Рассмотрим поведение ионосферы в период подготовки землетрясения 19.10.2015г., самого землетрясения и после него. Получение ионосферных данных проводилось в обсерватории «Арти», расположенной в Свердловской области (58°E 56°N) с помощью цифрового ионозонда «Парус». В течение 2015 года ионозонд работал в 15-минутном режиме. Диапазон наблюдений был от 1МГц до 15МГц по частоте и от 90км до 800км по высоте.

Хотелось бы начать с того, что в сравнении с предыдущими годами этот год для ионосферы оказался нестабильным, особенно в области F. Это хорошо проявляется в том, что мы неоднократно наблюдали так называемое в ионосфере «условие G» (концентрация электронов в слое F2 очень мала) [3]. Если в 2013-2014 годах это явление наблюдалось в единичных случаях, то в 2015 году это явление неоднократно повторяется, начиная с марта. Ещё в этом году в утренние часы неоднократно foF2 был меньше нижнего нормального частотного предела ионозонда. Эти эффекты особенно часто стали проявляться со второй половины августа вплоть до 14 октября. Так же в 2015 году в течение всего октября каждый день присутствовали расслоения в различных областях ионосферы в пределах 17-20% от

всех рассмотренных случаев. В отдельные дни эта цифра доходила до 25%. И именно в день землетрясения, 19.10.2015г., было зафиксировано наименьшее количество расслоений – всего 8%.

А теперь о поведении ионосферы накануне землетрясения и в период самого землетрясения. В работе [4] отмечалось, что за несколько дней перед землетрясением наблюдаются определённые эффекты в суточном ходе foF_2 , в частности, заметном повышении или понижении. В обсерватории «Арти» за сутки до землетрясения произошло повышение критических частот слоя F2 порядка 2 МГц (рис.1). В день землетрясения продолжилось повышение параметра foF_2 , и в последующие дни он остался на этом же уровне.

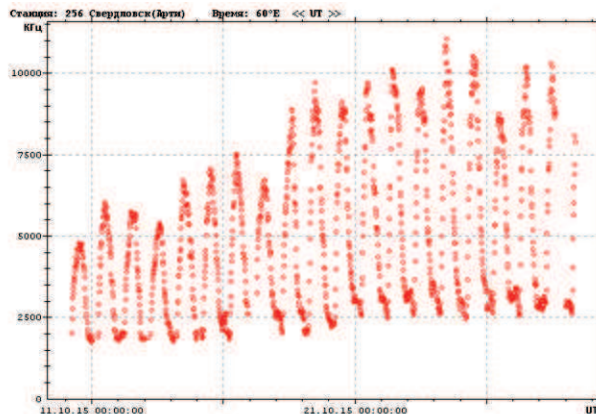


Рис.1 Вариации часовых значений критической частоты foF_2 за период 10 - 29 октября 2015г.

Ещё, если 17.10.2015г. этот параметр был ниже среднемесячного значения в дневные часы, то, начиная с 18 октября, поднялся выше среднемесячного значения (рис.2) и на таком уровне держался до конца месяца. В ночные же часы до дня землетрясения этот параметр был ниже среднемесячного значения, а после землетрясения держался в пределах среднемесячных значений до конца месяца.

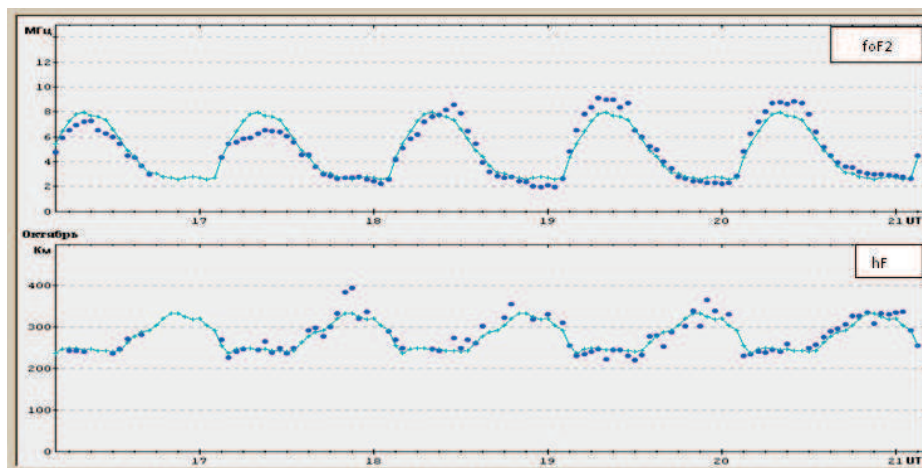


Рис.2 Мониторинг ионосферного параметра foF_2 (время UT) за 16 – 20 октября 2015 г. (сплошной линией показаны среднемесячные значения слоя F за октябрь 2015г., точками отмечены в верхней части рисунка значения параметра foF_2 за 16-20 октября 2015г. в нижней части рисунка значения параметра hF за 16 – 20 октября 2015г.)

Высота за сутки до землетрясения в ночные часы поднялась с 300км до 400км. В день землетрясения и на следующий день была нестабильной, но больших отклонений от

среднемесячных значений не наблюдалось. В последующие дни высота слоя F держалась в пределах среднемесячных значений.

Благодаря статистическому ретроспективному анализу данных вертикального радиозондирования ионосферы (наземного и спутникового), установлено, что за несколько суток до землетрясения в ионосфере возникают аномальные возмущения, выраженные в увеличении (или в уменьшении) электронной концентрации на высоте главного максимума ионосферы области F над его эпицентром. Результаты нашли свое отражение в работах Гохберга М.Б., Зеленовой Т.И., Легенька А.Д., Липеровского В.А., Пулинца С.А., Фаткуллина М.Н. и др. [5-7]. На рис.3 приведены результаты наблюдений изменений электронной концентрации в максимуме слоя F2 в обсерватории «Арти». Заметно сильное возрастание количества электронов за сутки до землетрясения. И в последующие дни электронная концентрация не падает, при этом высота максимума практически не претерпевала изменений в ближайшие к землетрясению дни и в день землетрясения.

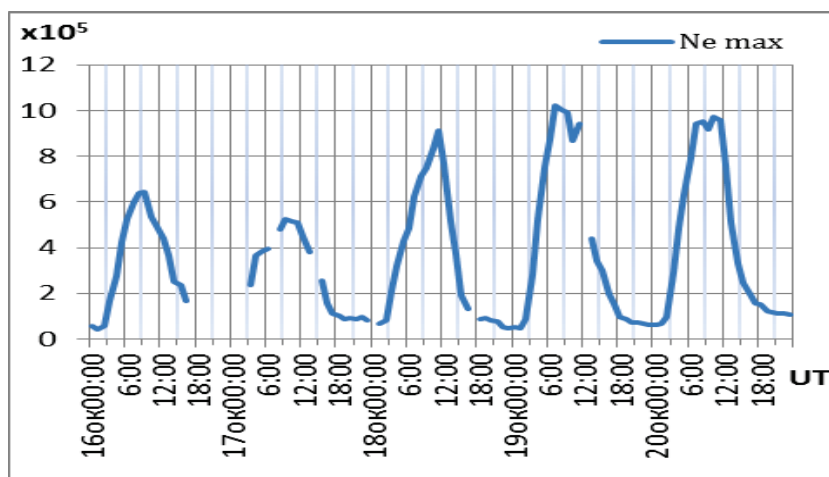


Рис.3 Распределение электронной концентрации в максимуме слоя F2 за 16 – 20 октября 2015г.

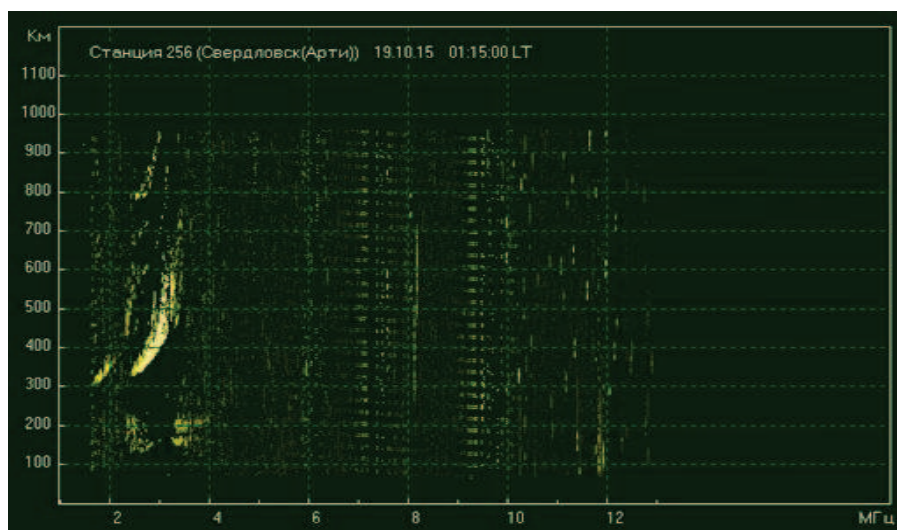


Рис.4 Пример ночного диффузного спорадического слоя за 19.10.2015г. в 1:15LT (2:15ч местного времени).

Произошли изменения и в области E. Заметно повышение частот и высот спорадического слоя Es. А параметр $fbEs$ в день землетрясения был выше практически в 2 раза по сравнению с остальными днями октября. Ещё одно явление, замеченное на ионосферной станции обсерватории «Арти» непосредственно перед землетрясением, - это

диффузность в спорадическом слое (пример такого слоя можно посмотреть на рис.4). Если где-то за 45 мин. до землетрясения фиксировался обыкновенный ночной спорадический слой, то за 30 мин. до землетрясения началось рассеяние в нижней ионосфере, и сразу же после землетрясения спорадический слой совсем исчез. Дальше он появляется уже в 4:00LT (5:00ч местного времени) как обыкновенный ночной спорадический слой на допустимой высоте.

Выводы:

1. Происходит повышение критических частот слоя F, увеличение электронной концентрации в максимуме слоя F2 за сутки до землетрясения, которое держится до конца месяца. При этом высота верхних слоёв ионосферы нестабильна, но не подвержена большим изменениям, а после землетрясения держится на уровне среднемесячных значений.

2. Происходит повышение частот и высот спорадического слоя Es (особенно увеличился параметр fbEs), формируются аномальные спорадические слои непосредственно перед землетрясением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гайворонская Т.В., Зеленова Т.И. Анализ вариации критических частот foF2 во время землетрясения 1976 и 1984 гг. в Средней Азии. // Препринт №5(831). М.: ИЗМИРАН, 1989. 20с.
2. Захаренкова И.Е. и др. Вариации полного электронного содержания ионосферы во время Калининградского землетрясения 21 сентября 2004г. // Вестник МГТУ, том 9, №3, 2006. стр. 434-439.
3. Руководство URSI по интерпретации и обработке ионограмм. // М., «Наука», 1977г.
4. Смирнов В.Ф., Борисов К.П., Степанов А.Е., Филиппов Л.Д. Ионосферный контроль сильных землетрясений в Якутии. // Наука и образование, 2009, №1.
5. Гохберг М.Б., Кустов А.В., Липеровский В.А., Липеровская Р.Х., Харин Е.П., Шалимов С.Л. О возмущениях в F-области ионосферы перед землетрясениями // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1988. №4. С.12-20.
6. Зеленова Т.И., Мигулин В.В., Фаткуллин М.Н., Легенька А.Д., Пашова Ц., Максименко О.И. Неустойчивость области F2 ионосферы перед Вранчским землетрясением 31 августа 1986 г. // Доклады АН СССР. 1991. Т. 317. №3. С. 620-625.
7. Пулинец С.А., Легенька А.Д., Зеленова Т.И. Зависимость сейсмо-ионосферных вариаций в максимуме слоя F от местного времени. // Геомагнетизм и аэрономия. 1998.

УДК.550.23

**ЗОНЫ ВОЗМОЖНОГО ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОЧАГОВ ОЩУТИМЫХ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА**

Гуляев Александр Николаевич,

e-mail: usc_alex@mail.ru

Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Аннотация. Область Средне-Уральского сейсмодомена, в которой сосредоточена большая часть эпицентров ощутимых землетрясений силой от 3-4 до 5-6 баллов по шкале MSK – 64 центральной части Урала, может выделена как зона возможного возникновения очагов ощутимых землетрясений (зона ВОЗ) первого порядка. В пределах сейсмодомена выделяются участки сосредоточения эпицентров ощутимых землетрясений – Добрянский, Серебрянский, Билимбаевский и Златоуст-Миасс-Кыштымский сейсмоузлы, которые можно рассматривать как зоны ВОЗ второго порядка.

**POSSIBLE ORIGIN SOURCES OF SENSITIVE EARTHQUAKES AREAS
AT THE CENTRAL PART OF THE URALS REGION**

A.N. Gulyaev,

e-mail: usc_alex@mail.ru

Institute of geophysics of Ural branch of RAS, Yekaterinburg, Russia

Summary. The Middle Urals seismodomen area, where more part epicenters of sensitive earthquakes from 3-4 to 5-6 balls by MSK -64 scale are located, may be determined as possible origin sources of sensitive earthquakes area by first range. At the seismodomen area some districts concentrations epicenters of sensitive earthquakes are occur – Dobrianka, Serebrianka, Bilimbay and Zlatoust – Miass – Kyshtym seismoknots, which may be determined as possible origin sources of sensitive earthquakes areas by second range.

Новейший Уральский эпипалеозойский эпиплатформенный ороген является пограничной структурой между Восточно-Европейской платформой (ВЕП), обладающей допалеозойским кристаллическим фундаментом, и эпипалеозойской Западно-Сибирской плитой [3, 7]. Несмотря на то, что Урал находится далеко за пределами современных сейсмоактивных зон, в которых происходят разрушительные землетрясения, в регионе отмечаются редко происходящие ощутимые природные землетрясения силой от 3-4 до 5-6 баллов по шкале MSK-64 в эпицентре, сопровождающие процессы становления новейшего Уральского орогена на современном этапе [2, 5, 9].

За период 1788-2017 г.г. в центральной части Уральского региона было отмечено порядка 44 ощутимых землетрясений силой от 3-4 до 5-6 баллов по шкале MSK-64 в эпицентре [9]. Очаги событий локализованы преимущественно в породах кристаллического фундамента на глубинах от первых километров до 20-25 км [5,9]. Большая часть эпицентров ощутимых землетрясений сосредоточена в пределах Средне-Уральского сейсмодомена [4], охватывающего пограничную зону Средне-Уральского сегмента новейшего Уральского орогена и Русской плиты Восточно-Европейской платформы (рис.1). Средне-Уральский сейсмодомен можно рассматривать как зону возможного возникновения очагов ощутимых землетрясений (зону ВОЗ) первого порядка, в пределах которой возможно возникновение очагов ощутимых землетрясений подобной силы и энергии в будущем.

В пределах Средне-Уральского сейсмодомена выделяются четыре участка концентрации эпицентров землетрясений, которые можно назвать сейсмоузлами. Выделяются Добрянский, Серебрянский, Билимбаевский и Златоуст-Миасс-Кыштымский сейсмоузлы, которые можно считать зонами ВОЗ второго порядка. Очаги наиболее сильных

землетрясений силой до 5-6 баллов по шкале MSK - 64 и магнитудой 4,5-5,0 локализованы в Серебрянском и Билимбаевском сейсмоузлах (рис.1).

Добрянский сейсмичный узел приурочен к северо-восточному склону Пермского свода (выступа) кристаллического фундамента ВЕП, возможно осложненному разломом или флексурно-разрывной зоной.

Серебрянский, Билимбаевский и Златоуст-Миасс – Кыштымский узлы приурочены к восточной границе области распространения допалеозойского кристаллического фундамента ВЕП, недеформированного процессами герцинского, раннекиммерийского и новейшего (альпийского) тектогенезов. Данная структура проявлена в наблюдаемом аномальном магнитном поле в виде субмеридиональной границы, проходящей в пределах Центрально-Уральского поднятия и разделяющей области с разным характером (морфологией) магнитного поля. К западу от данной границы в пределах ВЕП и Западного Урала в наблюдаемом аномальном магнитном поле выделяется Верещагинская радиальная структура, аномалиеобразующие объекты которой обнаруживают пространственную связь с вышеупомянутыми сейсмоузлами (рис.1). К востоку от вышеупомянутой границы в пределах восточной части Урала и западной части Западно-Сибирской плиты располагается область развития преимущественно субмеридиональных аномалий наблюдаемого магнитного поля, обусловленных телами базитов и ультрабазитов, преимущественно приуроченных к зонам деформации земной коры. На основании этого можно предположить, что сейсмические явления в сейсмоузлах могут быть обусловлены взаимодействием и деформацией кристаллических фундаментов Русской плиты ВЕП, Урала и Западно-Сибирской плиты, а так же процессами, описанными в работах [6, 8].

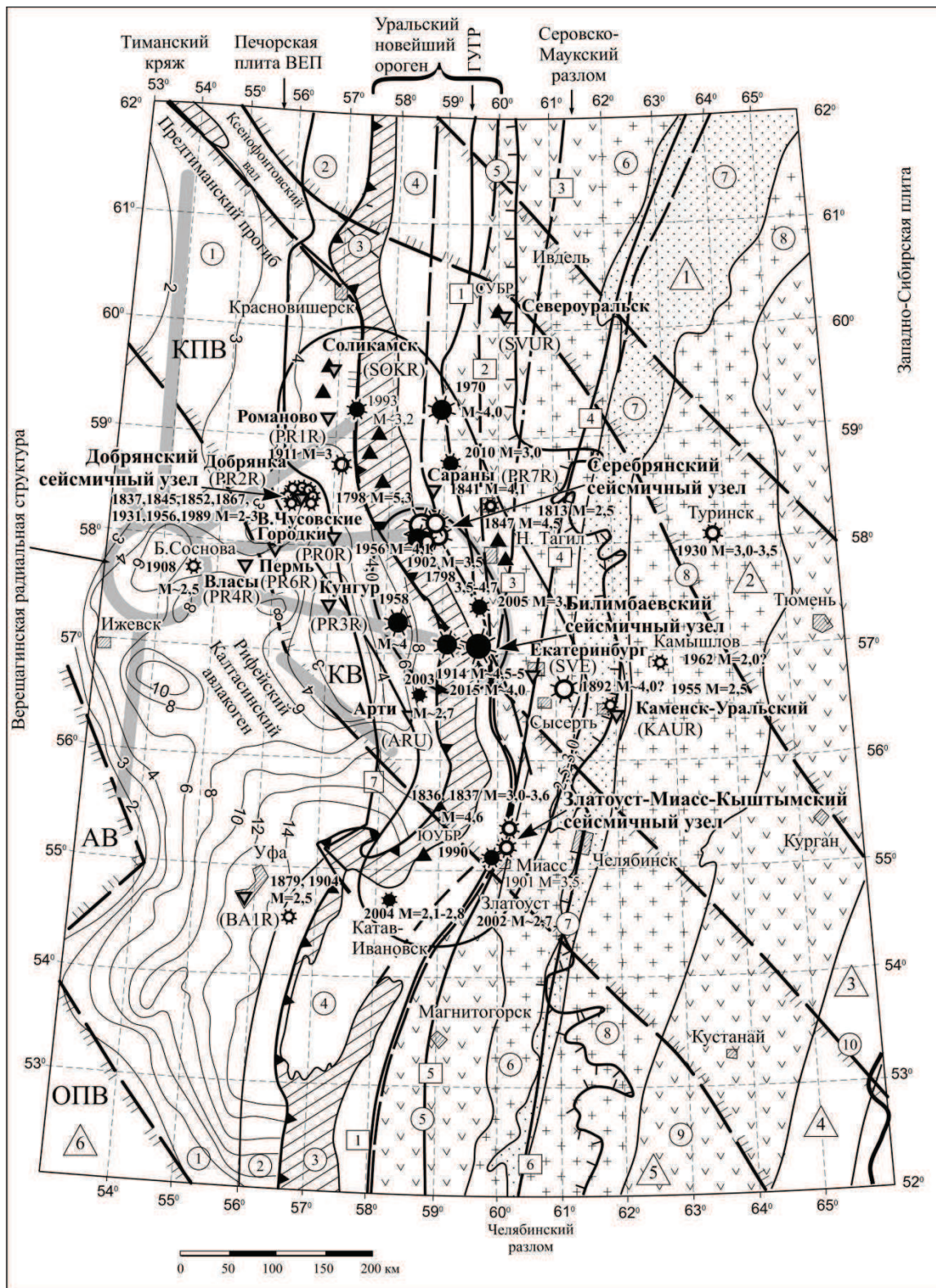
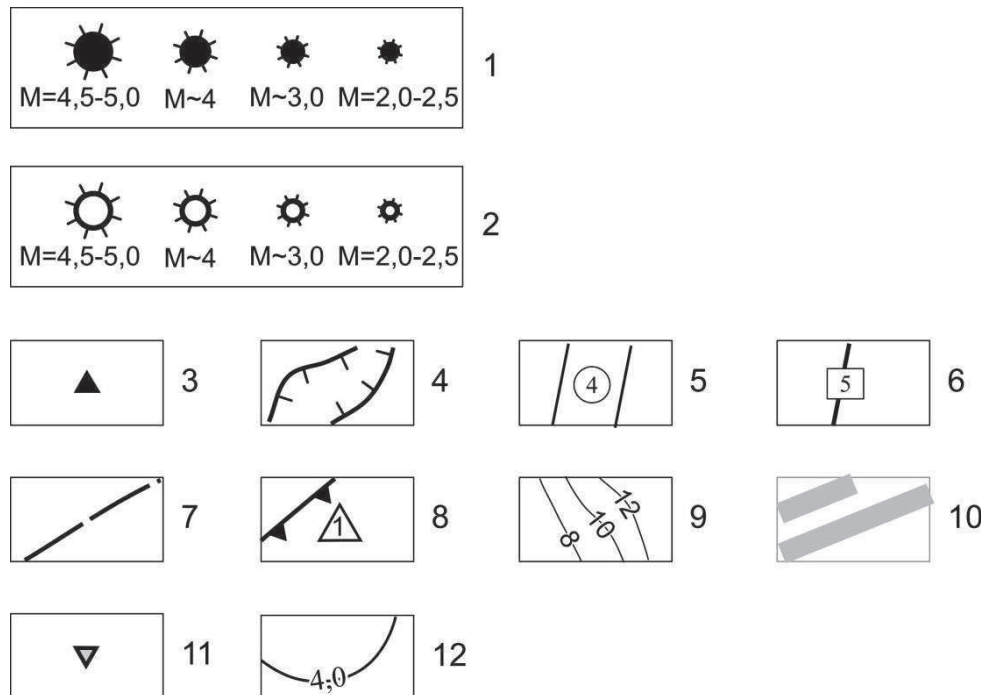


Рис.1. Схема сеймотектоники центральной части Уральского региона.
 Составил Гуляев А.Н., Институт геофизики УрО РАН, 2017 г.
 Компьютерная графика Арзамасцевой (Михайловой) Н.В.

Условные обозначения к рис. 1



1. Эпицентры ощутимых землетрясений, зарегистрированных станциями сейсмического мониторинга. Положение эпицентров оценено по результатам анализа сейсмических записей приборами сейсмостанций. Диаметр кружка пропорционален магнитуде события.

2. Эпицентры ощутимых землетрясений, инструментально не зарегистрированных, данные о которых содержатся в архивных исторических документах. Положение эпицентров оценено по результатам анализа макросейсмических описаний событий, содержащихся в архивных документах. Диаметр кружка пропорционален магнитуде события.

3. Эпицентры сильных горных ударов и природно-техногенных землетрясений на горно-рудных предприятиях, где отработка месторождений ведется подземными горными выработками.

4. Границы «обнаженного» Урала.

5. Границы геолого-тектонических подразделений. Цифрами в кружках отмечены: 1 – Русская плита Восточно-Европейской платформы (ВЕП); 2 – Предуральский прогиб; 3 – Западно-Уральская внешняя зона складчатости и надвигов; 4 – Центрально-Уральское поднятие; 5 – Тагило-Магнитогорский прогиб; 6 – Восточно-Уральское поднятие, 7 – Восточно-Уральский прогиб; 8 – Зауральское поднятие, 9 – Тюменско-Кустанайский прогиб; 10 – Тобольско-Кушмурунское поднятие.

6. Наиболее крупные палеозойские разломы по геологическим данным. Цифрами в прямоугольниках обозначены: 1 – Главный Уральский; 2 – Туринский; 3 – Серовско-Маукский; 4 – Мурзинский; 5 – Магнитогорский (Мелентьевско-Илимбаевский); 6 – Челябинский.

7. Восточная граница кристаллического дорифейского фундамента Русской плиты ВЕП по данным анализа морфологии наблюдаемого аномального магнитного поля.

8. Контуры трансорогенных структур. Цифрами в треугольниках обозначены: 1 – Ханты-Мансийско - Интинская; 2 – Тюменско - Печорская; 3 – Тимано-Кокчетавская; 4 – Архангельско-Балхашская; 5 – Башкиро-Улутавская; 6 – Каратау-Таласо-Ферганская трансорогенные структуры. Зубцы направлены в сторону погруженных блоков.

9. Изоглубины залегания поверхности дорифейского кристаллического фундамента Русской плиты ВЕП в км по [16].

10. Предполагаемые по результатам анализа морфологии аномального наблюдаемого магнитного поля зоны деформации дорифейского кристаллического фундамента, которые могут вмещать интрузивные тела основного и ультраосновного состава.

11. Станции сейсмического мониторинга.

12. Средне-Уральский сейсмодомен – область возможного возникновения очагов землетрясений силой от 3-4 до 5-6 баллов по шкале MSK-64 в будущем (область ВОЗ). Цифры на изолиниях соответствуют возможным значениям магнитуды землетрясений в будущем, в пределах контуров, охватываемых изолиниями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоконь Т.В., Горбачев В.И., Балашова М.М. Строение и нефтегазоносность рифейско-вендских отложений востока Русской платформы, Пермь, 2001, 106 с.
2. Вейс-Ксенофонтова З.Г., Попов В.В. К вопросу о сейсмической характеристике Урала. М, Издательство АН СССР, 1940, 12 с. (Труды Сейсмологического института АН СССР, № 104).
3. Геология СССР, том XII, часть 1, книга 2, М., Недра, 1969, 304 с.
4. Гуляев А.Н. Детальное сейсмическое районирование центральной части Уральского региона // «Известия вузов. Горный журнал», № 6, 2015, С.103 – 112.
5. Кашубин С.Н., Дружинин В.С., Гуляев А.Н., Кусонский О.А., Ломакин В.С., Маловичко А.А., Никитин С.Н., Парыгин Г.Н., Рыжий Б.П., Уткин В.И. Сейсмичность и сейсмическое районирование Уральского региона. Екатеринбург, УрО РАН, 2001, 124
6. Осика Д.Г., Черкашин В.И. Энергетика и флюидодинамика сейсмичности, М., Наука, 2008, 243 с.
7. Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении), Уфа, 2010, 279 с.
8. Ромашов А.Н. Планета Земля: тектонфизика и эволюция. – М.: Едиториал УРСС, 2003.- 264 с.
9. Степанов В.В., Годзиковская А.А., Ломакин В.С., Прибылова Н.Е., Мокрушина Н.Г., Силина И.К., Кусонский О.А., Митенкова Н.В. Землетрясения Урала и сильнейшие землетрясения прилегающих территорий Западной Сибири и Восточно-Европейской платформы, ЦСГНЭО, Москва, 2002, 135 с.

УДК 550.23

О СЕЙСМИЧЕСКОЙ И ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ УРАЛА*Гуляев Александр Николаевич,**usc_alex@mail.ru**Институт геофизики им. Ю.П.Булашевича УрО РАН, Екатеринбург, Россия*

Аннотация. Инженерно-сейсмические и геодинамические условия на Урале характеризуются как благоприятные и безопасные благодаря тому, что сейсмическая и геодинамическая активность недр Уральского региона низкая, ощутимые землетрясения силой от 3-4 до 5-6 баллов по шкале MSK-64 происходят редко, а сейсмогрунтовые условия в пределах «обнаженного» Урала (новейшего Уральского орогена) благоприятные за счет преобладающего развития здесь прочных скальных грунтов, представленных коренными породами палеозойского и допалеозойского возраста. Крупных разломов, которые можно было бы охарактеризовать, как активные на современном этапе в пределах Уральского региона не имеется.

ABOUT SEISMIC AND GEOYNANMIC SAFETY OF THE URALS*N. Gulyaev, usc_alex@mail.ru**Federal state budget Institute of geophysics in Y.P.Bulashevich name of Ural branch of Russian academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia*

Summary. The seismic and geodynamic environment at the Urals may be estimate as safely and favourable, because the seismic and geodynamic activity of depth of the Urals region are low, sensitive earthquakes by intensity from 3-4 to 5-6 balls of MSK -64 scale take a place very rarely and the ground environment at the «strip» Urals (the recent Urals orogen) are favourable, because at this area the strong radical Paleozoic and Pre -paleozoic rocks are well-developed. Great faults, which may be determined as active structures at the recent time, at the Urals region are not discovered.

Благодаря редко происходящим ощутимым местным землетрясениям интенсивностью от 3-4 до 5-6 баллов по шкале MSK – 64 [1,5,6,12], предположительно сопровождающим становление новейшего Уральского орогена на современном этапе, Средний Урал и прилегающие к нему части Северного и Южного Урала по результатам Общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР – 97 были отнесены к регионам, в которых при проектировании и строительстве инженерных сооружений необходимо учитывать сейсмичность и для этого выполнять оценку величины расчетной силы сейсмического воздействия на рассматриваемые объекты [8]. В результате выполнения работы по детальному сейсморайонированию Урала сделан вывод, что вследствие относительно слабой (низкой) тектонической (геодинамической) активности недр Урала в новейшее время и на современном этапе, проявляющейся в относительно слабой деформации земной коры Урала в неоген-четвертичное время, реальной угрозы инженерным сооружениям и безопасности людей на Урале со стороны природных сейсмических и геодинамических явлений нет [4]. Согласно [7], предполагается, что запасенный в земной коре сейсмopotенциал определяется степенью деформации земной коры в новейшее (неоген-четвертичное) время. Амплитуды деформаций земной коры Урала за новейшее время по данным, приведенным в работах [2,9] оцениваются как от 250 – 450 м на Среднем Урале и до 500-700 м на Южном и Северном Урале. Для сравнения, на Тянь-Шане, являющемся таким же, как и Урал новейшим эпиплатформенным эпипалеозойским орогеном, амплитуды вертикальных новейших деформаций земной коры намного больше и составляют от 2-5 км до 10-14 км

[3]. Поэтому Тянь-Шаньские горы выше Уральских и Тянь-Шань характеризуется более высокой сейсмической и геодинамической активностью и более высоким сейсмopotенциалом недр, чем Урал. Это проявляется в том, что на Тянь – Шане ощутимые землетрясения, в том числе сильные с магнитудой 5, 0 и более, происходят гораздо чаще, чем на Урале и характеризуются гораздо большим диапазоном энергии по сравнению с редкими и относительно слабыми Уральскими сейсмическими событиями (рис. 2 «а» и 2 «б») [12].

Относительно невысокая интенсивность сотрясений на земной поверхности во время уральских землетрясений может быть обусловлена относительно большой глубиной очагов наиболее сильных землетрясений региона (12-25 км) [13]. Кроме того, область «обнаженного» Урала – новейшего Уральского орогена характеризуется благоприятными сейсмогрунтовыми условиями, характеризующимися преобладающим развитием скальных грунтов первой категории, представленных коренными породами палеозойского и допалеозойского возраста, отчасти перекрытых чехлом грунтов мезозойской коры выветривания и четвертичных отложений. Разломов, которые, согласно данным, приведенных в работах [8,10,11], можно было бы охарактеризовать, как активные на современном этапе структуры, на Урале не выявлено.

На основании вышеизложенного можно заключить, что Урал не является опасным в сейсмическом и геодинамическом отношении регионом и что при проектировании и строительстве инженерных сооружений в Уральском регионе нет необходимости использовать (применять) антисейсмические мероприятия.

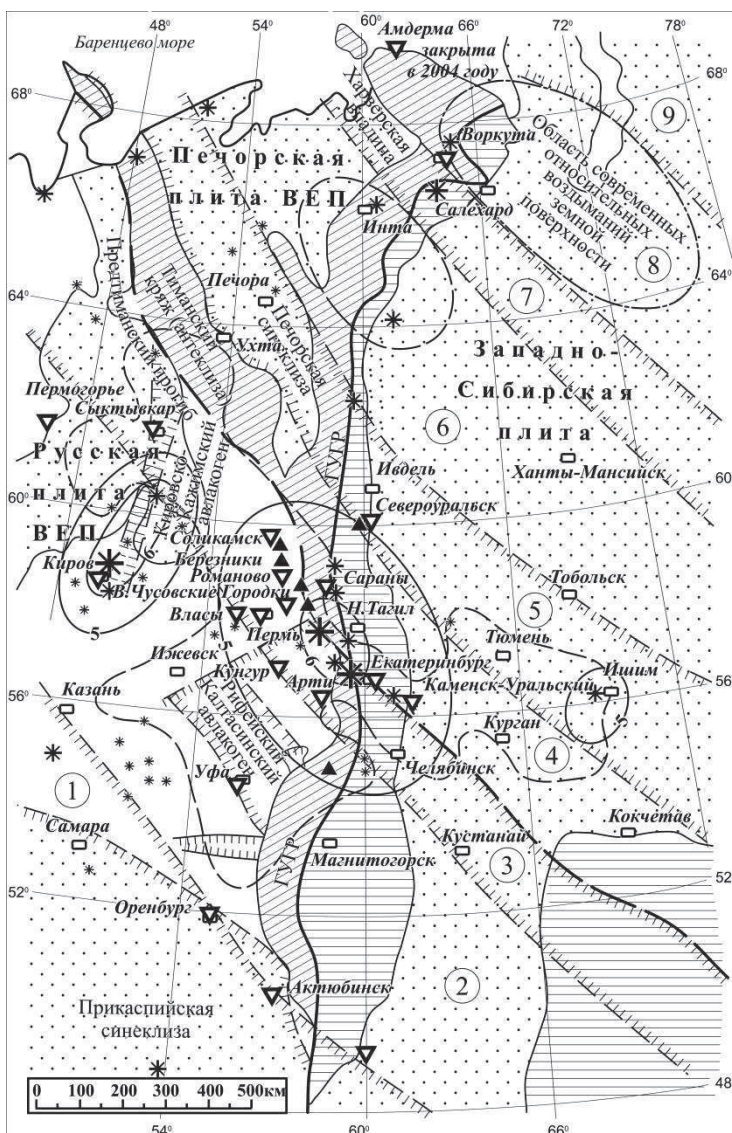


Рис. 1. Схема сейсмичности Урала и прилегающих частей Восточно-Европейской платформы (ВЕП) и Западно-Сибирской плиты. Составил Гуляев А.Н., Институт геофизики УрО РАН, 2016 г.

Компьютерная графика Арамасцевой (Михайловой) Н.В. Условные обозначения к рис.1:

- 1 – области развития покровов мезозойско-кайнозойских отложений. 2 – участки Русской плиты ВЕП не перекрытые чехлом мезозойских отложений. 3 – область выходов на дневную поверхность дислоцированных пород палеозойского и допалеозойского возраста Восточно-Европейской платформы (ВЕП).
- 4 – область выходов на дневную поверхность дислоцированных пород палеозойского и допалеозойского возраста Западно-Сибирской плиты. 5 – рифейские авлакогены в пределах Восточно-Европейской платформы (ВЕП).

6 – предполагаемая по геофизическим данным граница фундамента Русской плиты ВЕП. 7 – Главный Уральский глубинный разлом (ГУГР). 8 – контуры трансорогенных структур в дорифейском фундаменте ВЕП и Западно-Сибирской плиты по геолого-геофизическим данным. Зубцы направлены в сторону предположительно погруженных участков.

9 – предполагаемое положение эпицентров ощутимых природных землетрясений. Самые крупные звездочки соответствуют эпицентрам землетрясений с магнитудой порядка 4,5-5,0, а самые маленькие звездочки соответствуют эпицентрам с магнитудой порядка 2,0- 3,0.

10 – места (эпицентры) сильных горных ударов и природно-техногенных землетрясений на горно-рудных предприятиях, ведущих эксплуатацию месторождений посредством подземных горных выработок.

11 – контуры потенциально сейсмичных участков, в пределах которых отмечалось возникновение природных землетрясений силой до 5 и до 6 баллов по шкале MSK-64. Цифрой «5» обозначены контуры, где предполагается возможность возникновения сейсмических сотрясений силой до 5 баллов по шкале MSK-64, Цифрой «6» обозначены контуры, где предполагается возможность возникновения сейсмических сотрясений силой до 6 баллов по шкале MSK-64.

12 – станции сейсмического мониторинга.



Рис. 2 «а». График наблюдаемой повторяемости землетрясений Среднего Урала за период 1788-2017 г.г. в сопоставлении с подобными графиками других сейсмичных регионов. Составил Гуляев А.Н., Институт геофизики УрО РАН, 2005- 2013 г. г.



Рис. 2 «б». График средних временных интервалов в годах между ощутимыми землетрясениями различной магнитуды Среднего Урала за период 1788-2017 г.г.

сопоставлении с подобными графиками других сейсмичных регионов. Составил Гуляев А.Н., Институт геофизики УрО РАН, 2005-2013 г.

СПИСОК ЛИТЕРА

1. Вейс-Ксенофонтова З.Г., Попов В.В. К вопросу о сейсмической характеристике Урала. М, Издательство АН СССР, 1940, 12 с. (Труды Сейсмологического института АН СССР, № 104).
2. Геология СССР, том XII, часть 1, книга 2, М., Недра, 1969, 304 с.
3. Геология СССР, том XXV Киргизская ССР, геологическое описание, книга 2, М., Недра, 1972, 314 с.
4. Гуляев А.Н. Детальное сейсмическое районирование центральной части Уральского региона // Известия высших учебных заведений Горный журнал № 6, 2015, С. 103-112.
5. Гусева Н.С. Анализ макросейсмических эффектов землетрясения 18 октября 2015 г. на Среднем Урале // XVII Уральская молодежная научная школа по геофизике, сборник материалов, Екатеринбург, 2016, С.74--77 .
6. Дягилев Р.А., Верхованцев Ф.Г., Голубев И.В. Качканарское землетрясение 28 марта 2010 г. с $Kp = 12,1$, $Mw = 4,4$, $Io = 5$ (Средний Урал) // Землетрясения Северной Евразии, 2010 год, Обнинск, 2016, С. 336-346.
7. Друмя А.В., Шебалин Н.В. Землетрясение: где, когда почему?, Кишинев, «Штиинца», 1985, 193 с.
8. Комплект карт Общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-97 масштаб 1:8000 000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. Главные редакторы Комплекта карт ОСР-97 академик РАН В.Н.Страхов, член-корреспондент АН Республики Узбекистан, профессор В.И. Уломов, Москва, 1999, 56 с.
9. Новейшая тектоника Урала, том V под редакцией Сигова А.П., Сигова В.А., издание Саратовского университета, 1975, 104 с.
10. Несмеянов С.А. Введение в инженерную геотектонику, Москва, Научный мир, 2004, 214 с.
11. Оценка сейсмической опасности участков размещения ядерно- и радиационно опасных объектов на основании геодинамических данных РБ -019-0, введена в действие с 1 марта 2002 г., Москва 2001, 24 с.
12. Сейсмическое районирование территории СССР, ответственные редакторы В.И.Бунэ и Г.П.Горшков, М., Наука, 1980, 306 с.
13. Степанов В.В., Годзиковская А.А., Ломакин В.С., Прибылова Н.Е., Мокрушина Н.Г., Силина И.К., Кусонский О.А., Митенкова Н.В. Землетрясения Урала и сильнейшие землетрясения прилегающих территорий Западной Сибири и Восточно-Европейской платформы, ЦСГНЭО, Москва, 2002, 135 с.

УДК 550.34

**ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СЕВЕРА
РУССКОЙ ПЛИТЫ ПО ДАННЫМ МЕТОДА МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ***Данилов Константин Борисович, Афонин Никита Юрьевич**danilov_kostea@mail.ru**Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики, Россия,
Архангельск.*

Аннотация. В материалах представлены результаты проявления глубинного строения структурных элементов Севера Русской плиты по данным метода микросейсмического зондирования. Общая протяженность профилей составляет 250 км. Исследовались глубины 0.5-14.5 км. По результатам анализа показано, что опробованный метод позволяет выделять субвертикальные границы структурных элементов, разломные нарушения и оценивать изменение скоростных свойств в смежных блоках. Наиболее успешно метод микросейсмического зондирования может быть комплексирован с методами позволяющими выделять дисперсионную зависимость в исследуемой среде.

**THE IMAGING FEATURES OF THE STRUCTURAL ELEMENTS OF THE
RUSSIAN PLATE NORTH ACCORDING THE MICROSEISMIC SOUNDING METHOD***Danilov Konstantin Borisovich, Afonin Nikita Yurievich**danilov_kostea@mail.ru**Federal Center for Integrated Arctic Research, Russia, Arkhangelsk.*

Summary. The paper present the result of the imaging features of the deep structure of the structural elements of the Russian Plate North according microseismic sounding method. The length of the profiles is 250 km. Depths of 0.5-14.5 km were investigated. As result were shown that microseismic sounding method allows to image sub vertical boundaries of structural elements, faults and estimate a value of velocities change in adjacent blocks. The microseismic sounding can be integrated with methods that allows to estimate the dispersion dependence in the investigated medium.

Исследование глубинного строения земли носит важное значение, в различных областях человеческой деятельности. В частности данная информация важна при исследовании сейсмичности региона и при поиске полезных ископаемых. Так на территории Севера Русской плиты располагается Архангельская алмазоносная провинция, вторая по объемам разведанных запасов в России.

В свою очередь территории Севера Русской плиты обширны и труднодоступны, что существенно затрудняет реализацию традиционных активных методов сейсмической разведки. В этой связи пассивные сейсмические методы являются единственными доступными способами исследования. Так как каждый геофизический метод позволяет определять лишь определенные параметры исследуемой среды, целесообразно разрабатывать комплекса пассивных сейсмических методов. В свою очередь пассивные сейсмические метода используют фоновые сигнал в роли зондирующего, что обуславливает необходимость тщательного выбора и тестирования комплекса методов.

Ранее метод микросейсмического зондирования (ММЗ) был протестирован на примере региональных профилей Кянда-Вогрзогоры [11] и Палово-Малиновка [14]. В данной работе представлены результаты исследования вдоль профиля Ижма-Гриба. Апробация комплекса пассивных сейсмических методов проводилось на примере трубки Пионерская алмазного месторождения им М.В. Ломоносова [5]. В комплекс методов входили

метод микросейсмического зондирования (ММЗ) [3], метод пассивной сейсмической интерферометрии [16] и метод отношения горизонтальных компонент микросейсм к вертикальным компонентам (Н/V) [15].

Профиль Ижма–Гриба начинается в Архангельском выступе, пересекает Керецко-Пинежский грабен, пересекает Золотицко-Пачугский выступ и выходит в Падунский грабен. На данные обработки вынесены известные геофизические данные. На рисунке 1 наблюдается согласие геолого-геофизической информации и зон относительной интенсивности микросейсм.

По данным ММЗ выделяется низкоскоростной блок с контрастом 3-5 дБ соответствующий Падунскому грабену. Наиболее контрастно проявилась глубинная часть неотектонического разлома. Аналогичные факты проявились по данным профилей Малиновка-Самодед, Самодед-Палово [14].

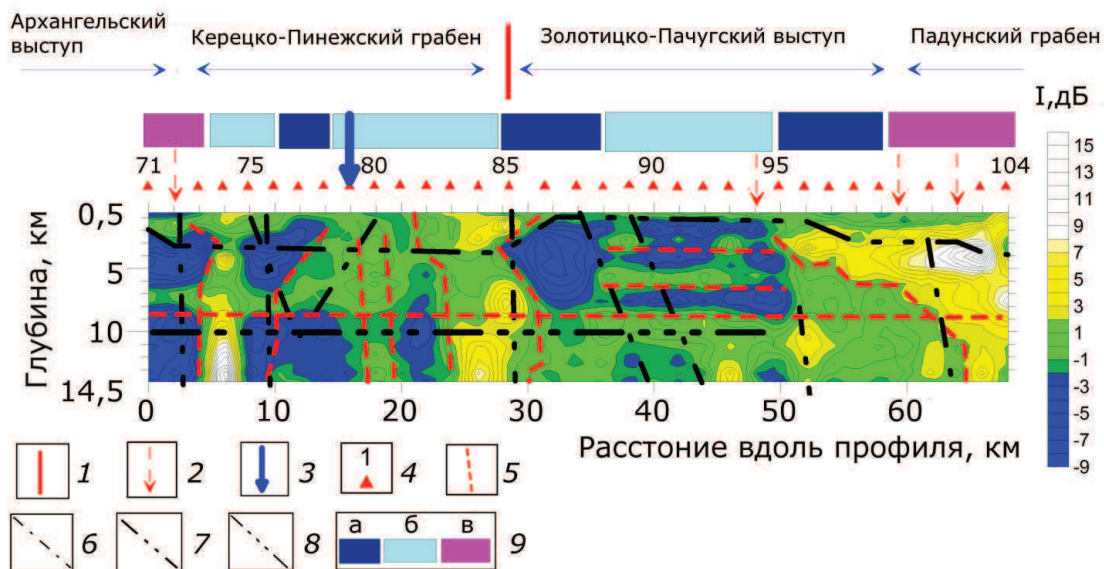


Рис. 1 Глубинный разрез распределений относительной интенсивности микросейсм вдоль профиля Ижма – Гриба: 1 - граница Северодвинского и Зимнебережного блоков кристаллического фундамента [10]; 2 – разломные нарушения [10]; 3 – Главный Беломорский шов [7]; 4 – пронумерованные пункты замеров микросейсм; 5 - границы выделенные по данным ММЗ; 6 – границы блоков выделенных по данным МТЗ [9]; 7 – граница поверхности кристаллического фундамента [10]; 8 – граница в земной коре отмеченная по данным профиля ГСЗ АГАТ-5 [6] (Егоркин, 1987); 8 – интенсивность магнитного поля [12]: а- пониженная, б- средняя, в – повышенная.

С целью повышения эффективности применения ММЗ целесообразно производить комплексирование с другими методами. ММЗ позволяет выделять компактные скоростные неоднородности и в первую очередь их субвертикальные границы. Кроме того при обработке данных в ММЗ привлекается дисперсионная зависимость, определенная сторонними методами. Таким образом, для повышения информативности ММЗ необходимо привлекать методы, нацеленные на выделение горизонтальных границ и дисперсионной зависимости поперечных волн в исследуемой среде. Данным требованиям соответствует метод пассивной сейсмической интерферометрии [16] и методом отношения горизонтальных компонент микросейсм к вертикальным компонентам (Н/V) [15]. С помощью метода пассивной сейсмической интерферометрии можно восстановить скоростную модель, что позволяет определить скоростные характеристики и основные слои исследуемой среды [16, 13]. Метод Н/V направлен на выявление формы контрастных горизонтальных границ в среде [15]. Все перечисленные методы имеют схожую систему наблюдений при проведении полевых работ. Кроме того, современные комплекты сейсмических станций являются автономными и

малогабаритными, что существенно упрощает реализацию данных методов на труднодоступных территориях.

Трубка «Пионерская» входит в состав месторождения им. М.В. Ломоносова и является самой крупной из промышленно алмазоносных трубок Золотицкого поля [7]. Размеры трубки «Пионерская» составляют около 1000×500 м (рис. 2). В вертикальном разрезе трубка представляет собой две сближенные трубки с общим раструбом и относится к двухкорневым диатремам.

По данным ММЗ (рис. 2) наиболее отчетливо проявляется первая фаза [5] внедрения трубки, представленная ксенотуфобрекчией, в виде низкоскоростной аномалии (положительные значения относительной интенсивности микросейсм). Вторая фаза, представленная автолитовой брекчией, проявляется в виде слабоконтрастной зоны. Низкоскоростная часть трубки выделяется на глубинах 70-100 м в пунктах 7-10 и на глубинах от 300 до 600 м в пунктах 6-13. Повышенные скоростные свойства пород второй фазы внедрения отмечались ранее в известных моделях трубок взрыва Архангельской алмазоносной провинции [4].

На глубинах 600 м – 1200 м по данным ММЗ отображается южный корень трубки (пункты 5-9). По данным ММЗ видно смещение в южном направлении корня трубки на глубине 800 м [5].

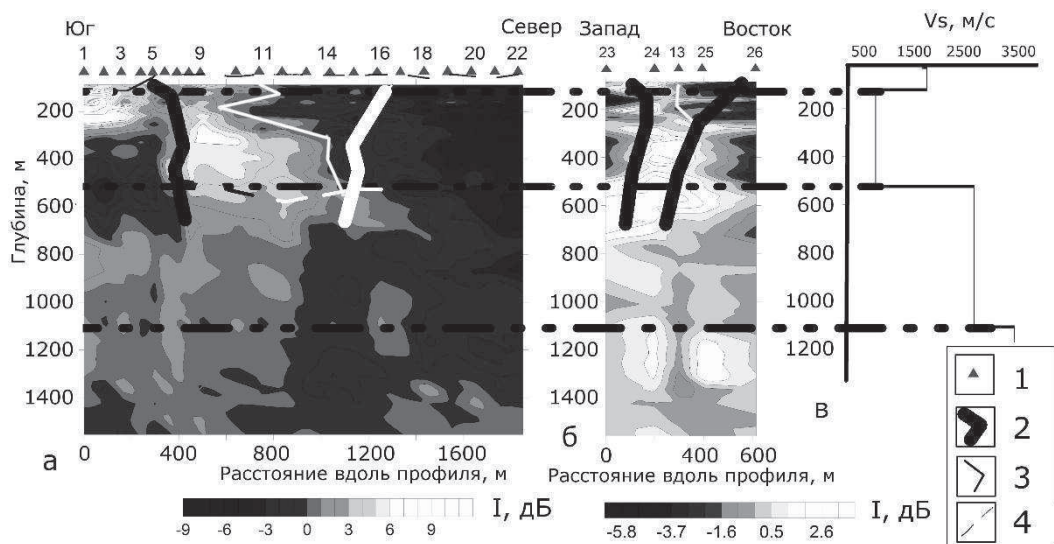


Рис. 2. Результаты обработки данных по методу ММЗ (а, б) и скоростная модель по данным пассивной интерферометрии (в) [5]: 1 – пункты замеров микросейсм, 2 – борта трубки взрыва [2] 3 – граница разделения различных фаз внедрения [2] 4 – границы, выделенные методом Н/В.

Результатом дисперсионного анализа эмпирических функций Грина, является скоростная модель (рис. 2в), на которой наблюдается уменьшение скорости на глубинах от 150 до 550 м, что вероятно обусловлено прохождением волн через низкоскоростную часть трубки. Граница на глубине порядка 1100 м, предположительно, соответствует верхней границе кристаллического фундамента, что близко к известным данным [10, 14].

В результате обработки данных методом Н/В, выявлены две горизонтальные границы. Первая граница расположена на глубине 35-50 метров, с опусканием в южной части профиля до 100 метров. Данная граница, вероятно, соответствует нижней части четвертичных отложений, что согласуется с известными данными [1]. В районе трубки, наиболее контрастной является граница на глубине 500-580 м. Данная граница соответствует нижней части трубки (рис. 2).

Апробация ММЗ на региональных профилях показала уверенное совпадение результатов ММЗ и имеющейся геолого-геофизической информацией. При этом по данным

ММЗ удалось восстановить характерный сейсмический рисунок для каждого блока земной коры. Последний позволит судить о состоянии и процессах произошедших в конкретных блоках земной коры. При этом наиболее контрастно проявились субвертикальные границы структурных элементов и разломные нарушения.

Использованный комплекс методов позволил локализовать в пространстве первую фазу внедрения трубки «Пионерская». Борта и нижняя граница первой фазы внедрения известны из результатов бурения. В свою очередь, уверенное совпадение результатов тестирования и данных бурения указывает на перспективность предложенного комплекса методов [5].

Результаты опробованных методов дополняет друг друга. Так дисперсионная кривая необходима для привязки по глубине результатов обработки методами ММЗ и Н/В. В свою очередь локальные скоростные неоднородности, выделяемые по ММЗ и границы, выделяемые по методу Н/В, позволили объяснить природу низкоскоростного слоя, выделенного в результате инверсии дисперсионных кривых эмпирических функций Грина. Таким образом, предложенный комплекс методов перспективен не только для исследований трубок взрыва, но и для различных критических зон [5].

Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 17-35-80015 «мол_эв_а».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вержак Д.В., Гаранин К.В. Экологические проблемы освоения месторождений алмаза Архангельской алмазоносной провинции и некоторые пути их решения // Геология алмаза - настоящее и будущее. Воронеж: изд-во ВГУ, 2005. С. 246.
2. Вержак В.В., Медведев В.А., Веричев Е.М. и др., Отчет о результатах разведки кимберлитовых трубок месторождения им. Ломоносова в 1983-1987 гг. Архангельск: ПГО «Архангельскгеология» Беломорская геологоразведочная экспедиция, 1987. 2534 с.
3. Горбатиков А.В., Степанова М.Ю., Кораблев Г.Е. Закономерности формирования микросейсмического поля под влиянием локальных геологических неоднородностей и зондирование с помощью микросейсм // Физика Земли. 2008. № 7. С. 66-84.
4. Губайдуллин М.Г. Физико-геологические модели поисковых объектов: монография // Литосфера и гидросфера европейского Севера России. Геоэкологические проблемы. Екатеринбург: УрО РАН, 2001а. С. 57-63.
5. Данилов К.Б., Афонин Н.Ю., Кошкин А.И. Строение трубки «Пионерская» Архангельской Алмазоносной провинции по данным комплекса пассивных сейсмических методов. // Вестник КРАУНЦ. Науки о земле. 2017. №2. Вып. 34. С. 90-98.
6. Егоркин А.В. Строение земной коры и верхней мантии вдоль профилей Чешская губа – пай-Хой, Белое море – Воркута, Двинская губа – р. Мезень, р. Онега – Чешская губа, р. Вага – Белое море. Отчет камеральной партии СРГЭ о результатах региональных сейсмических исследований ГСЗ, МОВЗ, проведенных в 1985-1987 гг. на севере Европейской части СССР (в двух книгах). Листы R-39, 40,41, 42; Q-37, 38, 39, 40, 41; P-37, 38. Москва, 1987, 188 с.
7. Стогний В.В., Коротков Ю.В. Поиск кимберлитовых тел методом переходных процессов. Новосибирск: Издательство «Малотиражная типография 2D», 2010. 121 с.
8. Тектоническая карта Белого моря и прилегающих территорий масштаб 1:1500000 // Главные редакторы М.Г. Леонов, Г.С. Казанин. - Москва: ООО «ИПП Куна», 2010.
9. Третьяков В.Л. и др., Отчет сейсморазведочной партии о результатах профильных геофизических работ методами сейсморазведки КМПВ и электроразведки МТЗ, проведенных в Зимнебережном районе в 1987-1991 гг., Новодвинская ГФЭ АПГО, 1991.
10. Третьяченко В.В., Самсонов А.В., Носова А.А., Гаранин К.В. Геотектоническая позиция и основные аспекты минерагенического районирования раннегерцинских комплексов кимберлитов и конвергентных пород Архангельской пикрит-кимберлитовой

области // Сборник публикаций по результатам V и VI ежегодных научных чтений им. Г.П. Кудрявцевой. Москва, с. 115-136.

11. Французова В.И., Макаров В.И., Данилов К.Б. Скоростные неоднородности земной коры Юго-Восточного Беломорья по данным метода микросейсмического зондирования // Геофизические исследования. 2013. Т. 14. №3. С. 46-54.

12. Черемхина Г.М., Карта магнитного поля /Геологическое строение и полезные ископаемые Золотицкой площади. Отчет Золотицкой партии о результатах работ – 2008.

13. Afonin N., Kozlovskaya E., Kukkonen I. and DAFNE/FINLAND Working Group Structure of the Suasselkä postglacial fault in northern Finland obtained by analysis of local events and ambient seismic noise // Solid Earth. 2017. № 8. P. 531-544. doi:10.5194/se-8-531-2017, 2017.

14. Danilov K.B. The structure of the Onega downthrown block and adjacent geological objects according to the microseismic sounding method // Pure and Applied Geophysics. 2017. Volume 174. Issue 7. pp 2663–2676. doi: 10.1007/s00024-017-1542-x.

15. Nakamura Y.A. method for dynamic characteristic estimation of subsurface using microtremor on the ground surface // Quarterly Report of Railway Technical Research Institute. 1989. V.30. №1.P. 25-33.11.

16. Shapiro N.M., Campillo M. Emergence of broadband Rayleigh waves from correlations of the ambient seismic noise // Geophys. Res. Lett. 2004. 31. L07614. doi:10.1029/2004GL019491.

УДК 550.31

**ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РАЙОНЕ БОЛЬШЕ-БАННОГО
ГЕОТЕРМАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (КАМЧАТКА)**

*Денисов Денис Константинович, Нуждаев Иван Алексеевич, Рылов Евгений Сергеевич,
Федорченко Игорь Анатольевич, Феофилактов Сергей Олегович*

e-mail: fitzlikefitz@gmail.com

e-mail: ivandf@kscnet.ru

e-mail: zaparin16@mail.ru

e-mail: fia@mail.kamchatka.ru

e-mail: serg415@kscnet.ru

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия

Аннотация. В 2015 году выполнены электроразведочные, сейсморазведочные и магнитометрические исследования. На разрезах, построенных по данным вертикального электрического зондирования и метода отраженных волн, наблюдается горизонтально-слоистая структура зоны разгрузки парогидротерм. Методом естественного потенциала выделена отрицательная аномалия в районе руч. Ящичный. По магнитометрическим данным прослеживается отрицательная магнитная аномалия в центральной части термального поля.

**GEOPHYSICAL STUDIES IN THE AREA OF BOLSHE-BANNOE GEOTHERMAL
DEPOSIT (КАМЧАТКА)**

*Denisov Denis Konstantinovich, Nuzhdaev Ivan Alekseevich, Rylov Evgeniy Sergeevich,
Fedorchenko Igor Anatolevich, Feofilaktov Sergey Olegovich*

e-mail: fitzlikefitz@gmail.com

e-mail: ivandf@kscnet.ru

e-mail: zaparin16@mail.ru

e-mail: fia@mail.kamchatka.ru

e-mail: serg415@kscnet.ru

Institute of Volcanology and Seismology, FED, RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

Summary. In 2015, magnetometric, seismic and electro-prospecting studies were performed. On the sections constructed from the data of vertical electric sounding and the method of reflected waves, a horizontally layered structure of the zone of unloading of steam-hydrothermal lines is observed. Magnetometric data reveal a negative magnetic anomaly in the central part of the thermal field. Electrical exploration by the self potential method reveals a negative anomaly in the vicinity of the creek Jashhichnyj.

Вопрос изучения геотермальных районов актуален во многих странах, таких как Россия, Исландия, Япония, Новая Зеландия, США, Мексика. На территории России наиболее интересные и перспективные геотермальные месторождения находятся на полуострове Камчатка и Курильских островах [6]. Среди них выделяются такие как, Мутновское, Паужетское, Карымшинское и Больше-Банное, в районе которого и были проведены геофизические работы.

Больше-Банное геотермальное месторождение расположено в юго-восточной части полуострова Камчатка, геологическому описанию этого района посвящено большое количество работ [1, 2, 3].

Геологические представления большинства авторов сводятся к следующему. Паратунский геотермальный район расположен в пределах Южно-Камчатского прогиба складчато-блоковой зоны Восточно-Камчатского вулканического пояса. В тектоническом

плане он приурочен к северной части Южно-Камчатской грабен-синклинали, трассируемой крупнейшими в регионе отрицательными аномалиями силы тяжести. С севера район ограничен Малко-Петропавловской зоной поперечных дислокаций, с запада – Охотской платформой, с юга – вулcano-тектоническими структурами Мутновско-Жировского вулканогенно-рудного и геотермального центра. Район характеризуется развитием контрастных по составу магматических пород, широким распространением игнимбритов и риолитовых туфов, формированием крупных кальдер и купольно-кольцевых структур. Согласно новейшим представлениям, Паратунский геотермальный район входит в состав Южно-Камчатской геотермальной провинции [7] и наследует структуру долгоживущего (с эоцена по голоцен) Паратунско-Банного вулканогенно-рудного центра [5]. Основные геотермальные проявления приурочены к двум крупным гидротермально-магматическим системам: Паратунской и Ягоднинско-Банной. Рассмотрим вторую более подробно.

Ягоднинско-Банная гидротермально-магматическая система, включающая Большебанное месторождение термальных вод, приурочена к купольно-кольцевой вулcano-тектонической структуре диаметром около 30 км. В южной части системы выделяется магматический центр вследствие образования крупных многофазных интрузивно-субвулканических и экструзивно-субвулканических комплексов, имеющих состав от сиенодиоритов до трахириолитов и базальтов (рис. 1).

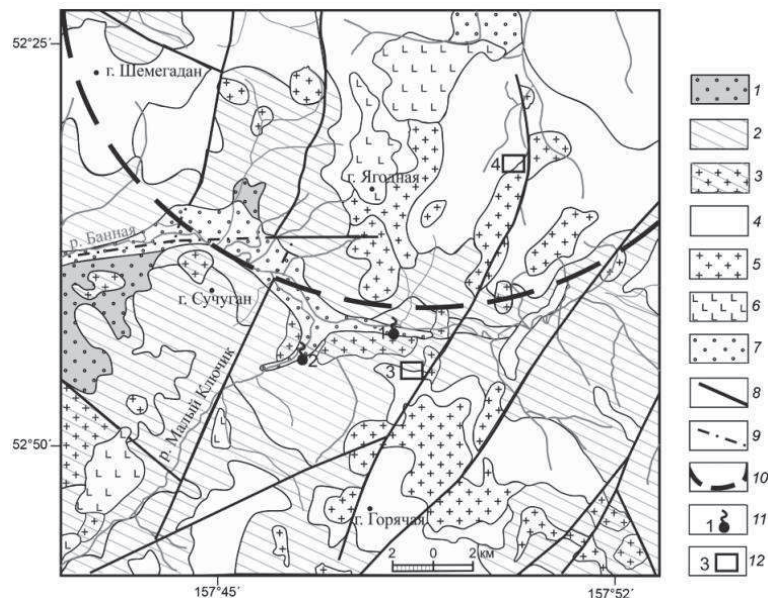


Рис.1. Схематическая геологическая карта района Ягоднинско-Банной гидротермально-магматической системы и современной Больше-Банной гидротермальной системы [8]. 1 – осадочные и вулканогенно-осадочные породы жировской толщи; 2-3 – средне-верхнемиоценовый структурный ярус: 2 – покровные отложения южно-быстринской и карымшинской толщ, 3 – субвулканические образования этих толщ; 4 – андезибазальты начикинской и риолиты балаганчиковской толщ, 5 – субвулканические образования этих толщ, 6 – потоки голоценовых базальтов; 7 – современные аллювиальные отложения, выплняющие грабен р. Банной (в центре схемы) и Начикинский грабен (на севере территории); 8 – разломы достоверные; 9 – разломы предпологаемые; 10 – условная тектоническая граница Ягоднинско-Банной гидротермально магматической системы; 11- геотермальные проявления и их номера: 1 – Больше-Банное геотермальное месторождение, 2 – термальные истоники Малые Банные; 12- месторождения минерального сырья и их номера: 3- Больше-Банное рудное, 4 – Ягоднинское цеолитов и активных минеральных добавок.

В основании системы залегают породы эоцен-нижнемиоценового структурного яруса: песчаники, алевролиты, гравелиты, туффиты жировской толщи. Выделяется два этапа эволюции системы: средне-верхнемиоценовый (раннеорогенный) и плиоцен-четвертичный

(позднеорогенный). Первый ярус представлен покровной фацией (андезиты, их туфы, кластолавы, туффиты, туфогравелиты) и суб-вулканическими образованиями (штоки андезитов, диоритов и габбродиоритов) южно-быстринской, а также карымшинской толщ. Второй ярус включает породы двух толщ: начиинской андезибазальтовой плиоценового возраста (андезиты, базальты, туфы, лавобрекции, туффиты, и соответствующие им по составу вулканические тела) и балаганчиковской риолитовой четвертичного возраста (лавы риолитов, дацитов, туфы и игнимбриты; субвулканические и экструзивно-жерловые образования). Экструзивно-субвулканические комплексы первого структурного яруса контролируют положение Больше-Банного рудного и одноименного геотермального месторождения и Малых Банных источников.

Больше-Банное месторождение было детально изучено в 1961-1970 гг. Камчатским геологическим управлением с привлечением большого количества исследователей отраслевых НИИ и Академии наук СССР. Подробный анализ дан в работах.

Термальные источники Большие и Малые Банные расположены в грабене долины р. Банной и приурочены к крупному субвулканическому телу среднего состава. Предполагается, что их тепловое питание связано с массивом сопки Горячей, вероятно, объединяющим в единую вулкано-плутоническую структуру разновозрастные (от миоцена по голоцен) интрузивно-субвулканические комплексы. Источники характеризуются незначительным дебитом 1-2 л/с и температурой от 57 °С до 100 °С в котлах. Парогазовая смесь на оголовках скважин может достигать 120 °С. Тип циркуляции вод преимущественно трещинно-жильный. Водоносные горизонты, по данным бурения, отмечаются в интервале глубин 300-600 до 800-1000 м. Балансовая площадь Больше-Банного месторождения составляет 45.8 км². По газовому составу воды являются углекисло-азотными.

В 2015 году сотрудниками лаборатории геотермии ИВиС ДВО РАН, совместно с участниками научно-исследовательского лагеря «Геофизик-15», были проведены геофизические исследования с целью детального изучения структуры зоны разгрузки парогидротерм Больше-Банного геотермального месторождения. Выполнена магнитометрическая съёмка, сейсморазведочные исследования методом отраженных волн, электроразведочные исследования методами вертикального электрического зондирования и естественного потенциала, температурная съёмка.

Магнитометрические исследования проведены по сети профилей с шагом 5 метров по профилю и 25 метров между профилями. Использовались два высокоточных (+/- 0.1 нТл) магнитометра GSM-19W (GEM System). Один был установлен в качестве вариационной станции для записи суточных изменений магнитного поля и устранения их влияния на стадии обработки. Другим прибором выполнялась пешеходная съёмка.

По результатам магнитной съёмки была построена карта аномального магнитного поля ΔT . На фоне положительных значений, свойственных для пород, не подверженных геотермальному изменению, в районе современной термальной разгрузки выделяется отрицательная магнитная аномалия (-450 нТл), связанная с гидротермальным изменением пород, однако границы аномалии меньше границ термальной разгрузки по 20 градусной изотерме, полученных в результате термосъёмки.

Для проведения электроразведочных работ применялись: многофункциональный электроразведочный измеритель МЭРИ-24 (ООО «Северо-Запад»), электроразведочный генератор ВП-1000 (ООО «ЭлГео»), программный комплекс IPI2WIN (МГУ; Бобачёв, Модин, Шевнин).

Разносы питающей линии составили от 5 до 1040 м, приёмной линии от 1 до 25 м. Это позволяет изучить геоэлектрические свойства пород на глубину до 300 м.

Вертикальные электрические зондирования выполнены в 10 точках с шагом от 50 до 100 м по направлению юг-север. Ещё 7 точек ВЭЗ располагаются на профиле запад-восток, расстояние между точками 50 м.



Рис.2. Схема расположения профилей на площади Больше-Баннх термальных источников [5].

● - пункты ВЭЗ, - профили ЕП, — - профиль запад-восток

По 1 точке проведены контрольные измерения, средняя относительная погрешность съёмки составила 2.5%, что позволяет считать результаты точными и достоверными. По результатам съёмки в программном комплексе IPI2WIN был построен геоэлектрический разрез (рис. 3).

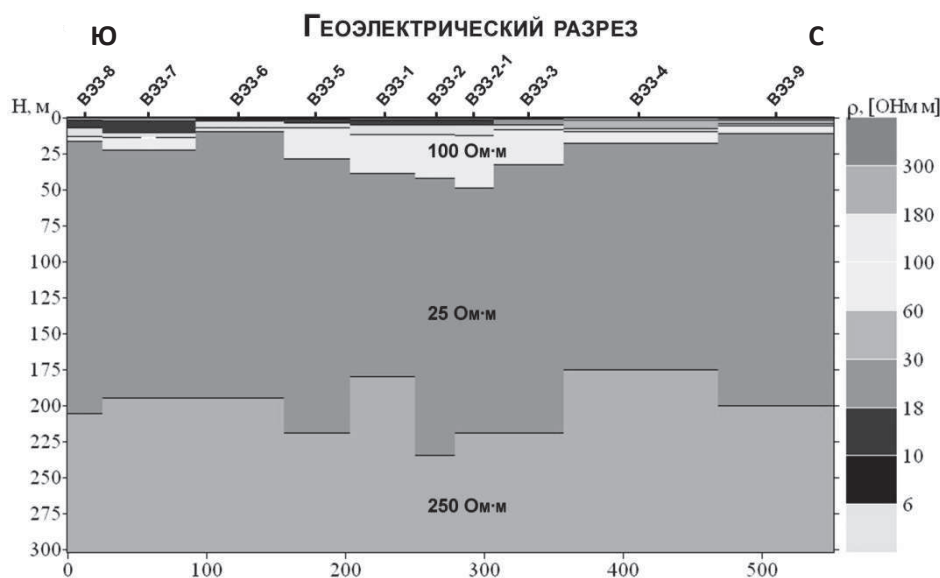


Рис.3. Геоэлектрический разрез

По удельному электрическому сопротивлению выделяются пять горизонтов пород. Первый обладает сопротивлениями от 15 до 300 Ом·м и мощностью от 5 до 10 м, по данным бурения [4] соответствует толще, сложенной суглинком, песком и валунами. Второй – обводнённый с сопротивлением 3-4 Ом·м имеет мощность от 1 до 5 м, трещиноватые андезиты, гидротермально изменены (величина гидротермального изменения с глубиной уменьшается). Третий – с сопротивлением 100 Ом·м и мощностью от 10 до 50 м, с

утолщением в центральной части профиля, туф смешанного (андезито-дацитового) состава, гидротермально изменённый. Четвертый горизонт имеет мощность от 160 до 200 м, характеризуется сопротивлением 25 Ом·м и является водоносным, представлен в основном трещиноватыми андезитами, туфами и туфолавами. Пятый, нижний водоупорный горизонт с сопротивлением 250 Ом·м, прослеживается с глубины 200 м, сложен андезитами с незначительной трещиноватостью.

Разрез по профилю запад-восток хорошо коррелирует с разрезом по основному профилю и отображает аналогичную картину по глубине и сопротивлению горизонтов.

Измерения естественного электрического поля выполнены потенциал-установкой с одного пункта наблюдения в районе пункта ВЭЗ-1 по 8 профилям (рис. 2). Семь профилей располагались с юга на север, шаг составил 50 на 5 м. Опорный профиль проходил в крест остальным, с шагом 2.5 м. По результатам съёмки была обнаружена отрицательная аномалия, приуроченная к разломной зоне трассируемой руч. Ящичный. Карта изолиний естественного потенциала хорошо коррелирует с температурной съёмкой.

Сейсморазведочные работы выполнялись 48-ми канальной телеметрической сейсморазведочной системой ТЕЛСС-3 («ООО» Геосигнал). Использовался механический источник возбуждения упругих колебаний. По результатам исследований был построен сейсмотомографический разрез на глубину до 40 м. При анализе разреза сделан вывод, что в целом распределение скорости – слоистое, значения скорости растут с глубиной, что отражает главным образом увеличение плотности грунтов с ростом геостатического давления. На фоне слоистого характера разреза отмечаются участки повышенных значений скорости в приповерхностной части и неравномерное распределение скорости в нижней части разреза, что говорит о неоднородности подстилающего слоя, связанного с интенсивной гидротермальной деятельностью.

По результатам проведенных геофизических исследований уточнено строение зоны разгрузки парогидротерм в приповерхностной части разреза. Выделены области проницаемые для геотермального раствора и водоупорные горизонты пород. Выделенные особенности гидрогеологических условий так же важны для развития рекреационных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Апрельков С.Е. Тектоника и история вулканизма Южной Камчатки//Тектоника. 1971. №2. С. 105-111.
2. Белоусов В.И. Геология геотермальных полей. М.: Наука, 1978. 176 с.
3. Долгоживущий центр эндогенной активности Южной Камчатки. М.: Наука, 1980. 172 с.
4. Коваленко В.Я., Зальмарович И.И. Промежуточный отчёт о результатах работ на Большебанном месторождении термальных вод в 1962г. Альбом ВЭЗ / Северо-восточное геологическое управление, Камчатское РайГРУ. Петропавловск-Камчатский, 1968г. С. 50-59.
5. Леонов В.Л., Рогозин А.Н. Карымшина — гигантская кальдера-супервулкан на Камчатке: границы, строение, объем пирокластике // Вулканология и сейсмология. 2007. № 5. С. 14-28.
6. Пийп Б.И. Термальные ключи Камчатки. М.-Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1937. 268 с.
7. Рычагов С.Н., Бойкова И.А., Сандиминова Е.И. Ягоднинско-Банная гидротермально-магматическая система (Камчатка): контроль цеолитового, рудного и геотермального месторождений: Материалы XII петрограф, совещ. «Петрография магматических и метаморфических горных пород». Петрозаводск: КНЦ РАН, 2015. С. 534-539.
8. Чудаев О.В., Челноков Г.А., Брагин И.В., Харитоновна Н.А, Рычагов С.Н., Нуждаев А.А., Нуждаев И.А. Геохимические особенности распределения основных редкоземельных элементов в Паратунской и Большебанной гидротермальных системах Камчатки // Тихоокеанская геология. 2016. Т. 35, № 6. С. 102-119.

УДК 550.831.016

ОЦЕНКА РАЗЛИЧИЙ АНОМАЛИЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ ДЛЯ ПЛОСКОЙ И СФЕРИЧЕСКОЙ МОДЕЛЕЙ ЗЕМЛИ

Долгаль Александр Сергеевич¹, Бычков Сергей Габриэльевич²

¹ dolgal@mi-perm.ru

² bsg@mi-perm.ru

^{1,2} Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Россия, г. Пермь

Аннотация. На модельных примерах проведена оценка различий аномалий силы тяжести, обусловленных использованием плоской и сферической моделей Земли при интерпретации материалов гравиметрической съемки. Охарактеризованы искажения геометрии геоплотностного разреза, возникающие при разных подходах к преобразованию координат источников и точек расчета поля. Представлены предложения по направлению дальнейших исследований.

EVALUATION OF DIFFERENCES OF GRAVITY ANOMALIES FOR FLAT AND SPHERICAL EARTH MODELS

Alexander Dolgal¹, Sergey Bychkov²

¹ dolgal@mi-perm.ru

² bsg@mi-perm.ru

^{1,2} Perm Federal research center of Ural branch of Russian Academy of Sciences, Russia, Perm

Summary. On model examples we estimated the differences in gravity anomalies caused by the use of flat and spherical models of the Earth during interpreting materials of gravimetric survey. The authors characterized distortions in the geo-density section induced by different approaches to transformation of coordinates of sources and calculation points of the field. The article contains proposals for further research.

Введение. При решении различных геодезических задач в качестве моделей Земли рассматриваются плоскость, шар, эллипсоид вращения, квазигеоид, геоид. При интерпретации данных гравиразведки наиболее широко применяется модель "плоской Земли", в которой используется прямоугольная система координат x, y, z и аномалии силы тяжести отвечают составляющей V_z гравитационного потенциала V . Модель "сферической Земли", являющаяся более точным приближением к форме нашей планеты, успешно используется при изучении больших территорий (например [1, 6]). В этом случае при решении прямых и обратных задач гравиразведки используется сферическая система координат r, φ, λ и радиальная составляющая V_R потенциала V .

По мнению В.Н. Страхова, одним из основных направлений развития гравиразведки является разработка теории, методов и численных алгоритмов, основанных на представлении о Земле, как о теле, близком к сфере, с использованием соответствующих аналитических соотношений в r, φ, λ [7]. Переход к "сферической Земле" следует проводить для территорий, обладающих линейными размерами более 100 км [7]. Однако есть и другие мнения, в частности, приводятся результаты вычислительных экспериментов, свидетельствующие о том, "что для среднемасштабных плотностных моделей небольшой глубины (порядка десятков километров) поправка в значения поля за «сферичность» Земли не превышает 1 %" [4]. Это утверждение не согласуется с ранее представленными нами оценками [3], поэтому предлагаем вновь вернуться к этому вопросу.

В прикладной геофизике для оценки аномальных эффектов и определения разрешающей способности методов нередко используются простейшие модели. Например:

модель бесконечного плоского слоя позволяет получить приближенную (по максимуму) величину гравитационного эффекта от субгоризонтального пласта, обладающего той же мощностью и эффективной плотностью; решение прямой 1D-задачи электрического зондирования с добавлением дополнительного горизонта характеризует возможность его выделения в разрезе при проведении полевых измерений; расчет магнитного поля от локального объекта простой формы при разных положениях его верхней кромки дает оценку глубинности метода при решении конкретной поисковой задачи. Используем аналогичный подход, чтобы проанализировать изменения силы тяжести, обусловленные различием плоской и сферической моделей для сравнительно небольших по размерам участков поверхности Земли.

Вычислительный эксперимент 1. Рассмотрим простой пример: профиль гравиметрических измерений AD длиной 300 км, проходит по меридиану от северного полюса к югу и включает в себя 151 точку измерений. Земля является сферой с радиусом 6371 км. В однородном по плотности нижнем полупространстве располагаются 2 одинаковых аномалиеобразующих объекта – шары диаметром 20 км, обладающие избыточной плотностью 0.2 г/см^3 . Расстояния (дуги) $AB = BC = CD = 100 \text{ км}$, глубины до центров шаров, отсчитываемые по нормали к земной поверхности $BB^* = CC^* = 20 \text{ км}$. Как очевидно, линия A^*D^* находится на внутренней эквипотенциальной поверхности (сфере с радиусом 6351 км). Расстояния (дуги) на этой поверхности $A^*B^* = B^*C^* = C^*D^* \cong 99.686 \text{ км}$ (рис. 1а). Назовем эти построения моделью №1. Решение прямой задачи гравиразведки в системе $r\varphi\lambda$ показывает, что максимальные амплитуды аномалий V_R над центрами шаров достигают 14.08 мГал при ширине на уровне полумаксимумы $\sim 30 \text{ км}$ (рис. 2).

Для построения модели данного профиля в системе xuz используем цилиндрическую равноугольную картографическую проекцию Гаусса-Крюгера, предполагая, что линия AD принадлежит осевому меридиану. Для построения проекции этого меридионального сечения возьмем 2 соосных цилиндра с радиусами $R_1 = 6371 \text{ км}$ и $R_2 = 6351 \text{ км}$. В этом случае почти все линейные размеры плоской модели №2, представленной на рис. 1б, будут полностью совпадать с вышеуказанными значениями для модели №1. Исключение составляют субвертикальные линии $BB^* \cong 20.003$ и $CC^* \cong 20.010 \text{ км}$. Рассчитаем аномальный эффект источников V_z на горизонтальном профиле AD и сравним полученные величины с имеющимися у нас значениями V_R модели №1. Их разность Δ будет лежать в диапазоне от -0.356 мГал до 0.394 мГал .

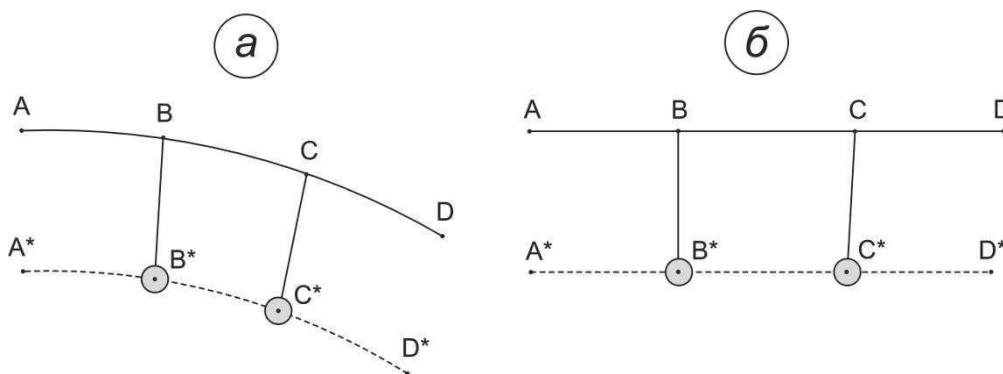


Рис. 1. Схемы размещения источников гравитационного поля:
 а – на сферической Земле (модель №1); б – на плоской Земле (модель №2).

Однако, сместив по горизонтали центры шаров B^*, C^* в сторону точки D^* на 314 м и 628 м, соответственно, можно добиться практически полного совпадения полей V_R и V_z для сферической Земли и ее новой плоской модели №3. Диапазон разности Δ в этом случае составит $[-0.024, 0.010] \text{ мГал}$. Именно такой принцип геоплотностного моделирования предлагается в работе [4]: согласно правилам картографической проекции в нем

определяется только местоположение (географические или прямоугольные координаты) точек на земной поверхности. При этом не учитываются неизбежно возникающие искажения в геометрических параметрах источников (в данном случае - это местоположение центров шаров). Фактическое расстояние L по прямой (хорде) между точками B^* и C^* равно 99.685 км (рис. 1а), а в рассматриваемой модели №3 (близкой по виду к представленной рис. 1б) – 100 км. Следовательно, данная модель №3 является эквивалентной, т.е. заведомо не обеспечивающей аппроксимацию распределения плотности в изучаемой среде, но обеспечивающей высокую степень близости полей [2]. Представляется некорректным отождествлять полученные низкие значения Δ с "поправкой за влияние сферичности Земли" [4]. Отметим, что необходимым условием успешного решения геологических задач с помощью гравиразведки является сохранение расположения интересующих нас аномалиеобразующих относительно точки наблюдений [5]. Следует добавить, что авторы использовали преобразование Гаусса-Крюгера в этом эксперименте, вместо традиционного ортогонального проектирования точек, с целью минимизации величины Δ .

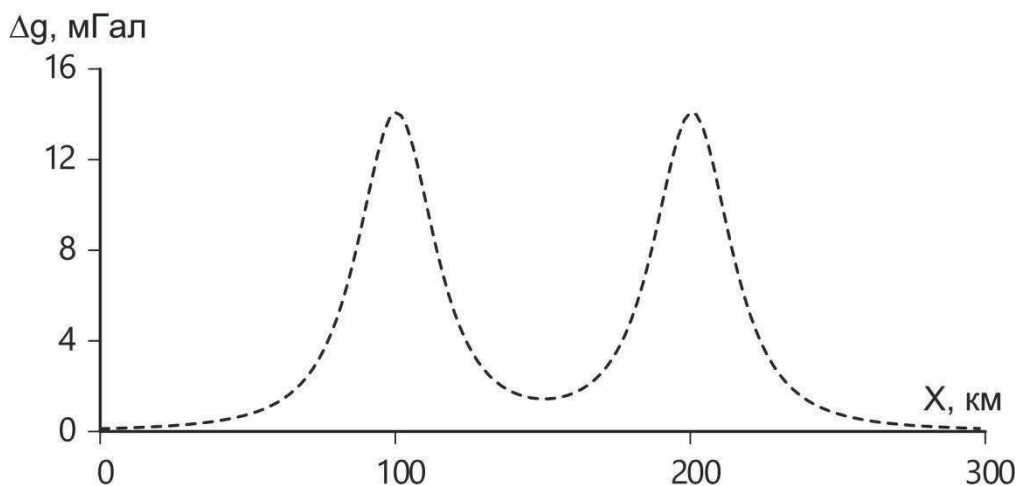


Рис. 2. Гравитационное поле V_R модели №1.

Вычислительный эксперимент 2. С целью независимого контроля представленных результатов выполним еще один цикл расчетов (эксперимент 2). Попытаемся приближенно оценить влияние замены плоской уровенной поверхности на сферическую для плоской модели №3 разреза (близкой к рис. 1б), где прямые $AB = BC = CD = 100$ км и $A^*B^* = B^*C^* = C^*D^* = 100$ км, глубины центров шаров – 20 км. Расчет поля V_z для нее был выполнен ранее. Описание модели №4, использующейся при расчете V_R , приводится ниже.

Поместим центр O сферической Земли на глубине 6371 км под начальной точкой A профиля наблюдений. Отклонения точек расчета поля от горизонтали в используемой при расчетах системе координат xuz определяются по формуле $z = \sqrt{6371^2 - x^2}$ и составляют для точки B – 785 м, для точки C – 3140 м. Увеличим глубины центров соответствующих шаров на эти значения, без изменения их горизонтальных координат x [3]. Вертикальные линии, по которым произошло перемещение аномалиеобразующих масс, близки к нормальям к поверхности сферической Земли: углы между ними в точках B и C составляют менее 1° и 2.0° , соответственно. Длина криволинейного профиля по сравнению с горизонтальным AD увеличилась на 111 м, но максимальное изменение расстояний между точками расчета не превышает 2 м (0.1% от шага измерений). Расстояние L между центрами перемещенных по OZ шаров увеличилось на ~ 27.7 м, сами шары находятся на разных уровенных поверхностях.

Безусловно, в геометрические параметры моделируемого разреза внесены определенные искажения, но они существенно меньше, чем при предлагаемых в работе [4]

преобразованиях координат и глубин (где $L = 99.685$ км). Величина среднеквадратической погрешности при вычислении поля V_R , связанной с изменением длины расчетного профиля, не превышает 0.004 мГал. Разность полей Δ изменяется в диапазоне от -0.353 мГал до 0.398 мГал.

Обсуждение результатов. Легко заметить высокую степень близости оценок, полученных в ходе двух различных вычислительных экспериментов (рис. 2). Физический смысл представленных графиков очевиден: в эпицентрах локальных аномалий, обусловленных одинаковыми массами, разности V_R и V_Z близки к нулю; знакопеременный характер Δ связан с геометрическими особенностями использованных моделей. Следует подчеркнуть, что размах значений Δ ("влияние сферичности") составляет более 5% от максимальной амплитуды гравитационных аномалий над центрами источников.

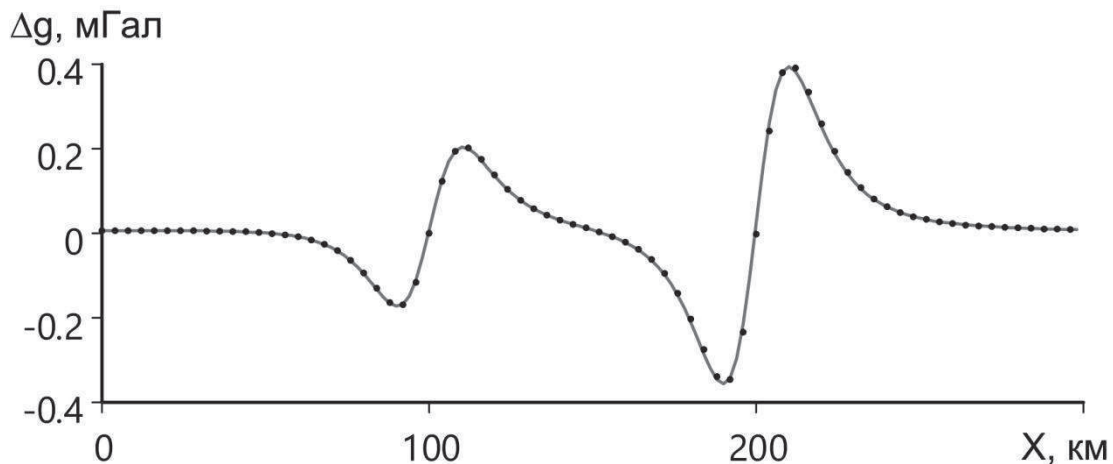


Рис. 3. Разности Δ гравитационных аномалий V_R и V_Z для сферической и плоской моделей Земли: сплошная линия - эксперимент 1 (модели №1 и №2); точки - эксперимент 2 (модели №3 и №4).

В качестве обобщенной характеристики геометрии построенных моделей можно использовать показатель $F_k = \frac{m}{i=1} \frac{n}{j=1} \rho_{ij}^2 (mn)$, где k – номер модели; i – номер шара; j – номер точки расчета поля; ρ – евклидово расстояние между i -м источником и j -й точкой; в данном случае: $1 \leq k \leq 4$, $m = 2$, $n = 151$. Величина F_k представляет собой среднее квадратическое расстояние между точками расчета и аномалиеобразующими объектами для каждой модели: $F_1 = 101.8274$ км, $F_2 = 101.9033$ км, $F_3 = 101.9837$ км, $F_4 = 101.9402$ км. Разность $F_2 - F_1 = 75.9$ м связана с неустранимой погрешностью, обусловленной искажениями, возникающими при замене сферической поверхности Земли горизонтальной плоскостью; более низкая величина $F_3 - F_4 = 43.5$ м предположительно может быть связана с "квазисферичностью" модели №4; максимальные расхождения в геометрических параметрах $F_3 - F_1 = 156.3$ м отмечаются для моделей №1 и №3 (эти модели соответствуют друг другу согласно правилам преобразования координат и глубин, изложенным в [4]).

Заключение. Представленные результаты свидетельствуют о том, что вопрос о целесообразности использования сферической модели Земли в процессе интерпретации среднемасштабных гравиметрических съемок нельзя считать закрытым. Гравитационные эффекты, обусловленные перемещением в пространстве аномалиеобразующих масс при моделировании в разных системах координат, существенно превышают точность измерений современной аппаратурой. Граничные условия перехода от плоских 2.5D и 3D геоплотностных моделей к более сложным в дальнейшем целесообразно определить для разных физико-геологических ситуаций с помощью имитационного моделирования. Использование базовых представлений о шарообразной Земле повышает адекватность

интерпретационных построений реальности и устраняет искажения, связанные с переходом от географических координат φ, λ к прямоугольным X, Y при изучении больших территорий. Вычислительные возможности современных компьютеров позволяют реализовать решение прямых и обратных задач гравиразведки в сферической системе координат $r\varphi\lambda$ при сравнительно небольших затратах времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глазнев В.Н. Комплексные геофизические модели литосферы Фенноскандии. Апатиты: «КаэМ», 2003. 252 с.
2. Гравиразведка: справочник геофизика / под ред. Е.А. Мудрецовоу, К.Е. Веселова. М.: Недра. 1990. 607 с.
3. Долгаль А.С., Симанов А.А., Хохлова В.В. Решение геокартировочных и прогнозно-поисковых геологических задач методом гравиразведки с учетом сферичности Земли // Георесурсы. 2015. Т. 2. № 4 (63). С. 56–61.
4. Ладовский И.В., Бызов Д.Д., Черноскутов А.И. О проблеме построения среднemasштабных плотностных моделей для сфероидальной Земли // Уральский геофизический вестник. 2017. № 1 (29). С. 73–97.
5. Ладынин А.В. Потенциальные геофизические поля в задачах геологии. Новосибирск: Новосибирский гос. ун-т. 2008. 264 с.
6. Муравина О.М. Плотностная модель земной коры Воронежского кристаллического массива // Вестник Воронежского гос. ун-та. Сер. Геология. Воронеж, 2016. № 1. С. 108–114.
7. Страхов В.Н. Разрушение господствующего стереотипа мышления – главнейшая задача в развитии теории и практики интерпретации потенциальных полей (гравитационных и магнитных аномалий) в начале XXI века. М.: ОИФЗ РАН, 2000. 44 с.

УДК 550.834.3(371.1)

**ЗНАЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ О СТРОЕНИИ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЛИТОСФЕРЫ
УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА ДЛЯ РАЗВИТИЯ НАУК О ЗЕМЛЕ**

*Дружинин Владимир Степанович, Начапкин Николай Иванович,
Осипов Вячеслав Юрьевич
e-mail: druvs@mail.ru, nachapkin@mail.ru, usc_slava@mail.ru
Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН
Россия, г. Екатеринбург*

Аннотация. В данной работе рассмотрена специфика современного строения верхней части литосферы Уральского региона. Она не укладывается в представления о динамике развития, предлагаемые теорией плиттектоники. Развитие наук о Земле возможно, если объективная информация о глубинных структурах рассматривается специалистами широкого круга. Информация о глубинных структурах Урала во многом согласуется с современными данными о других регионах, включая Арктику.

**SIGNIFICANCE OF INFORMATION ON THE STRUCTURE UPPER PART
LITHOSPHERE OF THE URAL REGION FOR DEVELOPMENT OF SCIENCES ABOUT
EARTH**

*Druzhinin V.S., Nachapkin N.I., Osipov V.Yu.
e-mail: druvs@mail.ru, nachapkin@mail.ru, usc_slava@mail.ru
Institute of Geophysics Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (IGF UB RAS),
Yekaterinburg, Russia*

Summary. In this article the specific features of modern structure upper part lithosphere of the Urals region are considered. She does not fit into the ideas about the dynamics of development offered by theory of plate tectonics. The development of earth sciences is possible if objective information on deep structures is considered by specialists of a wide range. The information on deep structures of the Urals in many respects is consistent with modern data on other regions, including the Arctic.

Введение. Решение региональных тектонических и многих проблем наук о Земле нуждается в информации о строении земной коры и верхней мантии. Уровень этих данных должен соответствовать сложноустроенным и объемным моделям геологической среды. Наиболее подходящим для их решения является Уральский регион, который достаточно (по сравнению с другими регионами) изучен глубинными сейсмическими исследованиями и где, по результатам анализа и их обобщения на основе разработанной геофизической технологии с учетом информации по четырем сверхглубоким и десяти глубоким параметрическим скважинам, создана *объемная* геолого-геофизическая модель верхней части литосферы (глубинный уровень 80 км) масштаба 1:2 500 000 и схема тектонического районирования основных ее подразделений. Уральский регион представлен восточной и северо-восточной окраинами Восточно-Европейской платформы (ВЕП), Уральской складчатой системой (УСС), являющейся пограничной геоструктурой между Восточно-Европейской, и Западно-Сибирской платформами [1].

В состав Уральского региона входят основные типы континентальной коры, которые различаются возрастом, историей формирования, составом и степенью метаморфических преобразований кристаллической коры.

В данной работе рассмотрена специфика современного строения верхней части литосферы (ВЧЛ) Уральского региона. Соответствие ее современным *представлениям геодинамики* и их развитие должно быть предметом объективного рассмотрения

специалистами широкого профиля, что послужит основой дальнейшего развития наук о Земле.

Общая характеристика верхней части литосферы (ВЧЛ)

Современное строение ВЧЛ является результатом всей истории поэтапного развития Земли, различающихся масштабом, энергией и направленностью, как для этапов, так и для геоструктур. Расшифровка геодинамических перестроек для отдельного подразделения и определенного этапа развития вне анализа всего регионального «ансамбля» затруднительна. Но для реализации такого подхода нужен совершенно другой уровень информации о глубинном строении, как основного фактора, определяющего специфику строения приповерхностной части разреза. Это стало возможным в результате обобщения данных глубинных исследований в Уральском регионе, выполненном в Институте геофизики УрО РАН в начале XXI века [1, 5, 6, 7, 9].

Установлены следующие основные моменты.

1. Расслоенность земной коры и ВЧЛ на сейсмологические этажи, обусловленное наличием двух регионально выдержанных поверхностей раздела: кровли и подошвы кристаллического фундамента, ниже которых находятся комплексы пород с относительно незначительными вариациями физических параметров. Ниже поверхности нижнеархейского кристаллического фундамента (K_{01}) располагаются преимущественно серые гнейсы с мелкими интрузивными телами различного состава. Они соответствуют гетерогенной в сейсмическом отношении среде с осредненными значениями скорости продольных волн $V=6,05\pm 0,1$ км/с, плотностью $\rho=2,79\pm 0,025$ г/см³. Подошвой кристаллической коры является основная граница верхней мантии (M_{cr}), ниже которой находятся комплексы со значениями скорости продольных волн $V=8,15\pm 0,25$ км/с, соответственно с расчетной плотностью $\rho=3,35\pm 0,05$ г/см³.

2. Наиболее концентрированно глубинные процессы проявлены в верхней оболочке Земли – первый сейсмогеологический этаж, представленный геосинклинальными, метаморфизованными, складчатыми комплексами, соответствующими послепалеозойскому этапу развития.

3. Присутствие между основными подразделениями земной коры промежуточных разномасштабных и разновозрастных комплексов. Наличие такого комплекса не исключено на Кольской СГ-3, где нижнеархейские гнейсы находятся на 10,0 км ниже нижнепротерозойских метавулканитов мощностью до 7,0 км и расланцованного комплекса, принятого за AR_2 [8]. На Южно-Татарском своде (ЮТС) (район Новоелховской сверхглубокой скважины) древнейший мегакомплекс AR_1 расположен непосредственно под отложениями D мощностью до 2,0 км. Это может быть свидетельством развития ЮТС преимущественно в режиме поднятия, включая нижнепротерозойский цикл развития, вследствие чего древний промежуточный комплекс здесь отсутствует.

Переходные комплексы между собственно осадочными породами и поверхностью консолидированного фундамента, установлены в первую очередь в хорошо изученных нефтегазовых провинциях. На ВЕП это породы в возрастном отношении R_1-V_1 , на ЗСП диапазон составляет $D-T$. Мощность переходных комплексов изменяется в широких пределах от 0,5–1,0 км до 8,0 км. В работе [6] приведены схематические модели верхней коры некоторых районов континентальной коры для разных стадий ее развития.

4. В низах коры находится переходный мегакомплекс ($K-M$), различающийся мощностью и моделью геологических структур. Для стабильных подразделений континентальной коры он может быть представлен градиент-тонкослоистой толщей мощностью до 3,0–5,0 км; для активных структур, совпадающих с пограничными зонами, такими как УСС, значения мощности $K-M$ достигает 20,0 км. Сейсмическая среда представлена слоистой моделью с инверсией скорости или горизонтальной расслоенностью с вариациями скорости в интервале 7,0–8,0 км/с.

Таким образом переходные комплексы являются особенностью модели ВЧЛ. Их неучет приводит к значительным ошибкам определения положения основных поверхностей раздела и соответственно затушевывает различия в глубинном строении геоструктур.

5. Следующей основной особенностью является разломно-блоковая модель ВЧЛ (рис. 1). Она прослежена до всего рассматриваемого глубинного уровня в 80 км, где нами определен региональный уровень изостатического выравнивания аномалии силы тяжести. Именно для этого уровня предполагается иерархическая блоковость геологической среды [1].

6. Установлена широтная и меридиональная зональность кристаллической коры Уральского региона (рис. 1) [6]. В современной картине тектонического строения их взаимодействие проявлено в существенных отклонениях (до 200 км и более) положения контуров основных геологических структур от осредненного субмеридионального направления, что демонстрируется тектонической схемой кристаллической коры (рис. 2).

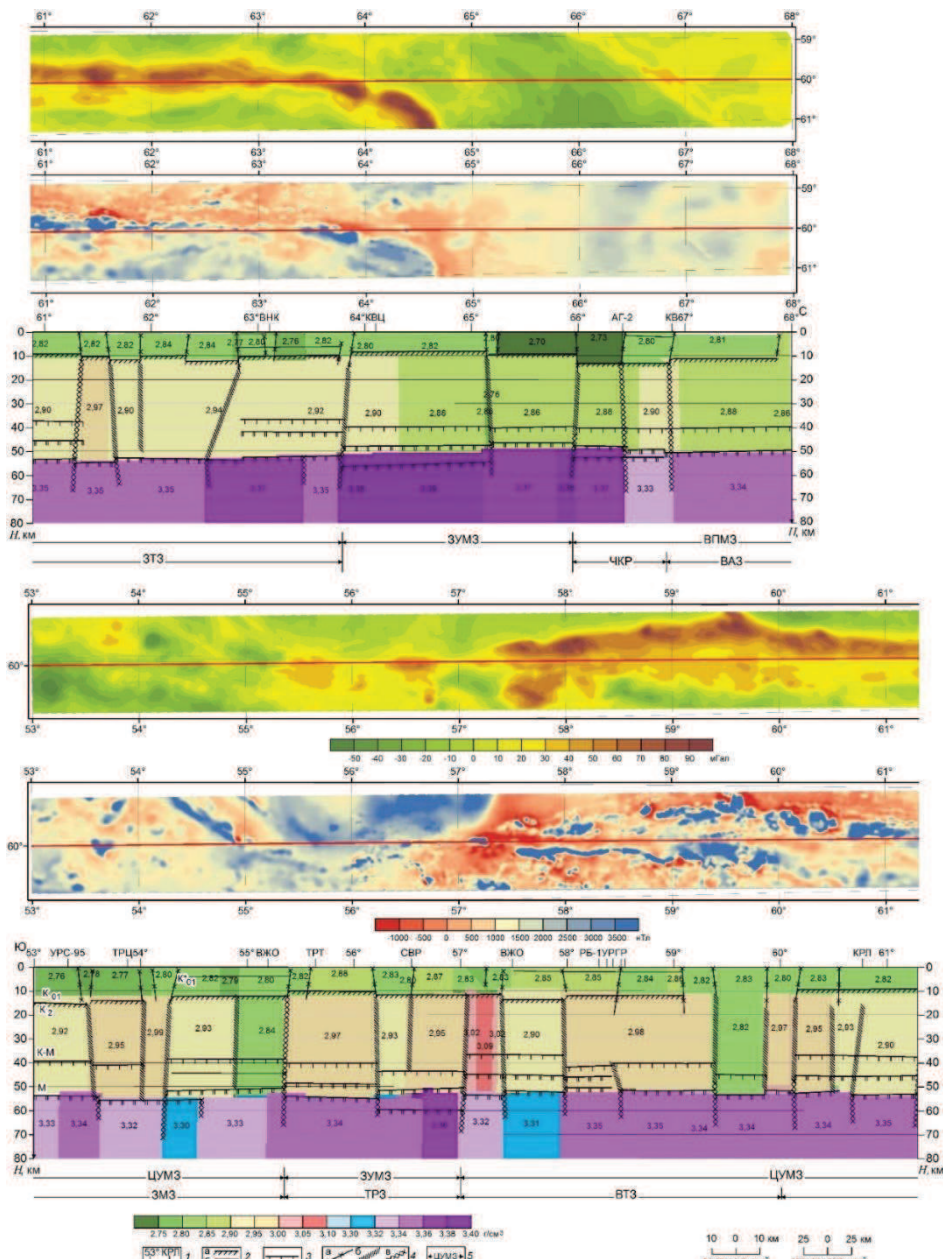


Рис. 1. Сейсмогеоплотностной разрез (модель) по сечению М-60

Условные обозначения к рис. 1: 1 – линия профиля с градусной привязкой, участками пересечения профилей; над разрезом приведены в виде полосы шириной 100 км потенциальные поля Δg и ΔT ; вертикальная расслоенность верхней части литосферы (2–3): 2 – поверхности: а – кристаллической коры (K_{01}), б – основного сейсмогеологического раздела М – подошва кристаллической коры; 3 – поверхность переходного

мегакомплекса в низах коры; 4 – разрывные нарушения: в верхней части коры (а), в кристаллической коре (б), в верхней мантии (в); 5 – горизонтальные неоднородности верхней части литосферы, соответствующие основным геологическим подразделениям: Восточно-Печорская мегазона (ВПМЗ) в составе зон: Варендей-Адзвинской (ВАЗ), Чернышевско-Косью-Роговской (ЧКР), Восточно-Тиманской (ВТЗ), Западно-Уральская мегазона (ЗУМЗ) в составе Тараташской зоны (ТРЗ), Центрально-Уральская мегазона (ЦУМЗ) в составе зон: Западно-Тагильской (ЗТЗ), Западно-Магнитогорской (ЗМЗ).

Примечание: Тараташская зона, имея аномальные черты глубинного строения, может быть отнесена к Центрально-Уральской мегазоне по аналогии с полярными широтами, где выполнено такое районирование с отнесением Центрального Уральского поднятия в состав этой мегазоны.

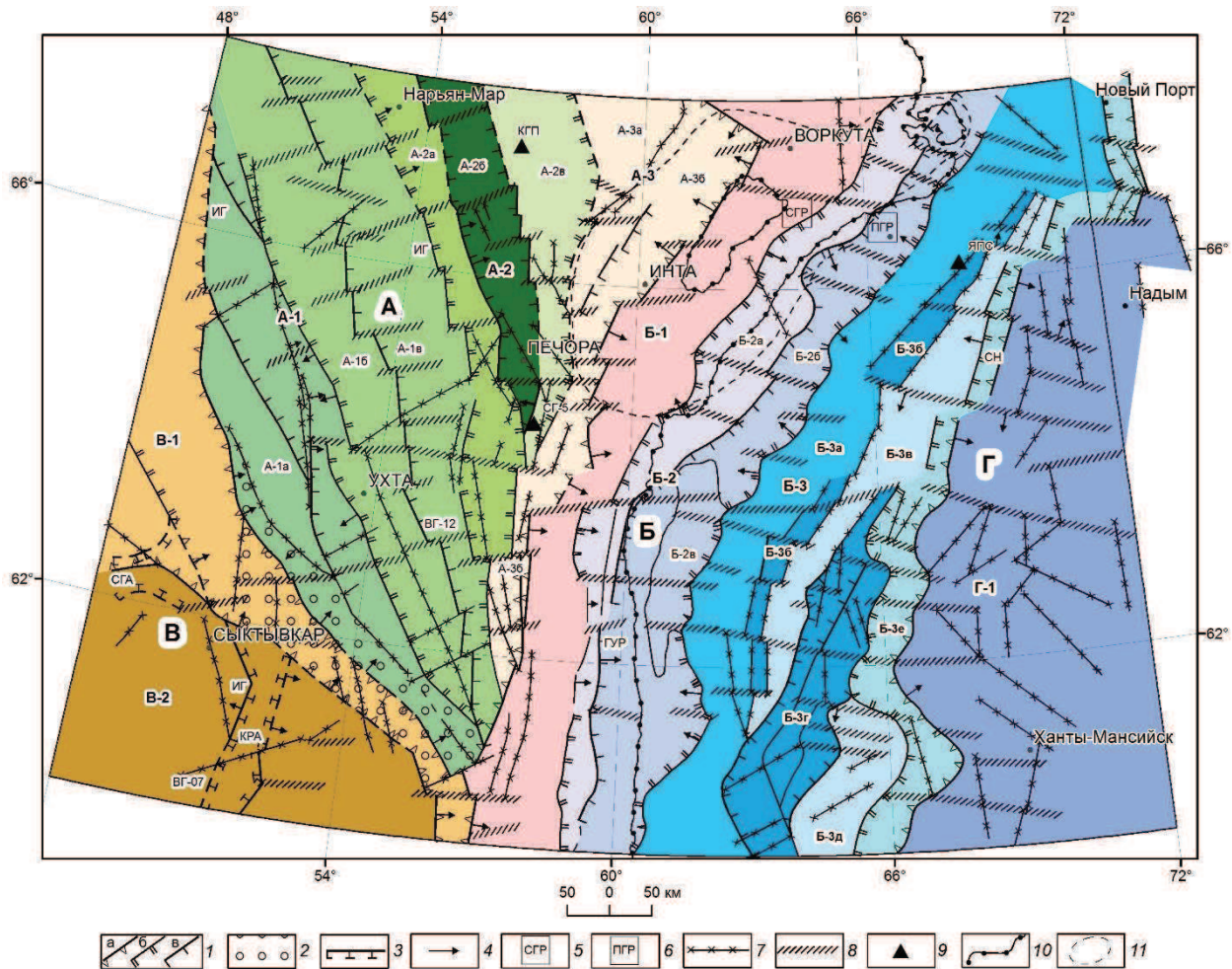


Рис. 2. Региональная карта тектоники консолидированного фундамента осадочных бассейнов и приповерхностных структур Уральского региона [4]

Условные обозначения: **Тектоническое районирование.** 1 – контуры: а – основных геологических подразделений (А–Г): А – Тимано-Печорская плита (ТПП); Б – Уральская складчатая система (УСС); В – восточная окраина Восточно-Европейской платформы (ВЕП); Г – западная окраина Западно-Сибирской платформы (ЗСП), б – структур I порядка (А-1 и т.д.), в – структур II порядка (А-1а и т.д.); название структур приведено в тексте; 2 – пограничная зона, образованная сопряжением Тимано-Печорской плиты, восточной окраины Восточно-Европейской плиты и Уральской складчатой системы; 3 – контуры авлакоенов Восточно-Европейской плиты: СГА – Солигаличский, КРА – Кировский.

Разломная тектоника. 4 – направление падения глубинных разломов верхней части разреза по отношению к границам тектонических основных подразделений кристаллической коры; 5 – Салатимский глубинный разлом по западной границе Центрально-Уральского поднятия, относимого к пограничной мегазоне; 6 – платиноносный глубинный разлом (по западной границе Тагильской зоны, соответствующий общепринятому названию «Главный Уральский разлом»); 7 – разломы в пределах структур первого порядка; в пределах Тимано-Печорской плиты показано согласно структурно-тектонической карте Института геологии Коми научного центра УрО РАН; 8 – элементы субширотных нарушений, соответствующие глубинным дислокациям кристаллической коры; они проявлены в осложнении рельефа поверхности фундамента (составленного без их учета), характеристике потенциальных полей, особенно аномального магнитного поля ΔT , расположении базальтов триаса, осадочных отложениях МЗ–КЗ; 9 – скважины глубокого

параметрического бурения: Колвинская (КПП), Тимано-Печорская (СГ-5), Янги-Юганская (ЯПС); 10 – западная граница Западно-Сибирской геосинеклизы; 11 – контур предполагаемого Инта-Воркутинский мегаблока доуралид в современной структуре Уральской складчатой системы.

Примечание: границы подразделений и структур соответствуют глубинным разломам кристаллической коры; перечисление буквенных обозначений и геологических названий даны в тексте при описании тектонического районирования.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке проекта фундаментальных научных исследований УрО РАН 15-18-5-33 (№ 0394-2015-0021).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дружинин В.С., Мартышко П.С., Начапкин Н.И., Осипов В.Ю. Строение верхней части литосферы и нефтегазоносность недр Уральского региона. Монография. Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2014. 226 с.
2. Дружинин В.С., Мартышко П.С., Начапкин Н.И., Осипов В.Ю. Схема тектонического районирования Уральского региона на основе информации о строении верхней части литосферы // Отечественная геология, 2013. № 1. С. 43–58.
3. Дружинин В.С., Мартышко П.С., Начапкин Н.И., Осипов В.Ю., Федорова Н.В. Оценка нефтегазоперспективности Тимано-Печорской плиты с учётом объёмной модели верхней части литосферы // Отечественная геология. 2011. № 3. С. 22–29.
4. Дружинин В.С., Мартышко П.С., Осипов В.Ю. Новая региональная карта тектоники консолидированного фундамента осадочных бассейнов и приповерхностных складчатых структур Уральского региона // ДАН. 2017. Т. 475. №1. С. 60–63.
5. Дружинин В.С., Мартышко П.С., Осипов В.Ю., Начапкин Н.И. Тектонодинамическая модель кристаллической коры Урала и сопредельных территорий // ДАН. 2015. Т. 463 № 2. С. 183–186.
6. Дружинин В.С., Осипов В.Ю. Субширотные дислокации земной коры Уральского региона – звенья системы линеаментов Евразийского континента // Уральский геофизический вестник. 2016. № 2. С. 33–47.
7. Дружинин В.С., Осипов В.Ю., Чувашов Б.И. Динамика приповерхностных структур Приуральской области в верхнепермско-триасовое время и тектоническое районирование кристаллической коры Западно-Сибирской геосинеклизы // Литосфера. 2016. № 4. С. 114–124.
8. Кольская сверхглубокая (Под. ред. Е.А. Козловского). М.: Недра, 1984. 490 с.
9. Мартышко П.С., Дружинин В.С., Начапкин Н.И., Ладовский И.В., Бызов Д.Д., Осипов В.Ю., Цидаев А.Г. Схематическое тектоническое районирование Уральского региона на основе разработанных алгоритмов и методики создания объёмной геофизической модели верхней части литосферы // Литосфера. 2012. № 4. С. 208–218.

УДК 622.235.62

**ИЗУЧЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВА В КАРЬЕРЕ ДЛЯ
ВНЕДРЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ЗАОТКОСНЫХ РАБОТ***Жариков Сергей Николаевич¹, Кутуев Вячеслав Александрович²*¹*e-mail: 333vista@mail.ru*²*e-mail: slavik1988@mail.ru**Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия*

Аннотация. В статье представлено описание исследований в области буровзрывных работ (БВР). Изложен принцип разработки специальной технологии БВР на предельном контуре карьера, который заключается в изучении воздействия взрыва на законтурный массив, установлении закономерностей протекания в массиве волновых процессов, определении взаимодействия зарядов контурной ленты в зависимости от прочностных характеристик массива, проведении опытно-промышленных испытаний способов заоткоски, определении этапности подхода технологических взрывов к охраняемому участку, а также определении критериев оценки эффективности производства БВР.

**THE STUDY OF SEISMIC ACTION OF EXPLOSION IN THE QUARRY FOR THE
IMPLEMENTATION OF SPECIAL BLASTING TECHNOLOGY***Sergey Zharikov¹, Vyacheslav Kutuev²*¹*e-mail: 333vista@mail.ru*²*e-mail: slavik1988@mail.ru**Institute of mining Ural Branch of Russian Academy of sciences, Ekaterinburg, Russia*

Summary. The article describes the research in the field of drilling and blasting (DBW). Presented the option of a special technology of DBW in a open pit on the limit contour, which is made of the study of the impact of the explosion of rocks, research of wave processes in rocks, determining the interaction of charges of explosives tape of contour, depending on the strength characteristics of rock, experimental industrial testing methods forms of ledges of contour quarry, the definition of rules technological explosions near the boards, as well as the definition criteria of efficiency of production DBW.

Увеличение угла откоса ботов карьера ведет к снижению объемов разноски и повышает экономическую эффективность разработки месторождения. Однако, при этом повышается риск обрушения откосных сооружений в карьере в результате геодинамических движений, связанных с горным давлением и влиянием кратковременных импульсных нагрузок, вызванных ведением взрывных работ. Оценка устойчивого состояния откосного сооружения при определенном угле основывается на измерениях сдвижения массива в том или ином направлении в рамках достаточно продолжительных периодов наблюдений, при этом, короткопериодные деформации, приводящие к локальным межблочным подвижкам при обосновании устойчивых углов, не учитываются. В этой связи, не достаточно аккуратное ведение буровзрывных работ вблизи откосных сооружений может вызвать нарушение их устойчивости и привести к катастрофическим оползневым явлениям.

В последнее время горные предприятия проявляют особый интерес к заоткосным работам при подходе буровзрывных работ к предельному контуру карьера. Во-первых, очевидным является тот факт, что даже увеличение затрат на БВР в приконтурной зоне при повышении качества исполнения и соответствующего контроля ведёт к повышению безопасности горных работ, сохранению устойчивого состояния откосов, а, следовательно, повышению экономической эффективности разработки месторождения в целом. Потому, что ликвидация, например, оползня, связана с частичной остановкой добычных работ, а в

некоторых условиях с полной остановкой и соответствующим ущербом иногда с человеческими жертвами. Получается, что повышение безопасности на опасном производственном объекте это не просто статья затрат, а весомый вклад в развитие предприятия, который существенно определяет экономическую эффективность добычи будущих периодов.

Институт горного дела (ИГД УрО РАН) выполняет научно-исследовательские работы по внедрению специальной технологии БВР на предельных контурах карьеров. Для снижения динамического воздействия технологических взрывов на устойчивость откосных сооружений карьера проводится комплекс исследований сейсмической устойчивости горного массива. По результатам исследований сейсмоустойчивости горных пород разрабатывается специальная технология производства БВР на предельном контуре карьера. Технологические приёмы проходят промышленные испытания в рамках соответствующей программы, которая утверждается руководством горного предприятия, включает этапы выполнения, перечень необходимых ресурсов, порядок контроля за выполнением пунктов программы. После реализации программы и опытно-промышленных испытаний полученные результаты анализируются и составляется внутренний нормативный документ предприятия по производству БВР на предельном контуре карьера (технологический регламент). Ожидаемые результаты от внедрения – это обеспечение минимального влияния буровзрывных работ на устойчивость бортов карьера. Повышение безопасности при производстве работ под высокими уступами. Снижение себестоимости производства товарной продукции. Основным конкурентным преимуществом данной разработки является то, что её применение особенно эффективно при увеличении интенсивности горных работ. Также повышается промышленная безопасность за счёт регламентирования производства работ на предельных контурах карьера. Область применения – карьеры с цикличной технологией добычи, разрабатывающие крутопадающие месторождения полезных ископаемых.

В рамках таких НИР проводятся исследования сейсмического действия взрывов, чтобы с одной стороны установить соответствие фактических колебаний и расчётных допустимых колебаний, определённых для исследуемых грунтов на основании данных геологической документации. С другой стороны, по деформационным проявлениям от технологических взрывов в приближении устанавливаются свойства грунтов и определяются примерные зоны развития трещин, межблочных подвижек и остаточных деформаций. Указанная информация служит критерием для выбора тех или иных параметров БВР для включения в программу опытно-промышленных испытаний. Также в зависимости от свойств грунтов и свойств, применяемых ВВ определяются параметры зарядов контурных лент при осуществлении экранирования.

Допустимый динамический предел прочности находится в соответствии с условием сейсмоустойчивости горного массива:

$$\sigma_{ст} \leq \sigma_{дин} \leq \sigma_{дин}^*, \quad (1)$$

где $\sigma_{ст}$ – статическое напряжение в массиве, окружающем выработку; $\sigma_{дин}$ – динамическое напряжение в массиве (около выработки); $\sigma_{дин}^*$ – допустимый динамический предел прочности породы.

Согласно [1] допустимая скорость смещения массива определяется по выражению:

$$v_d = \frac{\sigma_{дин}}{\gamma C} 2604,1, \text{ м/с}, \quad (2)$$

где γ – плотность пород, т/м³; C – скорость звука в породе, м/с.

Скорость сейсмических колебаний в зависимости от массы ВВ в ступени и расстояния от взрыва до охраняемого объекта имеет следующее выражение [2 - 3].

$$v = K \sqrt{\frac{Q}{R^3}}, \text{ см/с}, \quad (3)$$

где v – скорость сейсмических колебаний, см/с; Q – масса одновременно взрывааемых зарядов (масса ВВ в ступени замедления), кг; R – расстояние до объекта, м; K – коэффициент, зависящий от грунтовых условий (скальные, полускальные грунты $K = (200-300)$; песчано-глинистые $K = (300-450)$; рыхлые, обводнённые и насыпные грунты $K = (450-600)$).

Полученные расчётным путем данные сравниваются с фактическими замерами сейсмических колебаний от технологических взрывов, и устанавливается степень соответствия значений. Схема оценки сейсмического действия технологических взрывов показана на рисунке 1.

Для повышения точности определения зоны влияния взрыва на состояние массива следует уточнять скорость прохождения по массиву продольных и поперечных волн. Особенно это необходимо при значительном превышении фактических колебаний над расчётными. Согласно значениям прохождения продольных и поперечных волн в грунте, по выражениям (4 - 6) определяются зоны распространения деформационных процессов [3].

$$R_{уп} = \frac{C_p}{10} \sqrt[3]{Q}, \text{ м}, \quad (4)$$

$$R_{сд} = \frac{\sqrt{C_s}}{10} \sqrt[3]{Q}, \text{ м}, \quad (5)$$

$$R_{тр} = \sqrt{\frac{C_p}{C_s}} \sqrt[3]{Q}, \text{ м}, \quad (6)$$

где $R_{уп}$ – радиус упругой зоны, за пределами которой исключено формирование остаточных деформаций среды, м; $R_{сд}$ – радиус зоны наибольших сдвиговых деформаций, м; $R_{тр}$ – радиус зоны трещинообразования, м; C_p – скорость продольной волны, м/с; C_s – скорость поперечной волны, м/с.

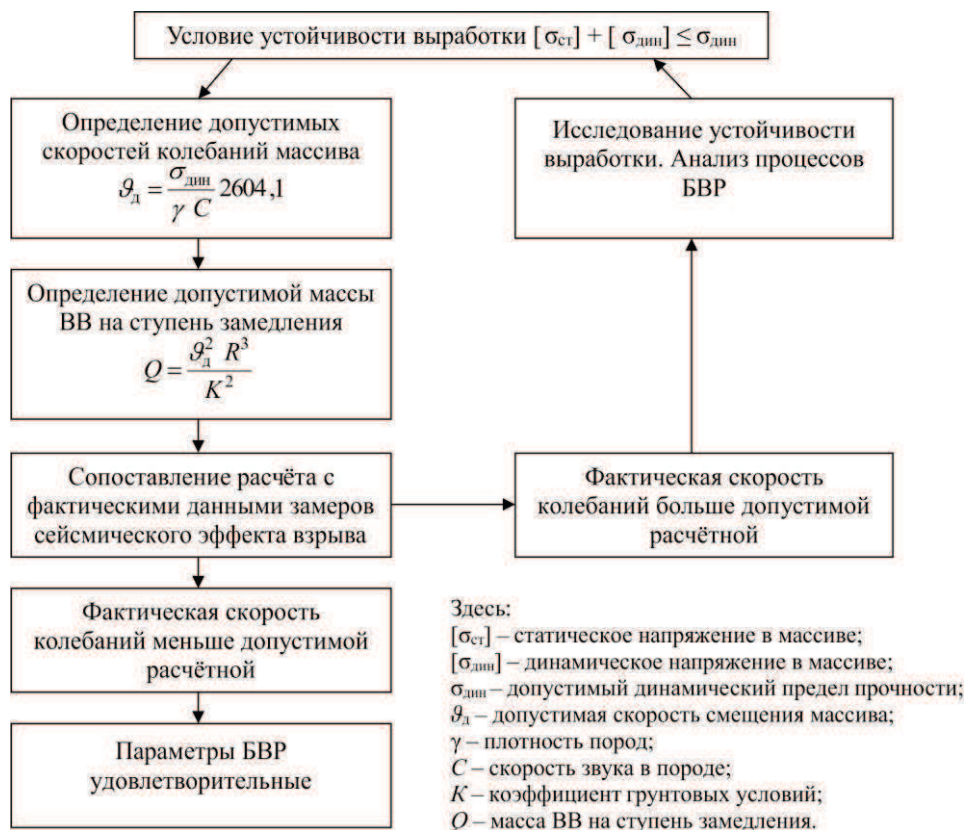


Рис. 1. Схема оценки сейсмического действия технологических взрывов

Таким образом, сравнение расчётных и экспериментальных данных позволяет вести наблюдение за сейсмоустойчивостью горного массива при ведении взрывных работ, и соответственно, определять в тех или иных условиях степень воздействия технологических взрывов на борта карьера.

Расчётная скорость продольных волн в породах может быть определена согласно [4] по выражению:

$$C_p = \sqrt{\frac{E_{\text{дин}}}{\gamma} \cdot \frac{1 - \nu}{1 - 2\nu}} \text{ м/с}, \quad (7)$$

где: C_p – скорость продольных волн в породе; $E_{\text{дин}}$ – динамический модуль упругости, Па; γ – плотность породы, кг/м³; ν – коэффициент Пуассона, ед.

Динамический модуль упругости при исследовании образцов как правило больше статического в 2 – 4 раза. В массиве картина иная. Сопротивление массива динамическим нагрузкам меньше чем у слагающих его пород, а значит соотношение динамического и статического модуля упругости может быть выражено согласно [5] следующей зависимостью.

$$E_{\text{дин}} = 1,15 E_{\text{ст}} + 0,5 \cdot 10^5, \text{ Па}, \quad (8)$$

где $E_{\text{дин}}$ – динамический модуль упругости; $E_{\text{ст}}$ – статический модуль упругости.

Свойства пород в естественном залегании можно определить косвенным способом на основе определённых характеристик волновых процессов. Как отмечалось выше, скорость продольных волн и скорость колебаний связаны с прочностью горных пород. Следовательно, на основе измерений можно вычислить значения пределов прочности на растяжение в массиве, тем самым уточнив коэффициент структурного ослабления.

$$\sigma_p = \frac{\vartheta \gamma C_p}{26041k}, \text{ МПа}, \quad (9)$$

где ϑ – скорость сейсмических колебаний, м/с; γ – плотность пород, т/м³; k – поправочный коэффициент (1,1 ÷ 1,3).

Скорость продольных волн определяется по следующим выражениям (10 - 11).

$$C_p = \sqrt[3]{\frac{56,25 \cdot 10^8 Q g \left[1 + \frac{1 - \nu}{1 - 2\nu} \varepsilon^8 \right]}{\gamma R^3 \left(37,5 \cdot \left(1 - \frac{4}{3} k_{sp}^2 \right) \cdot \left[\frac{1 + \frac{1 - \nu}{1 - 2\nu} \varepsilon^8}{3} - 1 \right] \right)^2}}, \text{ м/с}, \quad (10)$$

$$C_p = \left\{ \frac{7,5 \cdot 10^4 \sqrt{2g} \cdot 10^3 Q^{0,75} \left[1 + \frac{1 - \nu}{1 - 2\nu} \varepsilon^4 \right]}{\sqrt{d_{\text{скв}}} \gamma^{0,75} R^{2,375} 37,5 \cdot \left(1 - \frac{4}{3} k_{sp}^2 \right) \cdot \left[\frac{1 + \frac{1 - \nu}{1 - 2\nu} \varepsilon^8}{3} - 1 \right]} \right\}^{1/1,75}, \text{ м/с}, \quad (11)$$

где Q – масса ВВ в ступени замедления, кг; g – ускорение свободного падения, м/с²; ν – коэффициент Пуассона, ед.; ε – суммарная деформация; k_{sp} – коэффициент характеризующий соотношение поперечной и продольной волны для горной породы; R – расстояние, м; $d_{\text{скв}}$ – диаметр скважины, мм.

Согласно [6] пропорциональность между поперечной и продольной волной (k_{sp}) можно определить по следующему выражению.

$$k_{sp} = \frac{C_s}{C_p} = \sqrt{\frac{1 - 2\nu}{2(1 - \nu)}} \quad (12)$$

Таким образом, внедрение специальной технологии БВР на заоткосных работах

сопровождается изучением распространения волновых процессов в горных породах разрабатываемого месторождения, что в результате отражается на выборе соответствующих параметров. Важным элементом таких исследований является уточнение свойств грунта [7] под кратковременными динамическими нагрузками.

Представленные методические приёмы позволяют предварительно определить расчётную сейсмоустойчивость массива, сравнить с данными экспериментальных измерений, по которым в то же время можно уточнить состояние горного массива и определить зоны возможных нарушений, что позволяет иметь наиболее полную картину распространения волновых процессов в конкретных горных породах и соответственно рационально управлять ими. В первую очередь это касается производства БВР на заоткосных работах, а также при последующем производстве технологических взрывов.

Исследования выполнены в рамках Госзадания 007-01398-17-00, а также при дополнительном привлечении хоздоговорных средств и финансирования по конкурсному проекту № 15-11-57.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жариков С.Н. О влиянии взрывных работ на устойчивость бортов карьеров/С.Н. Жариков, В.Г. Шеменёв// Известия вузов. Горный журнал. 2013. № 2. С. 80-83.
2. Методика обеспечения сейсмобезопасной технологии ведения взрывных работ. Свердловск, ИГД МЧМ СССР, 1984. – 12 с.
3. Мосинец В.Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. М.: Недра, 1976. – 271 с.
4. Ржевский В. В. Основы физики горных пород [Текст] / В. В. Ржевский, Г. Я. Новик. – М.: Недра, 1984. – 359 с.
5. Юревич Г.Г., Беляков В.Д., Севастьянов Б.Н. Охрана горных выработок от воздействия взрывов. М.: Недра, 1972. –136 с.
6. Фокин В.А., Тарасов Г.Е., Тогунов М.Б., Данилкин А.А., Шитов Ю.А. Совершенствование технологии буровзрывных работ на предельном контуре карьеров. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН. 2008. – 224 с.
7. Жариков С.Н. Способы уточнения свойств горных пород при производстве буровзрывных работ/С.Н. Жариков, В.Г. Шеменев, В.А. Кутуев//Устойчивое развитие горных территорий. 2017. Т. 9. № 1. С. 74-80.

УДК 550.832

**ПРИМЕНЕНИЕ КАРОТАЖА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА
КАЧКАНАРСКОМ ТИТАНОМАГНЕТИТОВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ**

*Иванченко Виктор Сергеевич, Вдовин Алексей Геннадьевич, Базенова Евгения Анатольевна
e-mail: ivanchenko_05@mail.ru, agvd@bk.ru, bazenova_jena@mail.ru
Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия*

Аннотация. Проведены измерения электромагнитного излучения на Гусевогорском месторождении Качканарской группы. Показана высокая зависимость проведенных измерений с данными магнитной восприимчивости горных пород.

**APPLICATION OF ELECTROMAGNETIC RADIATION EMISSIONS AT KACHKANAR
TITANOMAGNETIC DEPOSIT**

*Viktor Ivanchenko, Vdovin Alexey, Evgenya Bazanova
e-mail: ivanchenko_05@mail.ru, agvd@bk.ru, bazenova_jena@mail.ru
Institute of geophysics Ural Branch of Russian Academy of sciences, Ekaterinburg, Russia*

Summary. Measurements of electromagnetic radiation at the Gusevogorsk Deposit Kachkanarskaya group. It is shown that the measurement is highly dependent on the magnetic susceptibility of the rocks.

Электромагнитное излучение (ЭМИ) возникает за счёт колебания свободных зарядов в кристаллической решётке минералов. Возбуждение зарядов происходит под действием колебаний ионов решётки при её деформировании. Т.е. в процессе трещинообразования возникают электрические заряды. В объеме геосреды это создает интегральный сигнал, который и является характеристикой ЭМИ. Эмиссионный механизм не исчерпывается разрывами-трещинами. Породы можно рассматривать как систему, состоящую из твердого скелета и заполняющего его флюида (нефть, вода, газ), находящуюся в термодинамическом равновесии. Эмиссия может возникать под действием меняющихся нагрузок за счет трения по шероховатым поверхностям разрывов, множества сдвигов. Отмеченная ЭМИ отражает разнообразные и сложные процессы в породах, включая околоскважинное пространство. Также, при изучении процесса образования ЭМИ стоит принимать во внимание электропроводность образца. То есть, при рассмотрении данного эффекта в геологической среде, при исследовании в скважинах, на данный процесс накладывает ограничение проводимость среды, в которой распространяется электромагнитный сигнал.

При исследовании в лабораторных условиях на образцах пород с разным содержанием железа, было установлено, что на параметры датчика ЭМИ оказывает влияние намагниченность рассматриваемого образца. Происходило либо увеличение сигнала, либо его уменьшение. Следует отметить что экранирование (поглощение) или усиление (многократное отражение) сигналов ЭМИ, как правило, рассматривается при исследовании искусственных образцов для создания поглотительных элементов[1], в то время, как исследовании в геологической среде данный фактор в большинстве случаев не принимается во внимание.

Сотрудниками лаборатории скважинной геофизики были проведены каротажные измерения на разрабатываемом Гусевогорском месторождении Качканарской группы. Проведены измерения ЭМИ в буровзрывных скважинах, в трех частотных диапазонах – 45 (F1), 80 (F2) и 120 кГц (F3) [2].

Гусевогорское месторождение, территориально находится в Нижне-Туринском районе Свердловской области. Промышленное оруденение представлено вкрапленностью

титаномагнетита и сосредоточено в нескольких залежах. Рудные минералы представлены магнетитом и ильменитом.

Пример измерения ЭМИ в одной из скважин на карьере №1 представлен на рисунке 1. В скважине, также были проведены измерения магнитной восприимчивости (Каппа) и химическое опробование шлама на содержание железа (Fe).

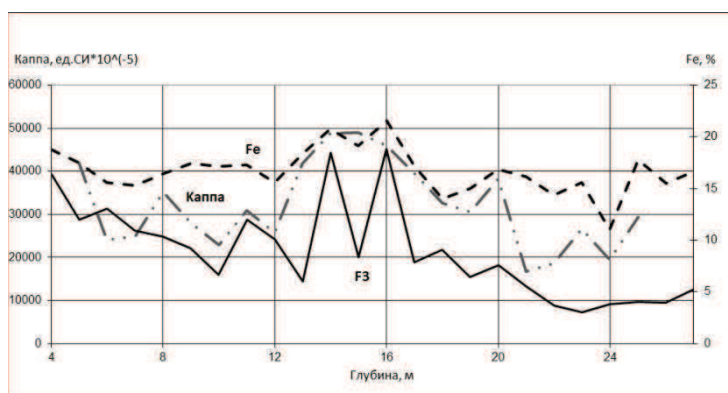


Рис.1. График измерения ЭМИ на частоте 120 кГц, каппометрии и данным химического опробования шлама (Fe) по стволу опорной скважины на карьере №1.

По показаниям ЭМИ на частоте 120 кГц (F3) и данным химического опробования на содержание железа (Fe), видна существенная связь. Коэффициент корреляции, вычисленный по данным измерения ЭМИ и каппометрии (Каппа) равен 0.71, между ЭМИ и Fe - 0.7, между Fe и Каппа - 0.74. Т.е. между данными параметрами существует высокая зависимость. Измерения, проведенные в других скважинах на Гусевогорском месторождении представлены в таблице 1.

Таблица 1

Корреляционная зависимость между содержанием железа и ЭМИ

№ скважины	Коэффициент корреляции между:		
	F1 (ЭМИ на частоте 45 кГц) и процентным содержанием Fe по данным каппометрии	F2 (ЭМИ на частоте 80 кГц) и процентным содержанием Fe по данным каппометрии	F3 (ЭМИ на частоте 120 кГц) и процентным содержанием Fe по данным каппометрии
карьер №2 (бедные магнетитовые руды)			
2	-0.72	-0.74	-0.81
3	-0.48	-0.46	-0.5
4	-0.45	-0.55	-0.68
5	-0.76	-0.83	-0.77
6	-0.3	-0.24	-0.65
7	-0.54	-0.4	-0.7
8	-0.41	-0.45	-0.47
9	-0.51	-0.5	-0.55
10	-0.78	-0.8	-0.84

карьер №3 (богатые магнетитовые руды)			
11	-0.78	-0.7	-0.72
12	-0.6	-0.52	-0.55
13	-0.71	-0.58	-0.32
14	-0.83	-0.6	-0.7

Принято считать, что если коэффициент корреляции меньше 0.3 то между показателями существует малая зависимость, при значении от 0.3 до 0.6 – зависимость средняя, если больше 0.6-0.7 то зависимость считается большой. Исходя из полученных измерений видно, что корреляционная связь в преобладающем большинстве высокая, но также наблюдается и низкая зависимость, что в свою очередь может говорить о текстурно-структурных свойствах исследуемых горных пород.

На рисунке 3а приведен пример измерений электромагнитного излучения в скважинах на одном из блоков карьера. При сопоставлении с данными измерения капнометрии, пересчитанной в значения содержания железа (рисунок 3б), видно, что при увеличении магнитной восприимчивости горных пород, а соответственно и увеличении содержания магнетита, электромагнитное излучение уменьшается.

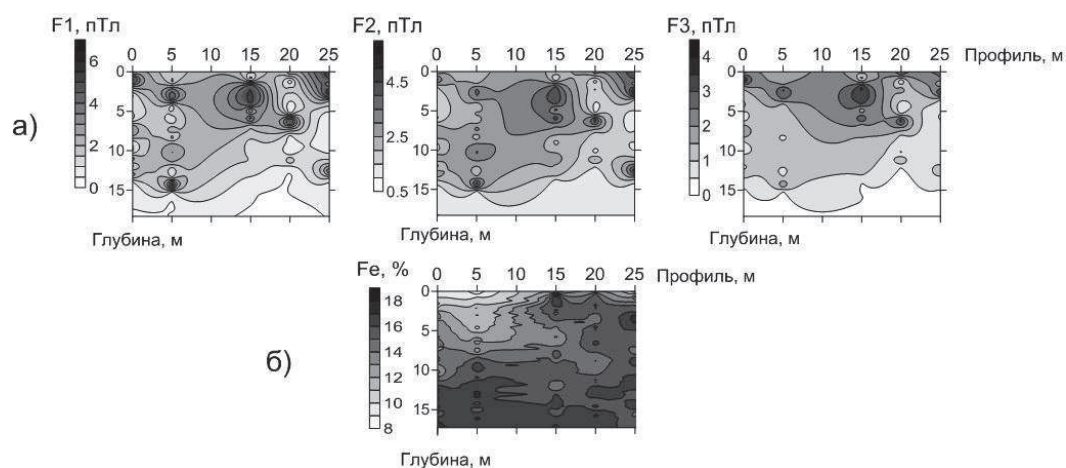


Рис. 3. Результаты измерений ЭМИ и капнометрии в скважинах по профилю

Применение каротажа электромагнитного излучения на Гусевогорском титаномагнетитовом месторождении показало связь ЭМИ с магнитной восприимчивостью горных пород на участках магнетитового оруденения. При этом данная связь прослеживается на всех трех частотных диапазонах электромагнитного излучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта УрО РАН–15-11-5-9.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Анзулевич А.П. Поглощение и отражение электромагнитного излучения многослойными и композитными средами : автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук : 01.04.02. - М, 2009.
- Троянов А.К., Мартышко П.С., Дьяконов Б.П., Астраханцев Ю.Г., Начапкин Н.И., Гаврилов В.А., Белоглазова Н.А. Сейсмоакустическая эмиссия и электромагнитное излучение трещиноватых пород в скважинах // ДАН, 2011, том 436, №1, с.118-120.

УДК 550.8:553.9:622.31

К ВОПРОСУ ОБ АНАЛИЗЕ АКУСТИЧЕСКИХ ЭМИССИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПЛАСТОВ – КОЛЛЕКТОРОВ

*Иголкина Галина Валентиновна, Дрягин Вениамин Викторович,
Мезенина Зифа Сабирьяновна, Иванов Данил Борисович
galinaigolkina@yandex.ru, vvdrygin@mail.ru, zifa-mez@yandex.ru, acrost@mail.ru
Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН, Екатеринбург, Россия*

Аннотация. Выполнен анализ сигналов акустической эмиссии в поровом пространстве керна в сухом и насыщенном состоянии различными видами жидкости: водой, керосином, нефтью. Обнаружена связь изменений акустической эмиссии с насыщенностью пласта-коллектора, которые происходят после внешнего акустического воздействия на него, что выражается в увеличении уровня АЭ в нефтенасыщенном пласте и его уменьшении в водонасыщенном пласте.

ON THE QUESTION OF THE ANALYSIS OF THE ACOUSTIC EMISSION PROCESSES OF THE PLASTERS-MANIFOLDS

*Igolkina Galina, Dryagin Veniamin, Mezenina Zifa, Ivanov Danil
galinaigolkina@yandex.ru, vvdrygin@mail.ru, zifa-mez@yandex.ru, acrost@mail.ru
Institute of Geophysics Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg,
Russia*

Abstract. It is made a analysis of the acoustic emission signals in the porous space of the core in dry and liquid saturated conditions of different types: water, kerosene, oil. It is detected the connection between the acoustic emission changes and saturation of the reservoir, which occur after the external acoustic impact on it, which is reflected in an increase of acoustic emission level in the oil-saturated reservoir and decrease in water-saturated reservoir.

Эмиссия упругой энергии в продуктивном пласте-коллекторе, обладающим насыщенностью и широким диапазоном фильтрационно-емкостных свойств, имеет свои особенности по сравнению с акустической эмиссией геологической среды, обусловленной ее напряженным состоянием в отсутствии насыщения. Прежде всего, это связано с наличием и свойствами внутренних источников акустической эмиссии в этих средах [1-3].

Исследования энергоинформативных параметров акустической эмиссии образцов кернов при облучении их силовым акустическим полем с возможностью моделирования флюидонасыщенности было выполнено на установке УИК-АЭ, разработка ООО «НПФ «Интенсоник». Принцип действия установки основан на совмещении функции фильтрации флюида через керн, функции облучения его акустическим полем большой интенсивности и регистрации сигналов акустической эмиссии на входе и выходе керна по отношению к потоку флюида [1].

Детальный анализ процессов в пласте был произведен при помощи разложения сигнала АЭ на эмпирические моды методом Гильберта-Хуанга, с последующим применением к полученным компонентам разложения преобразования Гильберта [4]. Метод позволяет реализовать адаптивный анализ нелинейных и нестационарных сигналов и получить набор эмпирических мод непосредственно из данных временной реализации сигнала, что дает возможность учесть все его локальные особенности в реальном времени.

Эксперименты проводились с образцами пористого, слабо глинизированного песчаника Тевлинско-Русскинского месторождения. Размер керна: диаметр 30 мм, длина 90 мм, состоит из двух частей, верхний и нижний. Длина верхнего 50 мм, нижнего 40 мм. Для верхнего керна: коэффициенты пористости (K_p) около 21,4%, коэффициенты проницаемости

(Кпр) равны 89,99 мД. Для нижней части керна: коэффициенты пористости равны 20,5%, коэффициенты проницаемости - 89,39 мД [1-3].

В процессе подготовки к проведению экспериментов (насыщение флюидом) образцы подвергались взвешиванию. После взвешивания сухих образцов производилось насыщение их водой под вакуумом в течение 2-х часов при комнатной температуре. В дальнейшем проводилось центрифугирование образцов в 3 этапа. Продолжительность каждого этапа центрифугирования составляла 20 минут, скорость вращения центрифуги - 3500 об/мин. В результате получали образцы с остаточным водонасыщением. Поэтому, в начале эксперимента керн имел остаточную насыщенность водой в соответствии с требованиями стандарта исследования кернов, т.е. был практически «сухой».

В кернах из терригенного коллектора было обнаружено появление низкочастотного максимума в спектре эмиссионного сигнала только после насыщения его флюидом нефти. Причем величина частоты и амплитуда частотной характеристики зависит от типа флюида, который последовательно заменяли в цикле: керосин-нефть-вода. Поэтому, после исследований керна при остаточном водонасыщении, образцы насыщались керосином под вакуумом в течение 4 часов. Плотность керосина при 20⁰С – 0,75-0,85 г/см³. Керосин очень легко испаряется, чем и обусловлена полнота его сгорания, в отличие от нефти.

Исследования волновых эмиссионных процессов в кернах производились в условиях максимально приближенных к пластовым давлениям [1]. Процесс сжатия образца до давлений близких к пластовым условиям состоял из двух составляющих: первое – осевое сжатие (P1) с целью создания напряженного состояния, соответствующего горному давлению, второе – гидростатическое обжатие керна с целью создания пластового давления (P2) жидкости. Керн был предварительно насыщен остаточной водой в соответствии с отраслевыми стандартами исследования кернов. Во время подъема давления непрерывно происходила запись всех параметров давления жидкости и сигналов акустической эмиссии с соответствующей частотой дискретизации.

В процессе эксперимента по схеме (рис.1), к керну прикладывались нагрузки в виде осевого сжатия, гидравлического обжатия и фильтрации жидкостей: керосина, нефти и воды. Последовательность действий этих нагрузок сопровождалась регистрацией сигналов акустической эмиссии по всем датчикам синхронно с регистрацией давлений. В начале эксперимента керн имел остаточную насыщенность водой в соответствии с требованиями стандарта исследования кернов, т.е. был практически «сухой» с точки зрения приложения механических нагрузок, которые передавались по твердой фазе пористого песчаника. Эмиссионная активность «сухого» образца при возрастании давления P1 и P2 проявляется в виде одиночных высокочастотных импульсов (ВЧ) с задержкой в несколько секунд относительно начала повышения давления (рис.2).

Гармонический состав этих импульсов остается практически постоянным на время всего процесса обжатия керна и находится в высокочастотной области спектра порядка единиц и десятков килогерц (рис.3).

Присутствие жидкости в поровом пространстве сразу же меняет энергетический состав эмиссионного спектра. Насыщение керна флюидами происходило поэтапно путем замещения одного вида жидкости другим в три этапа. На первом этапе керн был насыщен керосином до предельного состояния в соответствии с требованиями отраслевого стандарта. Всестороннее сжатие керна гидростатическими давлениями P1 и P2 также сопровождалось акустической эмиссией, в которой уже появились низкочастотные составляющие (рис.4).

Задержка эмиссионной активности (по сигналу X2) относительно начала подъема давлений составляет 5-6 секунд по отношению к P1, P2, а по отношению к давлению прокачки P3, P4 – составляет 2-4 секунды. Отставание роста давления на выходе керна относительно входа составляет 2 секунды. В этих экспериментах задержка эмиссионной активности составляла 7,5 секунд после прекращения импульсного механического воздействия на керн.

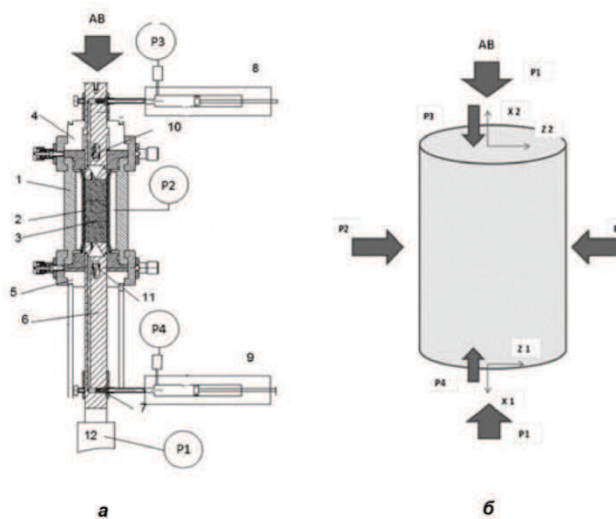


Рис.1. Конструкция узла крепления керн, схема приложений усилий и расположения измерительных датчиков в установке УИК-АЭ.

(а) : 1-камера высокого давления, 2-резиновая манжета, 3-кern, 4 и 5-разборные элементы крепления и герметизации керн – фланцы с уплотнительными кольцами и хомутами фиксации, 6-нижняя опора керн для передачи осевого усилия и подачи флюида, 7-входной герметичный штуцер для ввода флюида, 8 и 9- условное обозначение плунжерных насосов для приема (8) и подачи (9) флюида в kern, 10 и 11-измерительные датчики акустической эмиссии на выходе и входе керн, соответственно, 12-элемент устройства обеспечивающего осевое сжатие керн; (б): P1 – осевое давление сжатия, P2 - давление обжатия керн, P4 – давление флюида на входе керн, P3 – давление флюида на выходе керн, X1 и Z1 датчики ускорения продольных и поперечных колебаний на входе керн, X2 и Z2 датчики на выходе керн. Вход и выход керн — это условное обозначение относительно подачи насыщающего флюида.

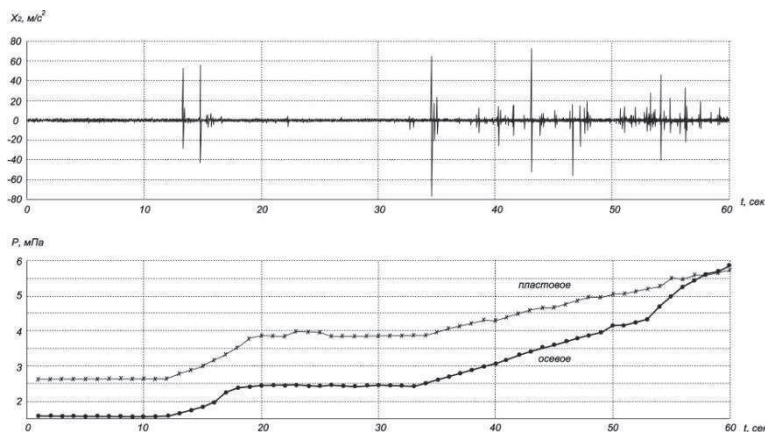


Рис.2. Эмиссионная активность «сухого» керн при гидростатическом сжатии.

Влияние нефти на эмиссионную активность керн производилось методом замещения керосина путем ее прокачки по каналу P4-P3 (рис.5).

Очевидно, эти задержки эмиссионной активности после приложения напряжений механического и/или гидродинамического типа связаны с гистерезисной инерционностью среды. Зафиксирован детальный анализ сигналов эмиссии и волновой характер процессов инициирования источников упругой энергии в насыщенном поровом пространстве керн.

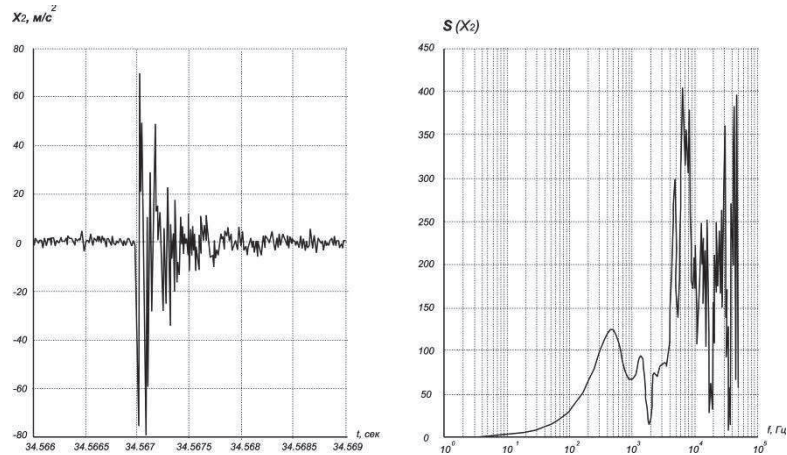


Рис.3. Фрагмент записи эмиссионного сигнала длительностью 3мсек. и его спектр.

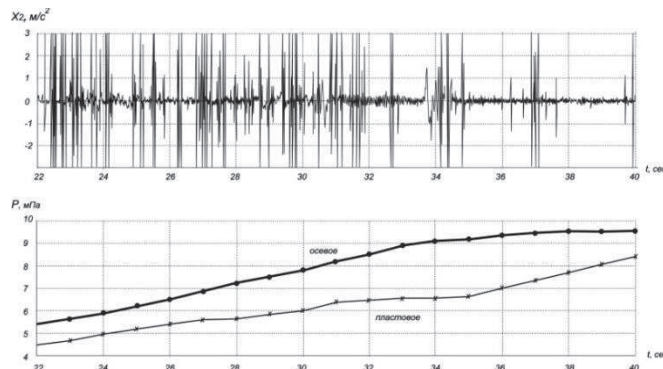


Рис.4. Эмиссионная активность керны «предельно» насыщенного керосином в процессе гидростатического сжатия.

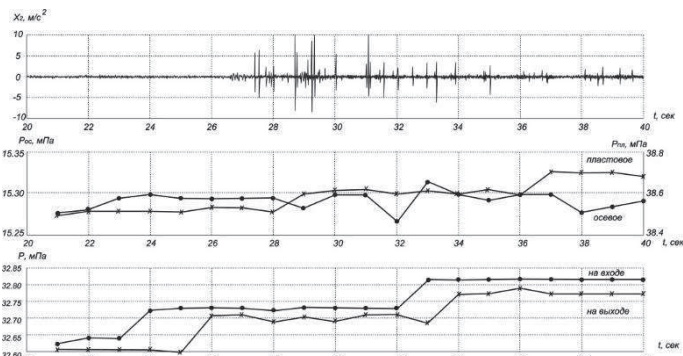


Рис 5. Прокачка нефти по керну по каналу «вход – выход» керны, P3 – давление на входе, P4 – давление на выходе.

При этом были зарегистрированы низкочастотные монохроматические волновые процессы в керне, собственная частота которых была характерна для каждого типа флюида.

Для керны, насыщенного водой, частотное распределение сигналов акустической эмиссии идет значительно ниже при уменьшении частоты, вплоть до частоты 100 Гц, затем резко, почти на два порядка поднимается в диапазоне 20-50 Гц (рис.6). Поведение частотной характеристики акустической эмиссии керны, насыщенного керосином и нефтью, в этом низкочастотном диапазоне существенно различаются. До диапазона частоты 100-300 Гц характеристики керны, насыщенного нефтью и керосином, тоже близки. В насыщенном

керосином керне сигнал имеет наименьшее значение, а при насыщении нефтью – занимает промежуточное значение (рис.6). Заметим, что и поведение частотной характеристики акустической эмиссии керна, насыщенного керосином и нефтью, в этом низкочастотном диапазоне существенно различаются. Для образца «сухого» керна с остаточным водонасыщением, количество частотных импульсов в % акустической эмиссии сосредоточена в основном в высокочастотной части спектра, в пределах от 3 до 15 кГц. Нижний предел частоты в эмиссионный сигнал не превышает 2-3% на частоте порядка 300-700 Гц (рис.6).

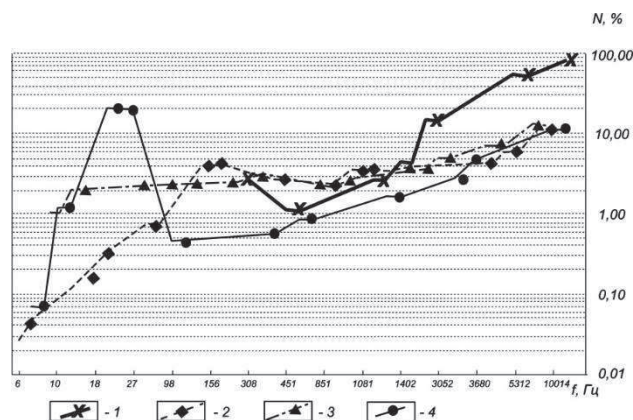


Рис.6 Частотное распределение сигналов акустической эмиссии в керне при различном насыщении: «сухой» керн; 2 – керн, насыщенный керосином; 3 – керн, насыщенный нефтью; 4 – керн, насыщенный водой; N- количество частотных импульсов в %.

Выводы. В результате исследований уточнена эффективность оценки нефтегазонасыщенности коллекторов, в основе которой положено изменение акустической эмиссии на акустическое воздействие в флюидонасыщенном образце пласта-коллектора. Результаты исследования акустической эмиссии керна могут быть использованы при интерпретации данных каротажа сейсмоакустической эмиссии (КСАЭ). Обнаружена связь изменений акустической эмиссии с насыщенностью пласта-коллектора, которые происходят после акустического воздействия на него, что выражается в увеличении уровня АЭ в нефтенасыщенном пласте и его уменьшении в водонасыщенном образце керна.

Работа частично выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований по Отделению наук о Земле Уральского отделения РАН, проект № 15-18-5-29 и с использованием данных НПФ «Интенсоник».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дрягин В.В. Сейсмоакустическая эмиссия нефтепродуктивного пласта// Акустический журнал.2013.Том 59, № 6. С. 744-751.
2. Дрягин В.В., Иванов Д.Б., Иголкина Г.В., Мезенина З.С. О лабораторных исследованиях керна и создании интерпретационных моделей нефтенасыщенности по данным каротажа КСАЭ// Глубинное строение. Геодинамика. Тепловое поле Земли. Интерпретация геофизических полей. Седьмые научные чтения Ю.П. Булашевича. Материалы. Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2013 г.С.115-117.
3. Чеботарева И.Я., Володин И.А., Дрягин В.В. Генерация низкочастотной ветки акустической эмиссии в горных породах под воздействием. //М.: Доклады РАН. 2016. Т.468, №.2. С.205-208.
4. Huang N. E., Shen Z., Long S. R., Wu M. C., Shih H. H., Zheng Q., Yen N.-C., Tung C. C., and Liu H. H. (1998) The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. // Proc. R. Soc. Lond. A. 454. С. 903-995.

УДК 551.248(571.576)

СТРУКТУРНО-ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ПАРАМЕТРЫ
СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ ЗОНЫ ЧЕРСКОГОЛ.П. Имаева^{1,2}, В.С. Имаев^{1,2}, Б.М. Козьмин², В.И. Мельникова^{1,2}

e-mail: imaeva@crust.irk.ru

¹Институт земной коры СО РАН,²Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН

Аннотация. Для создания модели динамики сейсмогенерирующих структур фронтальной зоны Колымо-Омолонского супертеррейна (сейсмотектоническая зона Черского) проанализированы: структурно-тектоническое положение, параметры глубинного строения, системы активных разломов, а также поля тектонических напряжений, установленные на основе решений фокальных механизмов очагов сильных землетрясений и кинематических типов позднекайнозойских складчатых и разрывных деформаций. Установлено, что в пределах региональных сегментов зоны Черского (Яно-Индибирском и Индигиро-Колымском) в условиях транспрессии имеет место определенная динамическая обстановка, инициированная взаимодействием активных структур Евразийской, Североамериканской и Охотоморской литосферных плит. Подобные условия вероятны, если при сближении плит роль активного индентора выполнял Колымо-Омолонский блок, находящийся во фронтальной области Североамериканской плиты. Вследствие этого ряд террейнов различной геодинамической природы подвергается горизонтальному сжатию, при котором отдельные блоки сегментов по системе сопряженных разнонаправленных сдвигов различного иерархического ряда выжимаются по латерали вдоль орогенного пояса соответственно к северо-западу и юго-востоку, формируя во фронтальных частях зоны Черского главные сейсмогенерирующие структуры взбросо-надвигового типа, которые обладают максимальным сейсмическим потенциалом ($M \geq 6.5$).

STRUCTURAL-DYNAMIC MODEL AND SEISMOTECTONIC DEFORMATION
PARAMETERS OF THE CHERSKY SEISMOTECTONIC ZONEL.P. Imaeva^{1,2}, V.S. Imaev^{1,2}, B.M. Koz'min², V.I. Mel'nikova^{1,2}

e-mail: imaeva@crust.irk.ru

¹Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,²Institute of Diamond and Precious Metals Geology, Siberian Branch,
Russian Academy of Sciences

Abstract. To develop a model for the dynamics of seismogenerating structures in the frontal zone of the Kolyma–Omolon superterrane (Chersky seismotectonic zone), the following aspects are analyzed: structural–tectonic position, deep structure parameters, active faults, and fields of tectonic stresses as revealed from solutions of focal mechanisms of strong earthquakes and kinematic types of Late Cenozoic fold deformations and faults. It is found that a certain dynamic setting under transpressional conditions takes place and it was caused by the interaction between structures of the Eurasian, North American, and Okhotsk lithospheric plates within regional segments of the Chersky zone (Yana–Indigirka and Indigirka–Kolyma). These conditions are possible if the Kolyma–Omolon block located in the frontal zone of the North American Plate was an indenter. Due to this, some terranes of different geodynamic origin underwent horizontal shortening, under which particular blocks of segments were pushed out laterally along the orogenic belt, on a system of conjugated strike-slip faults of different directions and hierarchical series, in the northwest and southeast directions, respectively, to form the main seismogenerating reverse-fault and thrust structures with the maximum seismic potential ($M \geq 6.5$).

Сейсмотектоническая зона Черского в структурно-тектоническом плане рассматривается как Колымо-Омолонский супертеррейн, который объединяет несколько перикратонных террейнов, примыкающих с востока к Верхоянскому складчато-надвиговому поясу, а также ряд террейнов, расположенных к северо-западу от Колымо-Омолонского блока (рис. 1). Террейны различны по своему строению, истории геологического развития и являются фрагментами кратонов, островных вулканических дуг, аккреционных клиньев, преддуговых прогибов и коры древних океанов, представленных офиолитами [5]. Большинство террейнов в среднеюрское время были амальгамированы в одну более крупную тектоническую единицу – Колымо-Омолонский супертеррейн который, как единый блок, причленился к Сибирскому континенту в конце поздней юры – начале мела [5]. Юго-восточный сегмент сейсмотектонической зоны Черского представлен континентальным фрагментом Охотоморской коровой плиты и соответствует одноименному террейну. Коллизия Колымо-Омолонского супертеррейна с Сибирским континентом привела к деформациям в зоне Верхоянской пассивной окраины, результатом которой явилось образование сложных складчатых деформаций в мощных терригенных отложениях, включающих толщи карбона, перми, триаса и юры, представленных в настоящее время совокупностью синклинориев и антиклинориев Верхояно-Колымской складчатой системы [1, 5]. По особенностям парагенезисов активных структур [2], строению геофизических полей [6, 9], а также определенной закономерности сейсмического режима [2, 3, 4] в сейсмотектонической зоне Черского выделяются Яно-Индибирский и Индигиро-Колымский региональные сегменты (рис. 1).

Детальный анализ кинематических особенностей активных разломов, выполненный на основе геолого-структурных, морфотектонических и сейсмологических исследований показал (рис. 1), что в зоне Черского развиты дизъюнктивы различного ранга и генезиса большинство из которых, сформировано в условиях горизонтального сжатия [2]. На это указывают структурно-геологические наблюдения за характером смещения геологических тел в зонах разломов, исследования тектонической трещиноватости горных пород, интенсивная дислоцированность кайнозойских осадков, а также ряд дешифровочных признаков при работе с картографическим материалом [1, 2]. Режим сжатия подтверждается также параметрами решений фокальных механизмов сильных землетрясений, произошедших в зонах влияния активных разломов (рис. 1).

Напряженное состояние земной коры сейсмотектонической зоны Черского исследовано на основе решений механизмов очагов землетрясений, произошедших во фронтальной зоне взаимодействия Колымо-Омолонского блока с Евразийской плитой. Для землетрясений зоны Черского характерно то, что они происходят в условиях устойчивого северо-восточного сжатия. При этом сжимающие усилия близгоризонтальны (углы падения 3° – 44°) и действуют вкрест простирания структурных элементов территории. Напряжения растяжения часто совпадают по простиранию с линиями разломов и ориентированы как горизонтально, так и близвертикально по отношению к земной поверхности (углы падения 2° – 85°). Оси промежуточного напряжения имеют беспорядочную пространственную ориентацию и широкий интервал углов падения – от 0° до 82° . При этом названная ориентация напряжений в очагах землетрясений господствует на всем протяжении зоны Черского. Кинематика главных тектонических напряжений, выявленная по сейсмологическим данным, указывает на то, что большинство фокальных механизмов землетрясений сейсмотектонической зоны Черского соответствует взбросам, надвигам и сдвигам (рис. 1). Из 24 таких определений 40 % составляют взбросы, 30 % – сдвиги, 20 % – надвиги, а остальные 10 % – сочетание сдвигов и сбросов. Полученные материалы однозначно свидетельствуют о том, что сейсмический процесс во фронтальной зоне взаимодействия Колымо-Омолонского супертеррейна с Евразийской плитой протекает в условиях сжатия по системе генеральных сдвигов, сопряженных с краевыми надвигами и взбросами.

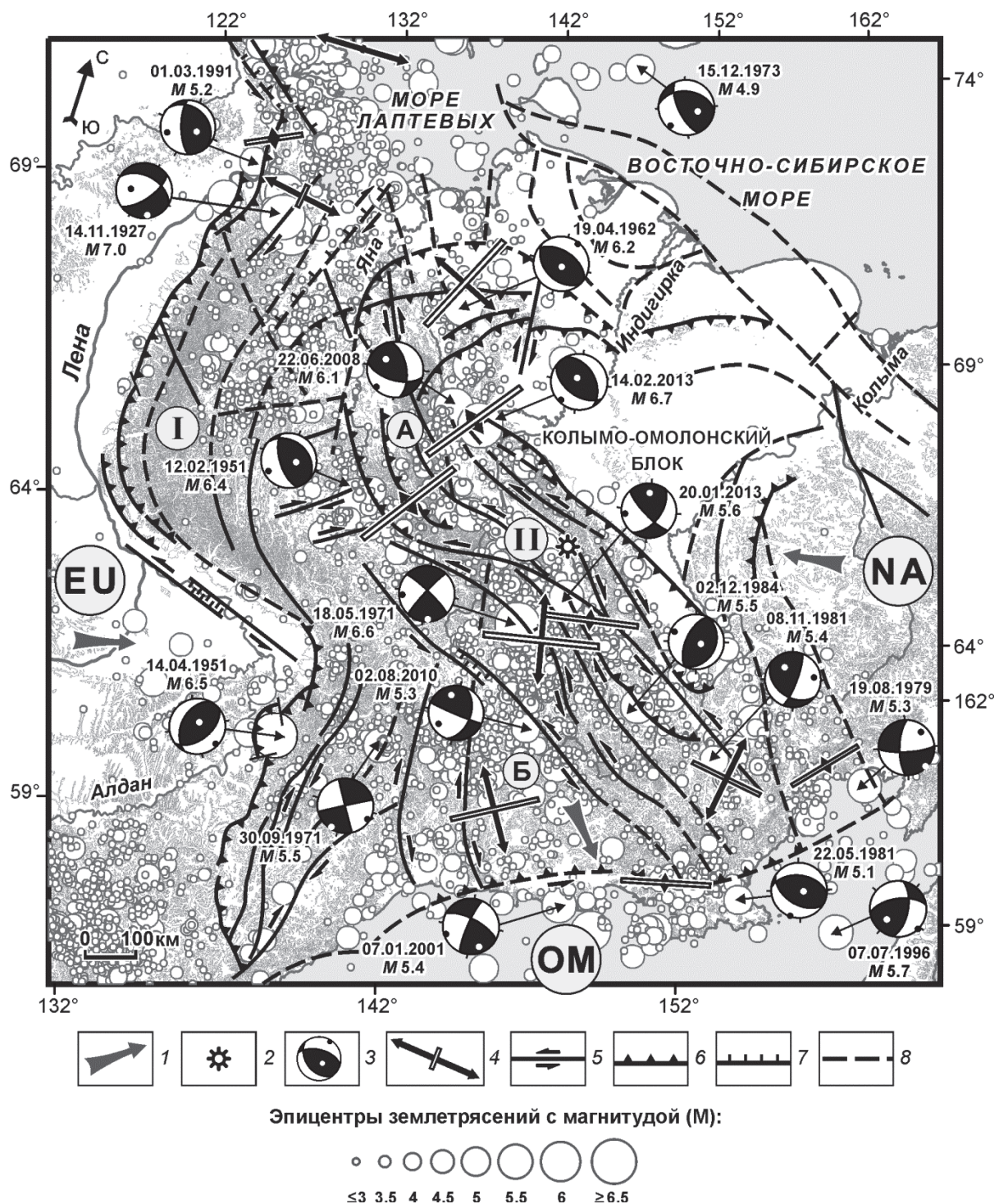


Рис. 1. Схема сейсмотектоники зоны Черского

1 – направление движения литосферных плит; 2 – вулкан Балаган-Тас; 3 – фокальные механизмы землетрясений с указанием даты их возникновения и магнитуды (нижняя полусфера, выходы осей главных напряжений сжатия и растяжения обозначены черными и белыми точками); 4 – горизонтальная проекция главных осей деформаций (растяжения, сжатия). Длина стрелок соответствует форме тензора деформаций и определенному режиму СТД. Кинематика активных разломов: 5 – сдвиги; 6 – надвиги и взбросы; 7 – сбросы; 8 – предполагаемые разломы. Литосферные плиты: ЕУ – Евразийская, НА – Североамериканская, ОМ – Охотоморская. I – Верхоянская складчатая система, II – Сейсмотектоническая зона Черского: А – Яно-Индиго-Колымский сегмент, Б – Индиго-Колымский сегмент.

Для создания модели современной геодинамики и выявления типов сеймотектонической деструкции, было проанализировано моделирующее влияние активного индентора жесткого массива Колымо-Омолонского супертеррейна на динамику сейсмогенерирующих структур сеймотектонической зоны Черского [3, 7, 8]. В пределах зоны, в условиях устанавливаемой транспрессии (сжатия со сдвигом), имеет место определенная кинематическая обстановка, обусловленная взаимодействием сопряженных разнонаправленных сдвигов, установленных в северо-западном (Яно-Индибирском) и юго-восточном (Индигино-Колымском) сегментах (рис. 1). Подобные условия возможно смоделировать если представить, что при сближении Североамериканской и Евразийской литосферных плит в северо-восточном направлении роль активного индентора выполнял Колымо-Омолонский блок, находящийся во фронтальной части Североамериканской плиты. Результат такого воздействия проявился в формировании перед фронтальной частью индентора веерообразно-расходящихся северо-западных левых и юго-восточных правых сдвигов, формирующих структуры взбросов и надвигов субдолготной и поперечной ориентации (рис. 1). Под воздействием сжимающих усилий континентальная часть Охотоморской плиты, представленная Индигино-Колымским сегментом, смещается к востоку и юго-востоку, что подтверждается топографическими и геоморфологическими данными [3, 4, 8].

Данная кинематическая модель подтверждается закономерным изменением пространственной ориентации главных осей средних тензоров сеймотектонических деформаций (рис. 1). В Яно-Индибирском сегменте проявлены три группы максимумов сейсмической активности, для которых получены сходные характеристики СТД. Для центральной области Полоусно-Дебинской складчатой системы выявлен переходный режим СТД – от сдвига к сжатию с субгоризонтальной ориентацией главных осей деформаций и субширотным растяжением. Ориентация главных напряжений СТД и характер смещений в очаге наиболее сильного события с $M_w = 6.2$ соответствуют данному деформационному режиму. В Андрей-Тасском блоке отчетливо проявляется режим сжатия с ориентацией осей сеймотектонических деформаций в северо-восток – юго-западном направлении. В очаге наиболее сильного Илинь-Тасского землетрясения ($M_w = 6.7$) наблюдаются те же закономерности, при этом субширотные плоскости разрыва следуют простирацию основных структурных элементов данной складчатой системы. Аналогичный тип СТД характерен и для Адыча-Тарынской шовной зоны, где тип фокального механизма землетрясения ($M_w = 6.4$) полностью соответствует режиму сжатия. В центральной части сеймотектонической зоны Черского ось главной деформации меняет простираение на субширотное. Аналогичная система напряжений наблюдается и в очаге местного землетрясения с $M_w = 5.6$, произошедшего в области динамического влияния разлома Улахан. В Чай-Юреинской сдвиговой зоне по данным механизмов очагов землетрясений господствует сдвиговый режим СТД с субширотным сжатием и субмеридиональным растяжением. Вклад сжимающих и растягивающих усилий здесь примерно сопоставим, что выражается в пологих углах погружения главных осей напряжений. Подобный сейсмологический режим с небольшими вариациями наблюдается и в очаге Артыкского землетрясения с $M_w = 6.4$.

Для динамики сейсмогенерирующих структур Индигино-Колымского сегмента наиболее показательны тенденции напряженно-деформированного состояния земной коры Охотско-Кухтуйского блока, где отмечается сдвиговый режим. Механизм очага местного сильного события с $M_w = 5.3$ подтверждает кинематический тип движений по структурным ограничениям сегмента, который под воздействием сжимающих усилий выталкивается к юго-востоку и востоку. Южное ограничение Индигино-Колымского сегмента подвержено переходному деформационному типу СТД: от вертикального режима к субширотному сжатию. Похожая система напряжений наблюдается и в очаге сильного события с $M_w = 5.4$.

Остальные области расчета СТД, сконцентрированные на юго-восточном фланге зоны Черского, характеризуются параметрами сеймотектонических деформаций, направление которых не согласуется с системами напряжений в очагах сильных событий. Возможно, это

связано с наложением в данном деформационном поле сейсмогенерирующих структур Арктико-Азиатского и Охотско-Чукотского сейсмических поясов. Таким образом, параметры сеймотектонических деформаций, рассчитанные по сейсмологическим данным, в целом подтверждают кинематическую модель формирования сейсмогенерирующих структур зоны Черского [3, 4, 8].

Исследования проведены по проекту РНФ № 15-17-20000 «Сейсмогеодинамический анализ и сейсмическое районирование восточного сегмента прибрежно-шельфовой области Российской Арктики».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев Г.С. Складчатые структуры и разломы Верхояно-Колымской системы мезозоид М.: Наука, 1979. 207 с.
2. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. Сеймотектоника Якутии. М.: ГЕОС, 2000. 226 с.
3. Имаева Л.П., Козьмин Б.М., Имаев В.С. Сеймотектоника северо-восточного сегмента зоны Черского // Отечественная геология, 2009. № 5. С. 56–62.
4. Имаева Л.П., Козьмин Б.М., Имаев В.С. Динамика очаговых зон сильных землетрясений северо-восточного фланга Момо-Селенняхских впадин // Отечественная геология, 2011. № 5. С. 113–119.
5. Парфенов Л.М., Оксман В.С., Прокопьев А.В., Тимофеев В.Ф., Третьяков Ф.Ф., Трунилина В.А., Дейкуненко А.В. Коллаж террейнов Верхояно-Колымской орогенной области // Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). М.: Наука, 2001. С. 199–254.
6. Суворов В.Д., Корнилова З.А. Мощность земной коры на юго-востоке Верхояно-Колымской складчатой области // Тихоокеанская геология, 1986. № 4. С. 32–35.
7. Imaeva L.P., Koz'min B.M., Imaev V.S., Mackey K.G.. Structural-dynamic analysis of the epicentral zone of the Ilin-Tas earthquake (14.02.2013, Ms=6.9) // J. Seismology, 19, 2015. P. 341–353. Doi: 10.1007/s10950-014-9469-5.
8. Imaeva L.P., Imaev V.S., Koz'min B.M. Structural–dynamic model of the Chersky seismotectonic zone (continental part of the Arctic–Asian seismic belt) // Journal of Asian Earth Sciences, 2016. No 116. P. 59–68.
9. Fujita K., Kozmin B.M., Mackey K.G., Riegel S.A., Imaev V.S., McLean M.S. Seismotectonics of the Chersky seismic belt, eastern Russia (Yakutia) and Magadan district, Russia // Geology, geophysics and tectonics of Northeastern Russia: a tribute to Leonid Parfenov. 2009. Stephan Mueller Spec. Publ. 2009. Ser., 4. P. 117–145.

УДК 551.49 +519. (235.216) 904)

ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ МЕЖГОРНЫХ ВПАДИН КЫРГЫЗСТАНА В СВЕТЕ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ СИСТЕМ

Иманкулов Б.И.¹, Кендирбаева Дж.Ж.²

¹*e-mail b.imankulov40@inbox.ru*

²*e-mail jumaevna48@gmail.com*

¹*Кыргызский Национальный Аграрный университет им. К.И.Скрябина, г.Бишкек*

²*Институт сейсмологии НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан*

Аннотация. Учитывая многообразие геолого-геохимических процессов, происходящих в недрах земли, системный подход для изучения подземной гидросферы рассмотрен как способ раскрытия механизмов формирования и трансформации ее физико-химических свойств. На характер перехода из одного равновесного состояния в другое решающее значение имеет не только входное действие режимобразующих факторов, но и само положение наблюдаемого разреза. Это информационная «память», непосредственно фиксирующая по времени, длительности и амплитуды колебания исследуемых параметров в подземной гидросфере.

ON THE INVESTIGATION OF UNDERGROUND WATER OF INTERGEGRATED VALVES OF KYRGYZSTAN IN THE LIGHT OF THE GENERAL SYSTEMS THEORY

Imankulov B.I.¹, Kendirbaeva Dj.J.²

¹*e-mail b.imankulov40@inbox.ru*

²*e-mail jumaevna48@gmail.com*

¹*Kyrgyz National Agrarian University named after K.I. Skryabin, Bishkek, Kyrgyzstan*

²*Institute of Seismology of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic,
Bishkek, Kyrgyzstan*

Summary. Taking into account the variety of geological and geochemical processes occurring in the depths of the earth, the systematic approach to the study of the underground hydrosphere is considered as a way of revealing the mechanisms of formation and transformation of its physico-chemical properties. On the nature of the transition from one equilibrium state to another, not only the input action of the regulating factors, but also the position of the observed cut itself is of decisive importance. This is information memory is a consequence of their reaction, which directly fixes the time, duration, and amplitude of the oscillation of the parameters under study.

Состояние проблемы. Любое воздействие на окружающую среду, прежде всего отражается на состоянии гидросферы, т.к. она, пронизывая все природные системы, испытывает влияние техногенных (водохозяйственная деятельность, отбор подземных вод наличие агропромышленных комплексов) и природных (геологическое строение, гидрогеологические характеристики водоносного горизонта и степень защищенности) факторов. При этом разделение их параметров по причинно-следственным связям затруднено, в связи с чем выдвигается необходимость исследования подземных вод путем разработки теории их поведения как гидрогеологической системы, т.е. как целостной структуры, постоянно подвергающейся природно-техногенным факторам [1,2, 4].

Методика исследований. Для прогноза качества и обоснования рационализации способов использования подземных вод наиболее оптимальным является системный подход, направленный на типизации с учетом особенностей почво-грунтов. В этом случае синтез фактического материала, традиционно завершающий анализ, выступает как исходный принцип- по векторной направленности формирования основных параметров водоносного

горизонта распознается структурно-вещественное преобразование, отграничивающее на более высоком уровне главный факторный признак, например, по интенсивности выноса и привноса ионов сглаживаются климатические вариации внутри гидрологического цикла.

Обсуждение результатов. Система- это множество элементов, находящихся между собой в непрерывных взаимодействиях с образованием целостности объекта, явления и процесса [3]. Нами в это понятие включены три взаимосвязанных аспекта- распространение, функция и история, т.е. формирование, существование и трансформация физико-химических показателей подземных вод. Первое- отражает совокупность отношений, проявляющихся в пространственно-временном выражении, второе- ответная реакция на изменение внешних и внутренних условий по прямым и обратным связям, а третье- длительные, возможно, и необратимые их трансформации по законам координации: однопорядковый- идентификация их общности и различий по отношению к стратиграфической представленности и литолого-геоморфологической принадлежности водоносной среды, и разнопорядковый- выделение характера появления и интенсивности распределения техногенной составляющей, например, по глубине и типам почво-грунтов для конкретного иерархического уровня.

1. Устойчивость подземных вод- как гидрогеологической системы к статистически закономерным и случайным действиям, например, изменение их качества в результате использования и самопроизвольный возврат после прекращения событий в прежнее состояние. Это- очень важное свойство, без которого подземные воды будут менять свои параметры от любого воздействия, в результате чего набор и количественное соотношение не будут успевать организовываться в системы. Поэтому их устойчивость является главным звеном для применения системного подхода в решении любых гидрогеологических задач. С помощью этого выявляются динамика появления скачков и устойчивость техногенных индикаторов, характерные для подземной гидросферы определенного иерархического уровня структура, параметры состояния и соотношения элементов.

О динамичности гидрогеологической системы свидетельствует способность изменять свое управляемое и самоуправляемое состояние под воздействием внешних и внутренних сил, а фиксируемые черты трансформации до, во время и после природно-техногенных событий показывают пригодность системного подхода в качестве методологического принципа. Так, природные условия обуславливают степень защищенности грунтовых вод за счет высокой проницаемости и наименьшей химической активности вмещающего разреза, которые, благодаря активным условиям водообмена, за короткое время способны их оздоравливать при снятии или снижении нагрузки.

В этом плане достижения гидрогеологических исследований в Кыргызстане находятся на том уровне, когда перестройка параметров подземной воды рассматриваются как пространственно-временное состояние, а выход за усредненные пределы как минимальных, так и максимальных значений- как граница, разделяющая систему на устойчивое и неустойчивое состояние. При этом внутри одной системы удельный вес внутренних и внешних сил, балансирующий обмен веществом и энергией, нарушается, но через равновесие подсистемы, причем не хаотично, а циклично, т.е. смена наступает на другом уровне за счет дополнительной порции.

Для этого последовательность обработки временных рядов выглядит следующим образом: в годовом и многолетнем разрезах по каждому параметру выделяются фоновые значения, среднеквадратичное отклонение с доверительным интервалом ($\pm 2\sigma$), дисперсия (D), информационная энтропия (S), интегральный коэффициент корреляции (Vинт.), а также спектрально-временное представление данных (СВАН) для составления карты мощности наступления техногенного индикатора.

2. Взаимокоррелируемость в одной системе ионов и их соединений в зависимости от условий и интенсивности режима, а также литологического состава вмещающих пород, разветвленных ступенчатыми структурно-функциональными связями. К ним относятся набор и соотношение количества показателей, объединенные в парагенетические подсистемы: например, по типам циркуляции- трещинный и пластовый, по минерализации-

пресная и рассольная, по динамике движения- грунтовая и напорная, по температуре- холодная и термальная, по соотношениям ионов и типам почв.

Сложный качественный набор и разнообразное количество ионов в подземной гидросфере служат представительным отражением сети внешних и внутренних, прямых и обратных связей, свидетельствующих о равновесном состоянии динамичной системы при конкретных биохимических и почвенных условиях.

На этой основе, во-первых, выявляются по каждому иерархическому уровню векторные свойства- оценивается целое с учетом компонентных составляющих, во-вторых, прослеживаются процессы регуляции и саморегуляции как способ выяснения характера и интенсивности практического использования подсистемы в определенной периоды.

В подземной гидросфере Кыргызстана ионы натрия и хлора, являющиеся в водной среде более свободными, а их соединения- хорошо растворимыми, встречаются локальными участками, причем преобладают в глубоких зонах. Поэтому о нарушении естественного режима подземной гидросферы показывают результаты водных вытяжек почв, совмещенные с методами корреляции и факторного анализа [2]. С помощью первых выделяются теснота и форма связи между параметрами подземных вод и почво-грунтов в отдельности, а второй, при сохранении представительности числового потока, позволяет найти среди множества показателей основной признак. Например, антигравитационное перемещение веществ, формирующее в приповерхностных условиях «аномальные» зоны, т.е. не свойственные для конкретного геолого-геохимического типа. Также в результате подъема УГВ подтопление территорий и увеличение заболоченных площадей, снижение продуктивности и вторичное засоление почв, т.к. за счет водопересыщения образуются купола гидроскоплений с токсичными показателями и зоны, опасные для схода оползней (Тоссор, Бишкек, Чолпон-Ата, Чаек, Ананьево, Джергалан);

3. Возможность перевода подземных вод из одного качественного и количественного состояния в другое через воздействие на их элементы, например, регулировка объема отбора через техническое изменение режима эксплуатации родника или скважины. Так, на примере режима грунтовых вод столицы республики и ее окрестности обоснованы взаимосвязи между суточным ходом их показателей, сроком хранения и солнечным затмением.

4. Эмереджентность- это наличие свойств в системе, отсутствующих у ее компонента или параметра в отдельности, например, из молекул водорода и кислорода, представляющих собой газы, образуется вода, т.е. соединение с иными свойствами. Поэтому познание эмереджентности подземных вод имеет большое значение для прогноза тенденции трансформации качественного набора и количественных соотношений между ионами: если в качестве основного показателя используются второстепенные признаки, то не только координационные, но и субкоординационные уровни полноценно не срабатывают. Таковым в гидрогеологической системе, по нашему мнению, являются ее физические параметры, например, при рассмотрении скорости воды как результат чистого экзогенного процесса, то уклоны рельефа, благодаря которым они движутся, не могут служить вектором инфильтрации водных потоков. Из-за этого при поисках причинно-следственной взаимообусловленности формирования и векторной трансформации основных параметров объединяют области питания, распространения и разгрузки.

В одной системе гидрогеологический цикл своим существованием обязан, именно такому механизму, поскольку в ее динамике (коридорах), направленной от окружающего массива к центральной части бассейна, т.е. в годовой и многолетней цикличности подземных вод главными являются асинхронность и пространственные неоднородности, например, воды глубокой циркуляции, которые, циркулируя по разломным зонам, защищены от прямого воздействия экзогенных факторов. В историческом аспекте, исходя из динамики равновесного и неустойчивого состояния системы, определяются пределы саморегуляции, т.е. схема ее функционирования в течение всего периода развития. Это объясняется тем, что на начальном этапе накопления энергии водных потоков- при преобладании экзогенного фактора в зоны грунтовых вод, т.е. в не защищенные

гидрогеологические системы чуждые для конкретного разреза вещества поступают больше, чем выносятся, а в таких условиях равновесие сохраняется за счет процессов саморегуляции. Именно с этим, по всей видимости, связано восходящее движение по линзам и прослойкам среди водоупорных пластов, представляющим собой локальные подсистемы внутри системы, где допускается кратковременное равновесие за счет ослабления геолого-геохимических напряжений, возможных как во времени, так и в пространстве.

Функционально движение подземных вод агентами экзогенных факторов направляется в сторону восстановления утраченного равновесия, а положительные скачки в концентрациях, возникающие при этом, являются геохимической функцией накопительного равновесия в земной коре, характер которого в процессе эволюционного развития зачастую неоднократно меняется в зависимости от доли участия внешних процессов. Однако, вынос или донасыщение ионами и их соединениями за счет денудации не образуют контрастные гидроаномалии, поскольку во время паводков формируются, главным образом, кратковременные всплески. Этим самым появляется возможность отделения доминирующих явлений и процессов, формирующих векторные параметры определенного иерархического уровня, поскольку для некоторых из них имеются режимные данные, охватывающие периоды как весенне-осеннего подъема, так и падения, на территориях населенных пунктов и сельскохозяйственных земель.

По нашему мнению, недонасыщенность поступающих ионов пополняется за счет водовмещающей среды, т.к. энергия водного потока и механические свойства водовмещающих пород самостоятельно расходуется на их вынос и перенос до нарушения предела саморегуляции. На этой основе, т.е. через сложную систему формирования, распространения и трансформации подземных вод прослеживается не только механические связи между параметрами, но и функциональные зависимости, осложненные реакцией информационной «памяти». Дело в том, что на характер перехода из одного равновесного состояния в другое решающее значение имеет не только входное действие режимобразующих факторов, но и само положение наблюдаемого разреза. В нашем случае- входное действие- это порционное поступление и удаление веществ, а информационная память- следствие их реакции, тогда как выходной- непосредственная фиксация по времени, длительности и амплитуды колебания определенного качественного набора и количественных содержаний исследуемых параметров, например, направленных на решение задач прогноза землетрясений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1.Берталанфи Л. Общая теория систем- обзор проблем и результатов /Системные исследования. –М.: -«Наука». -1969. –С.30-54.
2. Иманкулов Б.И., Кендирбаева Дж.Ж, Роль провальной зоны в распределении водного стока в межгорных впадинах //Вестник КНАУ им. К.И. Скрябина КР. -№ 4.(36) –Бишкек. - 2015. –С. 5-8.
3. Каттерфельд Г.Н. Лик Земли и его происхождение. -М.: Госиздатгеографическая литература. -1962. -152С.
4. Самко С.Г., Килбас А.А., Маричев О.И. /Интегралы и производные дробного порядка и некоторые их приложения. – Минск. -Наука и техника. -1987. –С. 231-236.

УДК 553.98

ТЕРМОПОЛЕ И РАЙОНИРОВАНИЕ СЛАНЦЕВОЙ НЕФТЕНОСНОСТИ ЮЖНОГО СЕГМЕНТА КОЛТОГОРСКО-УРЕНГОЙСКОГО ПАЛЕОРИФТА

Исаев Валерий Иванович¹, Стоцкий Виталий Валерьевич²

¹*isaevvi@tpu.ru*

²*Stotskiy_VV@sibmail.com*

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, Томск

Аннотация. По палеотемпературному критерию выделены очаги генерации и аккумуляции *in situ* баженовских нефтей. Рассчитан показатель плотности генерации нефтей, учитывающий время нахождения материнской свиты в главной зоне нефтеобразования и геотемпературы зоны. Выделены площади с высокими перспективами для постановки поисковых работ на «сланцевую нефть». Желоб Колтогорско-Уренгойского палеорифта не находит генетического отражения в распределении плотности теплового потока, палеотемператур баженовской свиты и плотности ресурсов «сланцевой нефти».

TEMPERATURE FIELD AND ZONING OF SOUTH SEGMENT OF KOLTOGOR- URENGOY PALEORIFT BY SHALE OIL PERSPECTIVITY

Valeriy I. Isaev¹, Vitaly V. Stotskiy²

¹*isaevvi@tpu.ru*

²*Stotskiy_VV@sibmail.com*

National research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk

Abstract. The locations of Bazhenov oil generation are marked by geotemperature criteria. The conditional integral index R was calculated for assessing the density value of the generated Bazhenov oil which allows for cumulatively taking into account the geotemperature dynamics of the main oil generation zone of the source rocks. Koltogor-Urengoy paleorift zone is not different by the reconstructed heat flow density, paleotemperature of Bazhenov formation and resource distribution density of Upper Jurassic shale oil.

Постановка задачи. Было принято [4], что ключевым фактором реализации потенциала сланцевой формации является время действия и температурный режим *главной фазы нефтеобразования*. Основные объемы нефти, генерированной, аккумулярованной *in situ* или в перекрывающем/подстилающем терригенном резервуаре локализуются там, где материнские отложения находятся/находились в катагенетической *главной зоне нефтеобразования (ГЗН)* – очаге интенсивного пиролиза. Вместе с тем, установлено, что в процессе пиролиза керогена формируется вторичное пустотное пространство, которое называют «органической пористостью» [6], «листовой коллектор» [3]. Поэтому температурный режим материнских отложений становится ключевым фактором не только объемов генерированной нефти, но и формирования «сланцевого резервуара».

Территория исследований включает южный сегмент Колтогорско-Уренгойского палеорифта (рис. 1А). Здесь установлена квазистационарность глубинного теплового потока, начиная с юрского времени [5], что вероятно связано с завершением активизации палеорифта в триасе. Вместе с тем не исключено, что в рифтовой зоне в конце мелового периода тепловой поток мог достигать 90-100 мВт/м² [2]. Рядом исследователей предполагается связь катагенетических аномалий с зонами надрифтовых желобов и глубинных разломов Западно-Сибирской плиты.

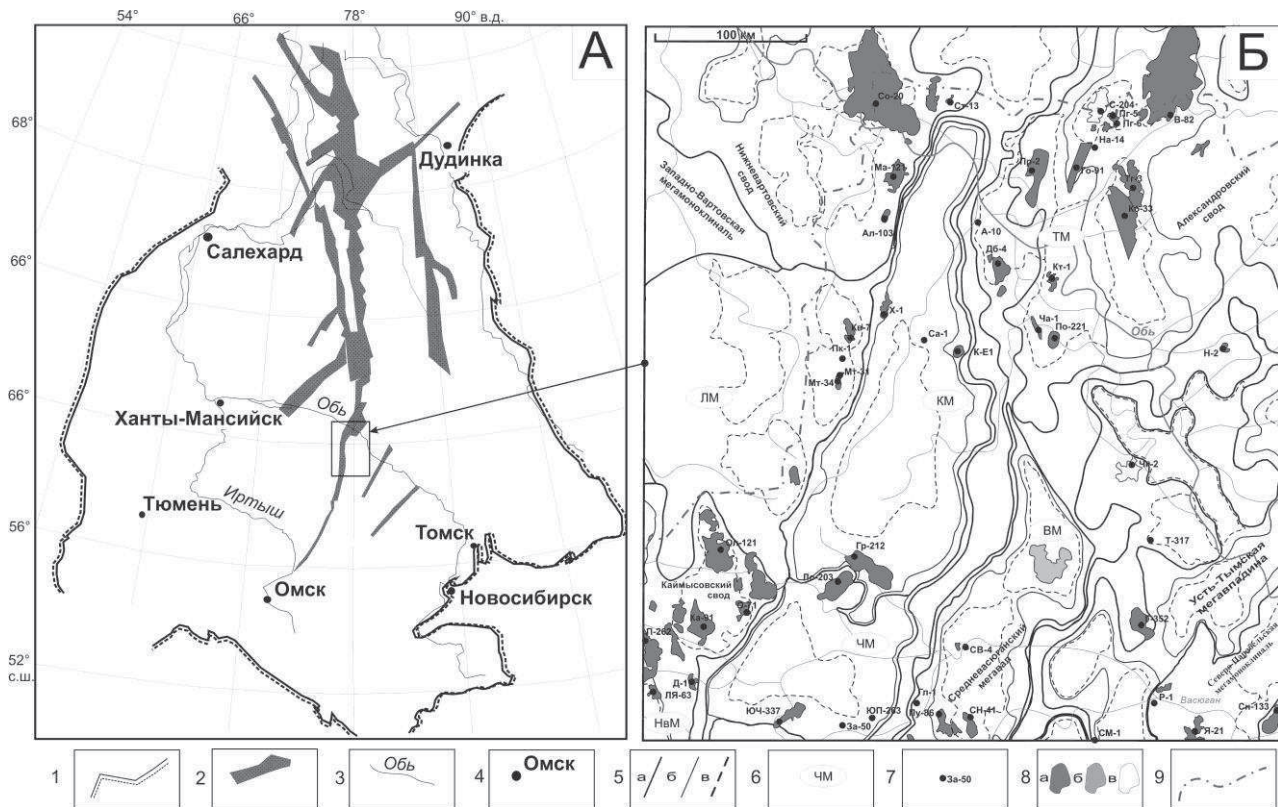


Рис.1. Положение территории исследования (А) в контуре Западно-Сибирской плиты и нефтегазоносность (Б): 1 – граница Западно-Сибирской плиты; 2 – грабен-рифты; 3 – речная сеть; 4 – населенные пункты; 5 – контуры тектонических элементов: а) надпорядковые и I-го порядка; б) II-го порядка; в) III-го порядка; 6 – условный индекс структур II порядка; 7 – скважина палеотемпературного моделирования и ее условный индекс; 8 – месторождение углеводородов: а) нефтяное; б) газоконденсатное; в) нефтегазоконденсатное; 9 – граница Томской области. Структуры II порядка: ВМ – Васюганский мезовал; КМ – Колтогорский мезопрогиб; ЛМ – Ледянская мезоседловина; ТМ – Трайгородский мезовал; ЧМ – Черемшанская мезоседловина.

Ниже выполнено районирование по геотемпературному критерию сланцевой нефтеносности баженовской свиты и проведена корреляция палеорифта с распределением геотемпературного поля, с распределением плотности ресурсов верхнеюрской «сланцевой нефти».

Баженовская свита (J_{3v}) с высоким содержанием Сорг (до 12 %) распространена по всей площади исследований, мощностью до 30 м. Здесь расположены ряд разрабатываемых в настоящее время нефтяных месторождений, среди которых крупное Советское месторождение (скважина Со-20) (рис 1Б).

Палеотемпературное моделирование. Для восстановления тектонической и термической истории баженовских отложений применен метод палеотемпературного моделирования, основанный на численном решении уравнения теплопроводности горизонтально-слоистого твердого тела с подвижной верхней границей [4].

На первом этапе решена обратная задача геотермии – по пластовым температурам, измеренным в разрезах 48-и глубоких представительных скважин, и палеотемпературам, определенным по отражательной способности витринита, рассчитан тепловой поток из фундамента. Построена схематическая карта распределения плотности теплового потока (рис.2А).

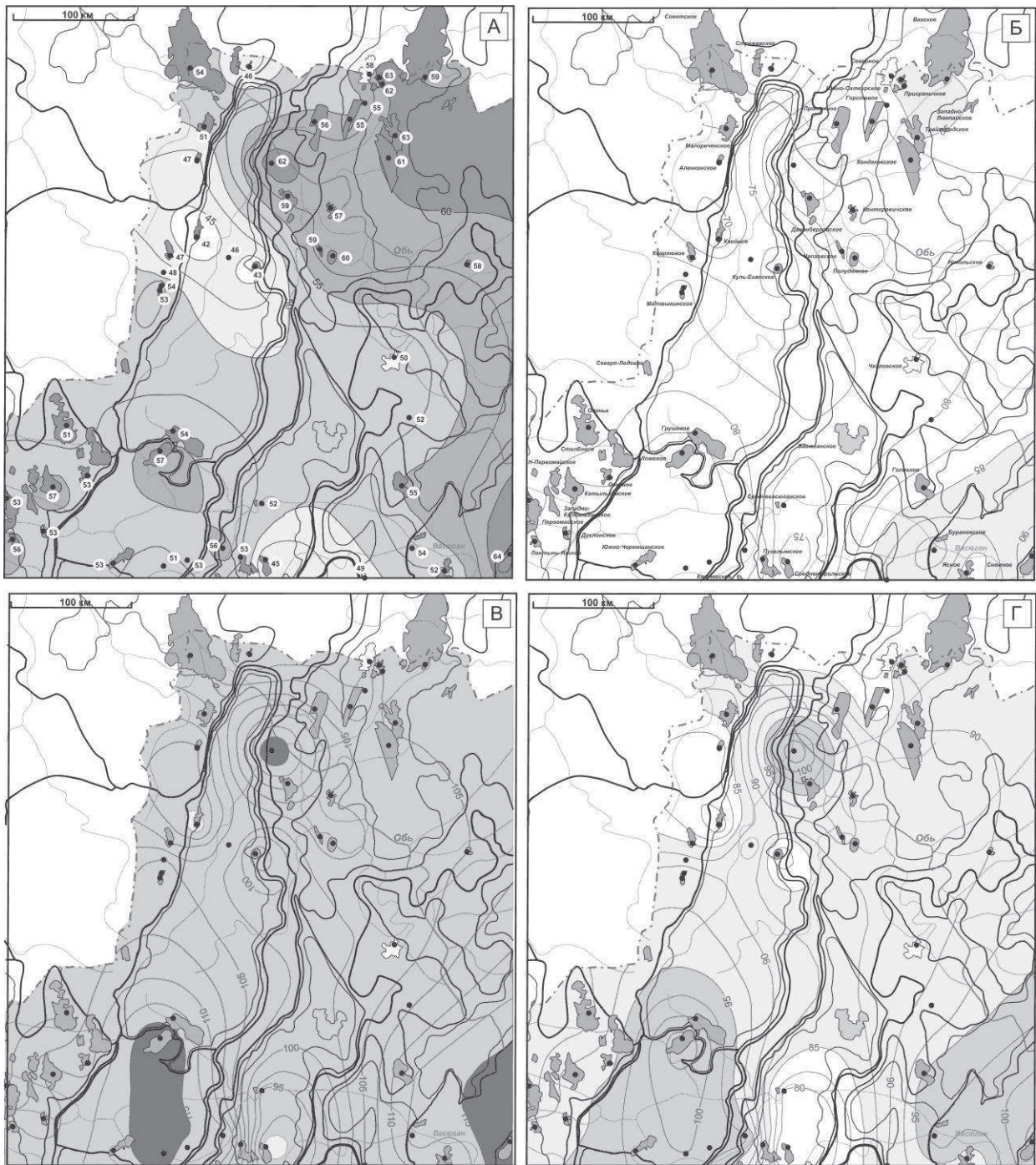


Рис. 2. Схематические карты: (А) – распределение значений плотности теплового потока (для скважин указано расчетное значение плотности теплового потока, $\text{мВт}/\text{м}^2$); (Б-Г) – распределение геотемператур (значение изолиний в $^{\circ}\text{C}$) и положения очагов генерации баженовских нефтей (серая заливка): 89,6 (Б), 24,0 (В) млн. лет назад, в современном разрез (Г). Остальные условные обозначения те же, что на рис.1

На втором этапе, решением прямых задач геотермии, рассчитаны геотемпературы на ключевые моменты геологической истории формирования разреза (пример, рис. 2Б-Г). Зарождение очага генерации началось 92-90 млн лет назад в юго-восточной части территории исследований. Максимальный прогрев осадочного чехла наступает 24 млн. лет назад и вся территория попадает в ГЗН (рис.2В). В настоящее время происходит снижение геотемператур в связи с изменением климатических условий в олигоцене (рис. 2Г).

Районирование территории для поисков. Для оценки плотности генерации баженовских нефтей для каждой скважины рассчитан интегральный показатель R [4]. Путем

интерполяции значений R построена схематическая карта распределения *относительной плотности ресурсов генерированных баженовских нефтей* (рис. 3). На схему вынесены площади, при бурении которых из баженовских отложений были получены притоки нефти при испытании или поднят керн с выпотами или запахом нефти.

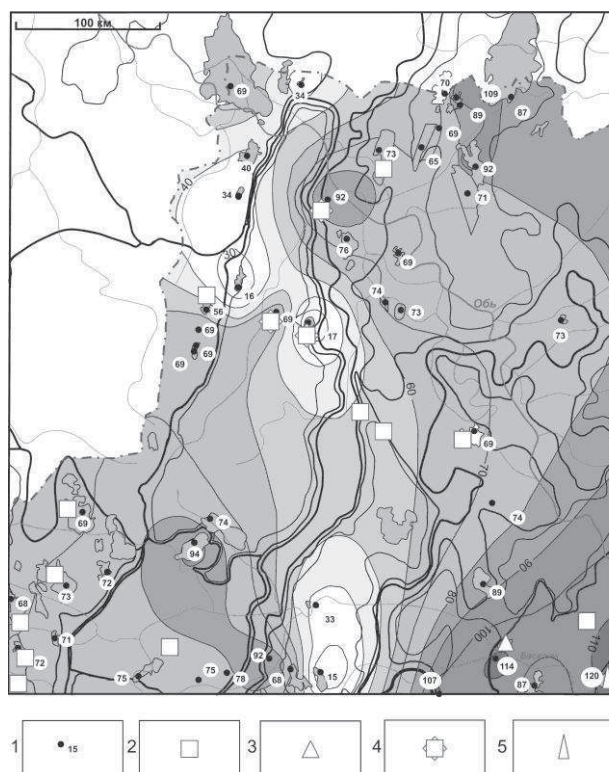


Рис. 3. Схематическая карта распределения плотности ресурсов генерированных баженовских нефтей, усл. об.: 1 – скважина и значение плотности генерации баженовских нефтей; площади с прямыми признаками нефтеносности баженовской свиты: 2 – признак по керну; 3 – признак при испытании скважин; 4 – признаки при испытании и по керну; 5 – месторождение Снежное. Остальные условные обозначения те же, что на рис. 1.

Перспективными для поисков «сланцевой нефти» являются земли юго-восточной части территории, южная часть Колтогорского мезопргиба, северо-восточный склон Каймысовского свода и Черемшанской мезоседловины, земли Трайгородского мезовала.

Палеорифт и термополе. Хорошо видно (рис. 2А), что в целом, плотность теплового потока в пределах собственно Колтогорско-Уренгойского палеорифта характеризуется довольно мозаичным распределением ($45-55 \text{ мВт/м}^2$), с заметным присутствием пониженных значений. В рифтовой зоне нет «следов» возможного аномально высокого теплового потока в конце мелового периода.

С распределением геотемператур (рис. Б-Г) зона собственно палеорифта так же однозначно не коррелирует. Максимальные температуры на территории достигают $115 \text{ }^\circ\text{C}$, причем тяготеют к землям, расположенным гипсометрически выше в рельефе фундамента: к Черемшанской мезоседловине на юге и северному борту Колтогорской мезовпадины. Зона «остывания» разреза намечается на юге и протягивается на север-северо-запад, пересекая структуру Колтогорского мезопргиба по линии скважин К-Е1 – Са-1 – Х-1.

По распределению плотности генерации углеводородов (рис. 3) зона палеорифта весьма неоднородна. В южной и северной частях зоны выделяются две области, имеющие достаточно высокие перспективы на поиски «сланцевой нефти», центральная область зоны обладает более скромными перспективами.

Заключение. В пределах южного сегмента Уренгойско-Колтогорского палеорифта по геотемпературному критерию выделены перспективные земли для проведения поисков «сланцевой нефти». Сопоставление прогноза с установленными прямыми признаками нефтеносности баженовской свиты показало хорошую согласованность (порядка 80%).

1. Собственно желоб палеорифта не находит яркой генетической связи (прямой положительной корреляции) с распределением реконструируемой плотности теплового потока, распределением палеотемператур и распределением плотности ресурсов верхнеюрской «сланцевой нефти».

Приведенные материалы демонстрируют эффективность геотермии не только как метода решения фундаментальных задач геодинамики и тектоники, но и как метода решения прикладных задач нефтегазовой геофизики. Универсальность метода геотермии убедительно показана в работах О.В. Веселова [1], М.Д. Хуторского [7] и других известных геотермиков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веселов О.В., Грецкая Е.В., Ильев А.Я. Тектоническое районирование и углеводородный потенциал Охотского моря. – М.: Наука, 2006. – 130 с.
2. Западная Сибирь // Геология и полезные ископаемые России. В шести томах. Т. 2 / Под ред. А. Э. Конторовича, В. С. Суркова. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. – 477 с.
3. Зубков М.Ю. Региональный прогноз нефтеносности баженовской свиты // Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58. - № 3-4. – С. 504-510.
4. Исаев В.И., Лобова Г.А., Мазуров А.К., Фомин А.Н., Старостенко В.И. Районирование баженовской свиты и клиноформ неокома по плотности ресурсов сланцевой и первично-аккумулятивной нефти (на примере Нюрольской мегавпадины) // Геофизический журнал. – 2016. – Т. 38. – № 3. – С. 29–51.
5. Курчиков А.Р. Геотермический режим углеводородных скоплений Западной Сибири // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42. – № 11-12. – С. 1846–1853.
6. Морозов Н.В., Беленькая И.Ю., Жуков В.В. 3D моделирование углеводородных систем баженовской свиты: детализация прогноза физико-химических свойств углеводородов // PRONEFTЬ. – 2016. – вып. 1. – С. 38–45.
7. Хуторской М.Д., Ахмедзянов В.Р., Ермаков А.В., Леонов Ю.Г., Подгорных Л.В., Поляк Б.Г., Сухих Е.А., Цыбуля Л.А. Геотермия арктических морей. – М.: ГЕОС, 2013. – 232 с.

УДК 551. 2 + 551.49 (235. 216) (04)

К ДИСКРЕТНОСТИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В СВЕТЕ РАЗРЫВНО-БЛОКОВОЙ ДЕЛИМОСТИ КЫРГЫЗСКОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

Кендирбаева Дж.Ж.

E-mail Jumaevna48@gmail.com

Институт сейсмологии Национальной Академии наук КР, г.Бишкек, Кыргызстан

Аннотация. Исследованы причинно-следственные связи геохимических показателей термоминеральных вод (ТМВ) в связи с зонами динамического влияния разломов Кыргызского Тянь-Шаня. В системе «вмещающая среда-подземная вода- водопункт» геохимические особенности ТМВ отражены подвижностью разрывно-блоковых зон, а в их режиме время, амплитуда и длительность скачков определяются преобладающими режимобразующими факторами- сезонной цикличностью и сейсмической активизацией.

HYDROGEOCHEMICAL INDICATORS discontinuous-block SEPARABILITY CLAUSE TOP NEOGENE KYRGYZSKOGO Tien Shan

Summary. To improve the reliability of the forecast of earthquakes on the example of the Issyk-Kul artesian basin are given causal relationship hydrogeochemical indicators neogena- top of one of the aquifers containing thermal mineral water in the areas of dynamic influence of faults. The manifestation of the specific hydrogeochemical types associated with the mobility of discontinuous-block areas and the occurrence of surges in the system, "host medium-groundwater-water station" is defined rezhimoobrazuyuschimi factor-MI-time cycles and tectonic disturbances in the structure.

Введение. Термоминеральные воды (ТМВ) Кыргызского Тянь-Шаня являются единственным гидропроявлением неотектонической деятельности земной коры, продолжающиеся развиваться по настоящее время [4], а их общими чертами являются приуроченность к зонам разломов, испытавшим активные усилия «растяжения», и повсеместное преобладание в катионном составе натрия, в анионном- гидрокарбонатов, сульфатов и хлора [1,2]. При этом изучаемых терм представлено азотными разновидностями, причем таковые в межгорных впадинах выведены из пластов неогена, о чем свидетельствуют скважины акватории оз. Иссык-Куль и в Чуйском бассейне (табл.1).

Условия разгрузки ТМВ малой минерализации

Гидрогеологичес-кие структуры	Водовмещаю-щие породы	Т ⁰ С	Мг/л	Химичес-кий состав	Название ТМВ
Гидрогеологичес-кие массивы	Каледонские гранитные интрузии и метаморфичес-кие сланцы	32-50,5	0,25-0,3	$\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{Cl}$ (Na+K)Ca SO_4Cl (Na+K)Ca	Тескейская линия, Иссык-Ата, Аламедин, Кара-Балта
Межгорные артезианские бассейны	Песчаники, конгломераты, брекчии неогена	30-48	0,25-0,8	$\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{Cl}$ (Na+K)Ca SO_4Cl (Na+K)Ca	Учкайнар, Джергалан, Каджи-Сай Бишкек и др.

Полученные результаты. Их характерной чертой является отсутствие единой пьезометрической поверхности, соответствующей разрывно-блоковому строению, что, в большинстве случаев, устанавливается выше поверхности земли, на фоне которых имеются пьезоминимумы. Также по площади и разрезу в их геохимии выявлено, что в осадочных толщах высокие минерализации обязаны содержаниям Cl_2 и Na , и, находясь в обратной концентрационной связи с SO_4^{2-} , Ca^{2+} и HCO_3^- , указывают на закрытость гидрогеологического разреза. На этом фоне имеются еще гидрохимические смеси, занимающие по всем физико-химическим показателям промежуточное положение (рис. 2).

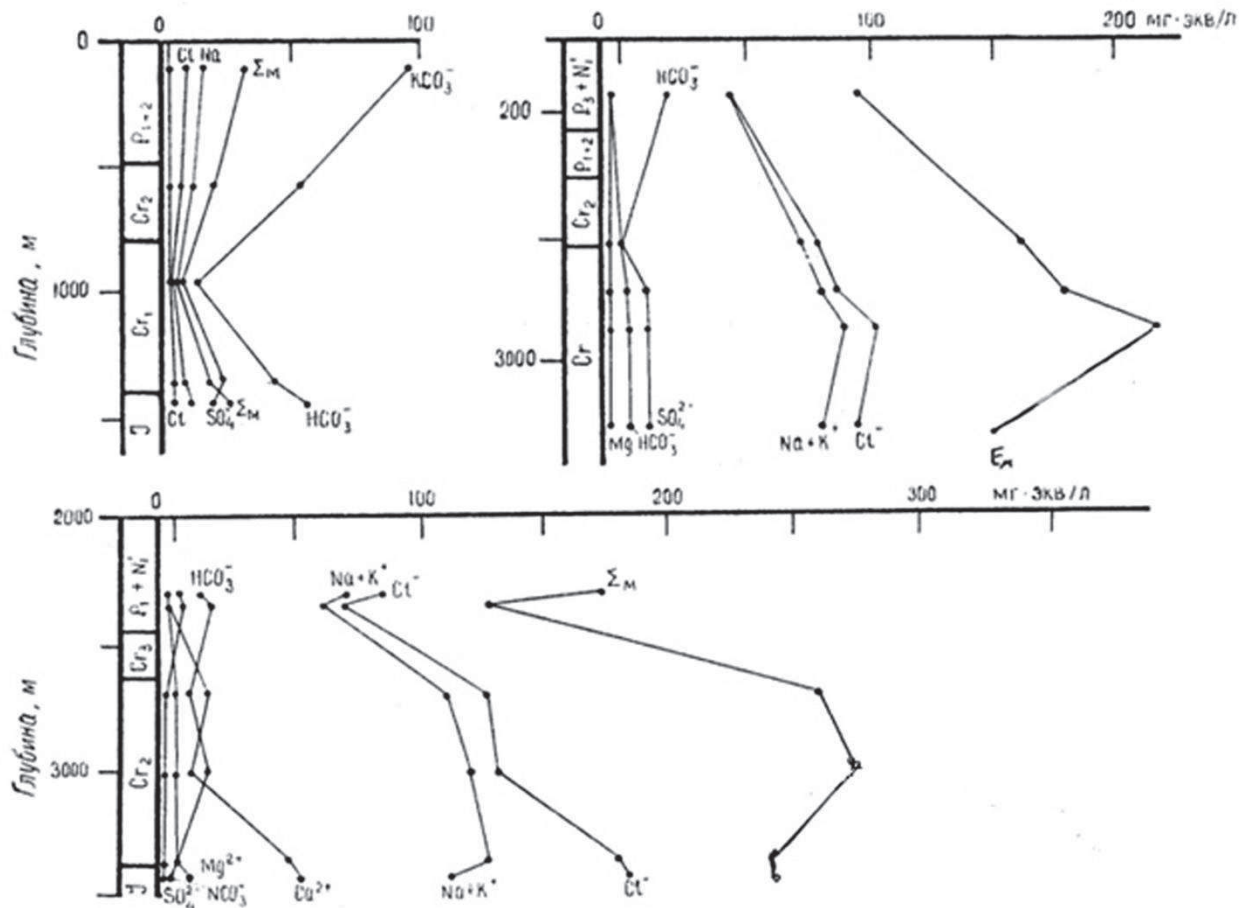


Рис. 1. Изменение минерализации и компонентов ТМВ по глубине

Итак, в вертикальном разрезе выделяются прямая и обратная- две самостоятельные зональности: первая, когда минерализация книзу увеличивается, а пьезометрические уровни устанавливаются ниже поверхности земли, тогда как во втором случае самоизливающиеся скважины выводят ТМВ низкой и пониженной минерализации, позволяющие полагать о наличии процессов смешения [3]. Об этом свидетельствуют промежуточные смеси, полученные при смешении вод с M 0,2 и 36,0 г/л, в которых распределение ионов постепенно отклоняется от линейного закона, за исключением хлора. Поведение последнего, вероятно, обусловлено высокими миграционными свойствами, не позволяющими сорбироваться коллоидами и накапливаться биогенным путем, тогда как таковые натрия, магния и кальция свидетельствуют об активности взаимосвязи между адсорбционно-обменными процессами и водами, содержащими кальций. Также по их графикам видна совместная миграция в виде единого потока флюида и рассолов, вытесненных гидростатическим давлением и геостатической нагрузкой, а также холодных вод;

в глубокой части недр локально имеет место гидрогеохимическая инверсия, приуроченная к глинисто-карбонатным толщам, в которой на фоне постепенного

уменьшения Na^+ , Cl^- , и Ca^{2+} , Br^- и I^- , метаморфизации и сульфатности минерализация часто вибрирует, а местами за счет увеличения щелочности и уменьшения Br^- повышается сульфатность. Так, Кыргызский Тянь-Шань представляет собой горное сооружение, ограниченное разломами, различными по условиям формирования и развития, в которых, как видно из табл. и рис. 2, циркулируют ТМВ. На рис. 1 показано расположение эпицентров сильных землетрясений Тянь-Шаня с $M_S \geq 5$ с исторических времен по июль 2017 г. Из рис. 2 видно, что наибольшая плотность количества землетрясений приходится на юг республики - пограничную область с Таджикистаном и Китаем. В геологическом отношении - это Южно-Тянь-Шаньская сейсмоактивная зона с серией крупных разломов, разграничивающих Тянь-Шань от Памира и Таримской микроплиты. Вторая зона - область вокруг Ферганской впадины или Западно-Тянь-Шаньская сейсмоактивная зона с крупнейшими Таласо-Ферганским и Южно-Ферганским разломами. Наконец, третья - Северо-Тянь-Шаньская сейсмоактивная зона с серией одноименных разломов, охватывающая приграничные районы севера Кыргызстана с Казахстаном.

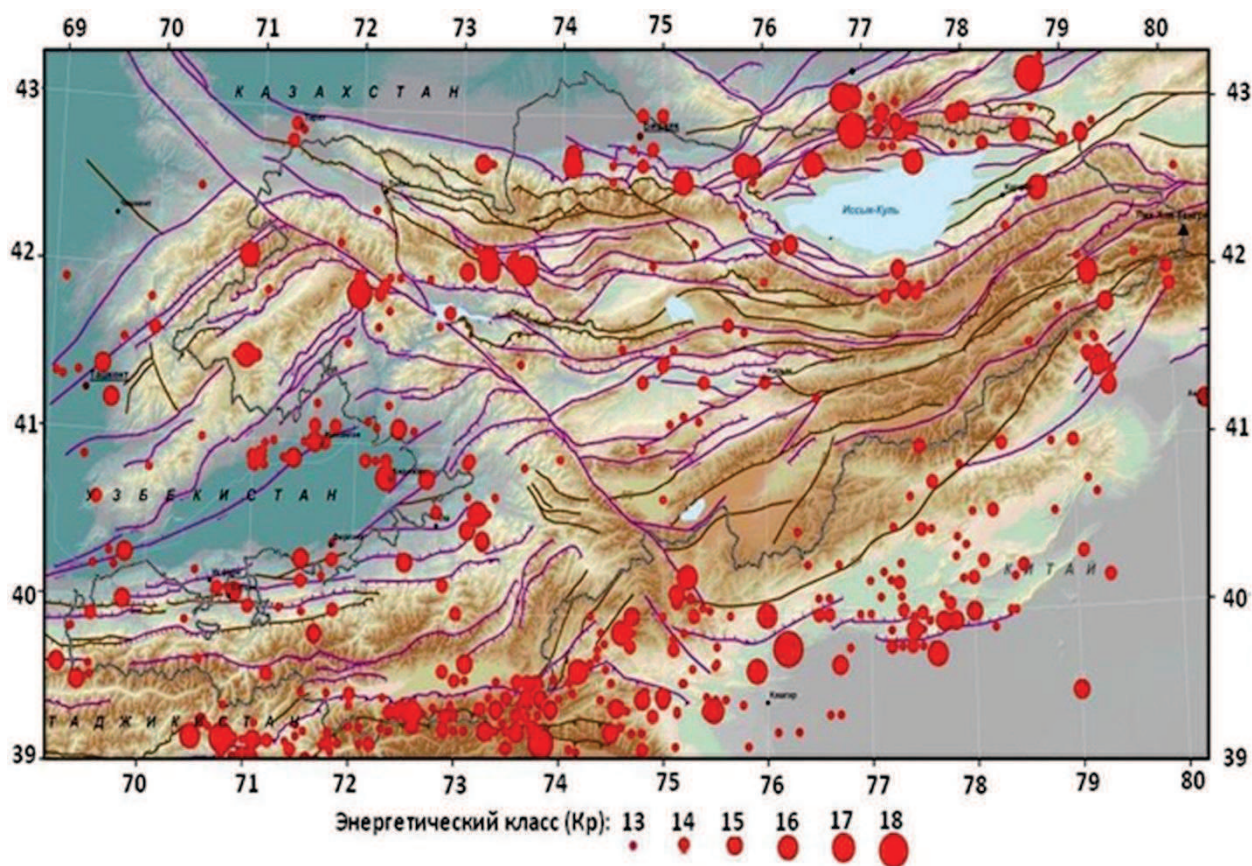


Рис. 2. Карта эпицентров сильных землетрясений с $K_r \geq 13$ с исторических времен по июль 2017г

Здесь главным направлением пользуются субширотные высокоамплитудные надвиги, которые, протягиваясь на десятки километров, пересекают складчатые зоны и совместно с субмеридиональными движениями, сместившими блоки кристаллических пород на различные гипсометрические высоты, образовали «клавишные» структуры [4]. Глубинные нарушения - это генераторы геодинамической обстановки, а также регуляторы и проводники гидропроводности разреза, образующие специфические резервуары, которые, находясь в равновесии с разрывно-блоковыми структурами, обладают определенным набором концентрационных значений, доступных в реальном времени, как сейсмические волны.

Поскольку подобные сопряженные процессы активны в глубинных частях недр, а также в приразломных зонах, то какова роль литологической составляющей? Например,

изучаемые ТМВ представляют собой сложные смеси, сформированные за счет участия эндогенных флюидов, первоначальный химический состав и генетические корни которых перестроены в результате взаимодействия с вмещающей средой и инфильтрационными водами, а также с рассолами, находящимися в гидродинамически закрытых условиях. Их мозаичность, обусловленная разрывно-блоковой делимостью, обязана неоднородностям геолого-тектонического строения и интенсивности развития структур, приведем к различным литологическим разностям разрезов. Так, разрывно-блочные структуры и зоны их сочленения в осадочных толщах служат (рис.3):

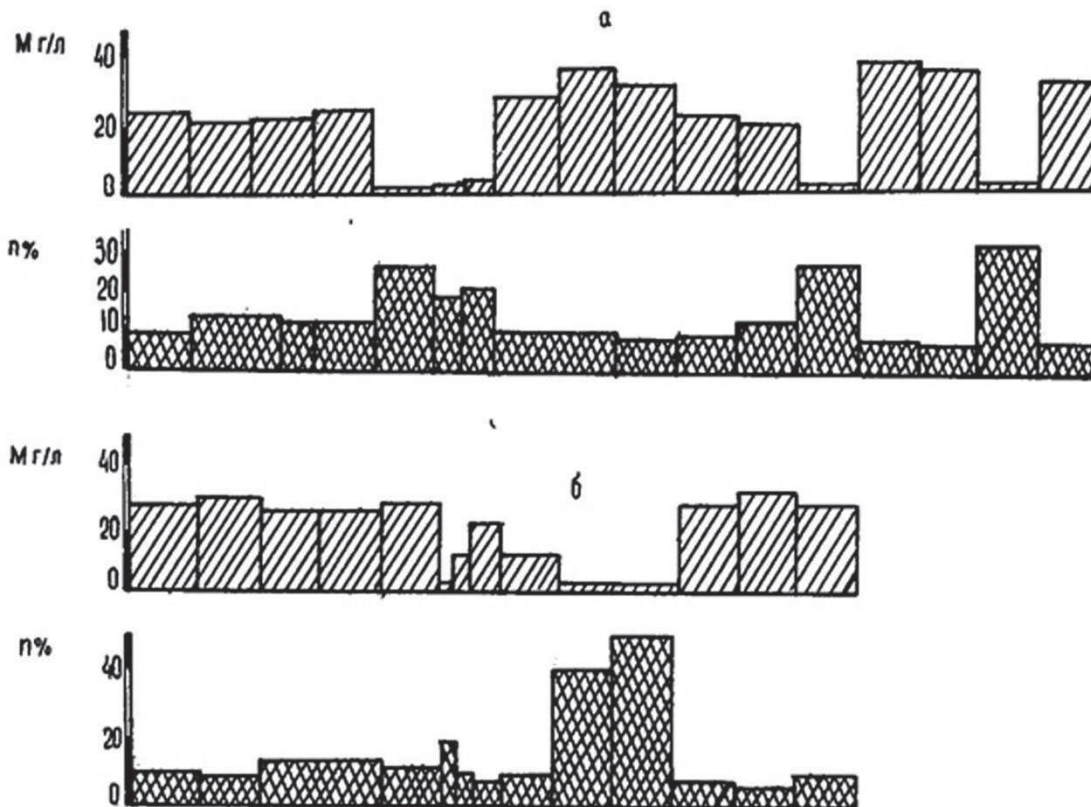


Рис. 3. Сопоставление минерализации вод и коллекторских свойств неогена

водоносными каналами, соединяющими гидрогеологические массивы и артезианские бассейны, а также разновозрастные стратиграфические толщи, благодаря усилиям неотектонического растяжения с амплитудами смещения 800-1000м. В них обнаружены сульфатно-хлоридные натриево-кальциевые и хлоридно-сульфатные натриевые ТМВ, содержащие δD от -110 до -125‰ при величинах урано-изотопных отношений 1,8-2,6. Их минерализация в зависимости от коллекторских свойств вмещающей среды колеблется от 0,8 (п =300-35%) до 3-5г/л (п =20-25%), к которым относятся ТМВ Кара-Ой, Джергалан, Ананьево;

региональным барьером в структурах, образованных в условиях сжатия при незначительных (до 500м) амплитудах смещения, причем в породах с низкими коллекторскими свойствами (п =10-15%) циркулируют притоки хлоридных натриево-кальциевых ТМВ с минерализацией 10 и более г/л, содержащие δD до -100‰ и урано-изотопные отношения более 3,2, что, по мнению автора, являются седиментационными-Майлуу-Суу, Избаскент Сох, Чолпон-Ата, Бозтери, Тору-Айгыр, Чаек, Бишкек и др.;

транспортирующими дренами флюидов из глубоких частей земной коры по зонам сочленения разрывов, развивающихся разнонаправленно, на что указывают совместная миграция высоких концентраций дейтерия (δD до -95‰) и гелия, сульфата, углерода и фтора- Аксу, Алтын-Арашан, Учкайнар.

На этом фоне общность газо-химического состава ТМВ, соответствующая разрывно-блоковой делимости и особенностям их развития, отчетливо прослеживается в кристаллических массивах, особенно, сложенных «клавишными» структурами, например, вдоль «Тескейской гидротермальной линии», тяготеющей к зоне Предтескейского разлома с суммарными амплитудами смещения, варьирующимися от 2-4 на западе до 6-8 км на востоке. Как показано [], на западе субтермальные сульфатно-хлоридные натриево-кальциевые гидропроявления с содержанием δD , свойственным инфильтрационным водам, в восточном направлении, где породы максимально приподняты, переходят в хлоридно-сульфатные натриевые термы и гипертермы при концентрациях δD , гелия и фтора, близких к эндогенным растворам.

Вместе с этим, необходимо подчеркнуть, что геохимические особенности ТМВ и их пространственно-временная динамика распределения фиксируют отдельные, зачастую незначительные черты, в связи с чем для полноценного осмысления такого природного феномена, проведен глубокий анализ, базирующийся на изменчивости суточного ритма параметра. В результате этого при совмещении с обстановкой сейсмичности, несмотря на неоднозначность перестройки их физико-химических показателей, выявлены родственные признаки, способствующие к отделению полезных сигналов от «ложных» сведений.

О корректности сказанного выше свидетельствуют также коэффициенты корреляции между температурой и расходом воды в роднике «Сопу-Курган», рассчитанные с 01.01.2015 г. по 30.06.2017 г. В 2015 г. коэффициент корреляции между данными параметрами имел отрицательное значение (-0,3), в 2016 г. сменился на положительные связи (0,2), а в 2017г. достиг 0,4. Кроме этого, по среднемесячным данным каждого из них установлены высокие корреляционные связи с солнечной активностью, снижающиеся от 0,64 (2015 г.) через -0,12 (2016 г.) до -1 (2017 г.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кендирбаева Дж.Ж., Гребенникова В.В. О взаимосвязи геохимических условий и гидрогеотермической обстановки Кыргызского Тянь-Шаня /Труды Межд. конф. «Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле, интерпретация геофизических полей». - Екатеринбург. -2013. –С.
2. Кендирбаева Дж.Ж. О подземной гидросфере литосферы Кыргызского Тянь-Шаня // Наука и новые технологии. -№ 1. –Бишкек. -2004. -С
3. Иманкулов Б.И., Кендирбаева Дж.Ж., Кожаква Н.К. Разломная гидрогеологическая система Кыргызского Тянь-Шаня как отражение эндогенных и экзогенных факторов //Известия НАН Республики Казахстан. -Сер. Геологическая. -№ 2. –Алматы. -2006. –С. 138-145.
4. Чедия О.К. Морфоструктуры и новейший тектогенез Тянь-Шаня.– Фрунзе: Илим. -1986. -314С.

УДК 550.8

**ВЕРОЯТНОСТНО-ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ
ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ГРАВИМЕТРИИ.***Кишман-Лаванова Тамара Николаевна**e-mail: kltam@ukr.net**Институт геофизики им С.И. Субботина НАН Украины, Украина, Киев.*

Аннотация. Кратко рассматривается обратная нелинейная задача гравиметрии с позиции эффективного использования вероятностного и детерминистического подходов. В условиях неопределенности априорной информации предлагается привлечение теории нечетких множеств для простоты описания разнородных априорных данных. Решение задачи ищется путем аппроксимации параметрического пространства диаграммами Вороного с дальнейшим поиском Парето-оптимальных решений. Рассмотрение обратной задачи с разных позиций позволяет уменьшить количество вычислительных операций и максимально использовать имеющуюся информацию об исследуемом объекте.

**THE PROBABILISTIC-DETERMINISTIC APPROACH TO SOLUTION
OF INVERSE PROBLEMS OF GRAVIMETRY.***Tamara Kishman-Lavanova**e-mail: kltam@ukr.net**Institute of geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine.*

Summary. Briefly describes the inverse nonlinear problem of gravimetry with the position of effective use of probabilistic and deterministic approaches. In the conditions of uncertainty of the prior information suggested the involvement of theory of fuzzy sets for simplicity of the description of diverse a priori data. The problem solution is searched by fitting a parametric space Voronoi diagrams with a further search of Pareto-optimal solutions. Consideration of the inverse problem from different perspectives allows to reduce the number of computational operations and maximize the use of available information about the object.

В геофизической практике решения обратных задач существует два подхода к постановке и соответственно решению задачи - детерминистический и статистический (вероятностный). Теория обратных задач, по сути, есть математической теорией, описывающей каким способом информация о параметризованной физической системе может быть получена из наблюдаемых данных, теоретической связи между модельными параметрами и данными, и априорной информацией.

Обратные задачи гравиметрии, как правило, рассматриваются в детерминистической постановке, и алгоритмы решения направлены, прежде всего, на формулирование условий корректной постановки задачи путем введения априорных ограничений и пр., а также на повышение эффективности минимизации целевой функции и статистическую оценку уровня помех в измерениях поля.

При этом далеко не всегда учитывается вероятностный характер части априорных данных, и зачастую область исследуемого параметрического пространства ограничена свойствами целевой функции, а критерий выбора оптимального решения из множества допустимых при этом никак не привязан к вероятностным свойствам помех.

Как справедливо отмечается в работе [1], возможности детерминистского подхода при решении конкретной интерпретационной задачи всегда имеют свои вполне определенные границы, а апелляция к сходимости - это попытка создать иллюзию всемогущества функционально-аналитических методов решения некорректных обратных задач.

Отметим, что статистический подход довольно успешно используется в сейсмических обратных задачах. Хорошо известны работы [5, 6, 7, 8] тому подтверждение.

Для задач гравиметрии в рамках концепции совмещения детерминистских и вероятностных методов известна работа [1], где решается линейная обратная задача гравиметрии и магнитометрии.

Но важно также отметить, что и совместное использование двух подходов требует, чтобы выбор оптимального решения осуществлялся с учетом априорной функции плотности вероятностей $p(\mathbf{m})$. Известны различные критерии выбора оптимального решения из множества возможных решений D , наделенного вероятностной мерой. Один из них – максимум апостериорной плотности вероятностей, получивший в геофизических приложениях широкое распространение [2]. Следует, однако, подчеркнуть, что методы, реализующие этот критерий, являются вероятностными методами «в чистом виде» и не предусматривают одновременный учет различной дополнительной информации детерминистического характера.

Рассмотрим особенности статистического и детерминистского подходов в применении к обратной нелинейной задаче гравиметрии.

Постановка задачи.

Пусть под земной поверхностью имеем некоторую область D , массы которой характеризуются неоднородным распределением плотности. Геологический объект, принадлежащий этой области параметризуется, то есть, описывается совокупностью параметров $\mathbf{m} = [m_1, m_2, \dots, m_k] \in M$, где M – параметрическое пространство. Каждая модель \mathbf{m} рассматривается как точка в модельном пространстве M . Плотность вероятности априорного распределения моделей в этом пространстве обозначим $p(\mathbf{m})$.

В n точках земной поверхности наблюдаемое поле силы тяжести имеет значения $d_{obs} = (g_1, g_2, \dots, g_n)$. Априорная информация о геологическом объекте получена из некоторых экспериментальных наблюдений. Вероятностный подход к обратной задаче описывает априорную информацию о модели с помощью функции плотности вероятности $p(\mathbf{m})$. Задача заключается в поиске апостериори плотности вероятности $p(\mathbf{d})$ распределения вектора \mathbf{m} , исходя из наблюдаемых данных, теоретической взаимосвязи между модельными параметрами и наблюдаемым полем, а также априорной информации [9]:

$$p(\mathbf{d}) = k p(\mathbf{m}) L(\mathbf{m}),$$

где k – соответствующая нормализующая константа, $p(\mathbf{m})$ – плотность вероятности априорного модельного распределения, $L(\mathbf{m})$ – функционал, который сравнивает соответствие между наблюдаемыми и теоретическими данными.

На практике в большинстве геофизических экспериментах считается, что обе и априорная и апостериорная плотности распределения есть Гауссовыми.

$$p(\mathbf{m}) = \frac{1}{(2\pi)^{L/2} |C_M|^{1/2}} \exp\left\{-\frac{1}{2} [\mathbf{m} - \mathbf{m}_0]^T C_M^{-1} [\mathbf{m} - \mathbf{m}_0]\right\}$$

$$p(\mathbf{d}_{obs} / \mathbf{m}) = \frac{1}{(2\pi)^{L/2} |C_D|^{1/2}} \exp\left\{-\frac{1}{2} [\mathbf{f}(\mathbf{m}) - \mathbf{d}_{obs}]^T C_D^{-1} [\mathbf{f}(\mathbf{m}) - \mathbf{d}_{obs}]\right\} \quad (1)$$

где \mathbf{m}_0 – априорная модель, C_M и C_D – ковариационные матрицы модели и наблюдаемых данных, соответственно, $|C_M|$ и $|C_D|$ – соответствующие детерминанты. Ковариационная матрица модели C_M описывает неопределенности в априорных знаниях о модельных параметрах и корреляции между ними. Ковариационная матрица данных C_D описывает неопределенности теоретических и наблюдаемых данных.

При таких допущениях максимизация (1) эквивалентна минимизации следующей целевой функции:

$$L(\mathbf{m}) = \|\mathbf{g}(\mathbf{m}) - \mathbf{d}_{obs}\|_{C_D}^2 + (\mathbf{m} - \mathbf{m}_0)^T C_M^{-1} (\mathbf{m} - \mathbf{m}_0) \quad (2)$$

Минимизация (2) может быть выполнена эффективно в случае, когда $\mathbf{g}(\mathbf{m})$ линейная и матрицы C_M и C_D диагональные. Оптимальное решение сильно зависит от значений диагональных элементов этих матриц. Если диагональные элементы C_D больше чем элементы C_M , тогда полученное решение слабо зависит от априорной информации, в другом случае решение сходится к априорной модели \mathbf{m}_0 .

Поскольку модельное пространство обычно многомерное, то и соответствующее априорное распределение, как правило, достаточно сложно.

В этой ситуации невероятная априорная информация может быть описана способом более эффективным, чем с помощью функции плотности распределения PDF, а именно посредством нечетких множеств. Важное преимущество в том, что основные операции нечетких множеств обеспечивают достаточно удобное комбинирование различных четких и нечетких ограничений на модельные параметры. Однако необходимо помнить, что функция принадлежности не может быть использована вместо априори PDF в классической формулировке обратной задачи, так как они не только выражают два разных типа неопределенной информации, но также соответствуют разным мерам неопределенности, которые должны удовлетворять разным аксиомам. Для того, чтобы комбинировать разные типы неопределенности в одной схеме инверсии, необходимо изменить формулировку обратной задачи [5]. Для обратной задачи гравиметрии такая формулировка приводится в работе [3].

Невероятный подход предполагает преобразование традиционной одноцелевой геофизической задачи в многоцелевую задачу оптимизации с двумя целевыми функциями.

$$\mathbf{F}(\mathbf{m}) = (F_1(\mathbf{m}), F_2(\mathbf{m})),$$

где $F_1(\mathbf{m})$ показывает на сколько решение удовлетворяет наблюдаемым данным, $F_2(\mathbf{m}) = \mu_M(\mathbf{m})$ – функция принадлежности нечеткого множества возможных решений, которая показывает на сколько модель удовлетворяет априорной информации.

Важно отметить, что в случае одно целевой оптимизационной задачи качество решения оценивается функцией невязки для каждого решения в параметрическом пространстве. В случае многоцелевой задачи каждое решение имеет $L \geq 2$ оценочных значений, одно для каждой целевой функции. Вектор целевой функции отображает параметрическое пространство R^k в целевое пространство R^L . Решения с многоцелевыми значениями позволяют сравнить концепция не доминирования [4].

В итоге для эффективного поиска в многомерном параметрическом пространстве будем использовать подход, предложенный М. Самбриджем [8], в его алгоритме окрестностей, то есть, аппроксимацию параметрического пространства диаграммами Вороного. Диаграммы Вороного целесообразно использовать в алгоритмах глобальной оптимизации для уменьшения количества вычислений прямой задачи и для увеличения разрешающей способности области исследования. Вычисление прямой задачи заменяется поиском ближайшего элемента диаграммы Вороного. В данном случае деление Вороного используется для определения области поиска Парето-оптимальных точек [5].

Качество решения оценивается двумя значениями: условной PDF наблюдаемых данных, которая показывает, на сколько решение удовлетворяет наблюдаемым данным, и функцией принадлежности нечеткого множества возможных решений, которая показывает, на сколько модель удовлетворяет априорной информации.

Таким образом, использование возможностей детерминистического и статистического подходов для инверсии гравиметрических данных в условиях неопределенности разнородной априорной информации может быть весьма полезным. В рамках вероятностного подхода априорное распределение модельных параметров описывается посредством нечетких множеств. Это предложение основано на том факте, что априорная информация часто связана с неопределенностью в большей мере невероятной природы.

Детерминистский подход используется при вычислении поля от заданного распределения модельных параметров, а также для формализации априорной информации посредством естественных ограничений, независимых оценок избыточной массы источников аномалии, ограничения на максимально допустимые превышения плотностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балк П.И., Долгаль А.С., Мичурин АВ. Смешанные вероятностно-детерминистские методы решения линейных обратных задач гравиметрии и магнитометрии // Геофизика. 2011. №2. С. 20-29.
2. Гольцман Ф. М., Калинина Т.Б. Статистическая интерпретация магнитных и гравитационных аномалий. Л.: Недра, 1983. 248 с.
3. Кишман-Лаванова Т.Н. Парето-оптимальные решения обратной задачи гравиметрии с неопределенной априорной информацией // Геофизический журнал. 2015. Т. 37. №5. С. 93-103.
4. Goldberg D.E., Deb K., Clark J.H. Genetic Algorithms, Noise, and the Sizing of Populations. // Complex Systems. 1992. № 6. P. 333-362.
5. Kozlovskaya E. An algorithm of geophysical data inversion based on non-probalistic presentation of a priori information and definition of Pareto-optimality // Inverse problem. 2000. V.16. P. 839-861.
6. Mosegaard K., Tarantola A. Monte Carlo sampling of solutions to inverse problems // J.Geoph.Research. 1995. V.100 (B7). P. 12431 – 12447.
7. Sambridge M., Drijkoningen G. G. Genetic algorithms in seismic waveform inversion //Geophys. J. Int. 1992. V. 109. P. 323-342.
8. Sambridge M. Geophysical inversion with a neighbourhood algorithm – I. Searching a parameter space // Geophysical journal international. 1999. V.138 (2). P. 479-494.
9. Tarantola A., Valette B. Generalized non linear inverse problem using the least squares criterion // Rev. Geophys. Space. 1982. V. 20. P. 219-232.

УДК 552.08:53

**СКОПЛЕНИЯ АБИОГЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ В КОРОВЫХ ЗОНАХ
НИЗКИХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СКОРОСТЕЙ ПАЛЕОРИФТОГЕНОВ
АНТАРКТИЧЕСКОГО ПОЛУОСТРОВА**

*Корчин Валерий Александрович
E-mail: korchin@igph.kiev.ua
Институт геофизики НАН Украины, Киев*

Аннотация. По величине температур на определенных глубинах можно утверждать, что зоны низких скоростей центральной части Антарктического полуострова имеют термобарическую природу. С учетом состояния пород в ЗНС (областях их разуплотнения) она наиболее расслоена, характеризуется повышенной пористостью и наиболее приемлема для мигрирующих и локализации минеральных сред в земной коре. Установленная пространственная последовательность: рифтовая зона – рифтогенный узел – глубинный магматоген – пологозалегающие зоны дизъюнктивной дислоцированности метаморфических и изверженных пород (наличие ЗНС), указывает на возможное скопление углеводородов абиогенного генезиса Антарктического полуострова.

**ACCUMULATION OF ABIOGENIC HYDROCARBONS IN THE CRUST LOW SEISMIC
VELOCITY ZONES OF RIFTOGENIC KNOTS OF THE ANTARCTIC PENINSULA**

*Корчин Валерий Александрович
E-mail: korchin@igph.kiev.ua
Институт геофизики НАН Украины, Киев*

Summary. It is possible on the size of temperatures on certain depths, that the low velocity seismic zones of central part of the Antarctic peninsula have a thermobaric nature. Taking into account of rocks consisting in LVZ it most unlayering (areas of their unpacking). Low velocity zones characterized enhanceable porosity and most acceptable to migration and localization of mineral environments in the Earth's crust. Spatial sequence is set: a riftzone – a riftogenic knot – a deep magmatogen – a declivous bedding areas of dizunctive dislocations of metamorphic and igneous rocks (presence of LVZ), specifies on the possible hydrocarbons accumulation of abiogenic genesis of the Antarctic peninsula.

Для горных пород экспериментально установлены сложные изменения $V_{P,S} = f(PT) = f(H)$ (выявлены области инверсии скоростей). В них наблюдается катакластическое разуплотнение минеральной среды. Эти области хорошо совпадают по своей конфигурации и местоположению со скоростными аномалиями глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) [3-6]. Зоны проявляются только тогда, когда температурный градиент в коре превосходит определенный порог, а давление не способно компенсировать термические нарушения в породах. Наличие зон низких сейсмических скоростей (ЗНС) является объективной реальностью, они могут быть повсеместно в земной коре. Их мощность может увеличиваться с увеличением интенсивности теплового потока или они исчезают с понижением тепла в литосфере. Сопоставляя результаты экспериментальных *PT*-исследований упругих характеристик пород с данными ГСЗ, используя метод петрофизического термобарического моделирования (ПТМ) [4, 7], построены модели распределения пород и их физических параметров с глубиной. Удалось более полно охарактеризовать изменение пористости и трещиноватости пород с глубиной, объяснить некоторые коровые аномалии разуплотнения пород, которые, в свою очередь, являются проводниками миграции и локализации различных флюидов, в том числе углеводородов глубинного происхождения [5, 6].

Основные промышленные скопления углеводородов (свыше 80 %) тяготеют к крупным разрывным тектоническим зонам. В отдельных нефтегазоносных областях известны многочисленные залежи нефти, связанные непосредственно с магматическими и метаморфическими породами [2, 10]. Для формирования зон максимальных концентраций нефти или газа наиболее благоприятными являются области с повышенными геотермическими параметрами и пониженной плотностью. Именно в рифтах и зонах глубинных разломов вследствие выноса водорода и углеводородных соединений, высоких температур и стрессовых напряжений должен осуществляться синтез широкого спектра углеводородов. Принимая во внимание пространственную приуроченность месторождений к пересечению глубинных планетарных рифтогенных зон: меридионального архейского Восточно-Европейско-Мозамбикского горячего пояса [10] и диагонального протерозойского Скифско-Туранского линейного элемента (его Днепровско-Донецкого сегмента), была обоснована возможная связь эндогенных углеводородов с рифтогенными узлами [10]. Результатом развития проблемы явилось открытие на северном борту Днепровско-Донецкого палеорифта ряда нефтегазоперспективных месторождений, отнесенных к эндогенному классу, чье углеводородное сырье не связано с термодинамической трансформацией захороненного биоценоза [10]. С реализацией идеи горячих поясов Земли [10] были выявлены аномальные региональные скопления рифтогенных узлов, которые оказались приуроченными к основным нефтегазоносным провинциям земного шара. Опираясь на опыт изучения эталонного Полтавского рифтогенного узла, а также Аравийского полуострова (рис. 1, а), где располагается наибольшее число месторождений углеводородов, иногда относимых к эндогенному классу [10], рассматривается Антарктический континент.

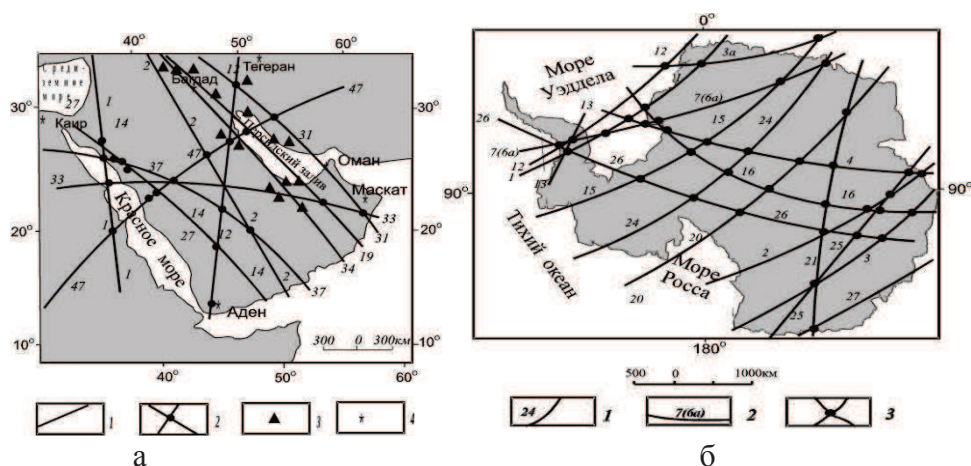


Рис. 1. Схема распределения рифтогенных узлов: а - Аравийский полуостров (1 – палеомагнитные экваторы, 2 – рифтогенные узлы, 3 – нефтегазоносные районы, 4 – населенные пункты), б - Антарктида (1 – палеомагнитные экваторы, 2 – рекуррентное их совмещение, 3 – рифтогенные узлы) [10].

Выделение рифтогенных узлов – прерогатива геофизических, в частности сейсмических методов, по материалам которых они могут прослеживаться в виде зон скоростной инверсии [3, 10]. Если эти зоны имеют термобарическую природу, они характеризуются повышенной пористостью и проницаемостью, что необходимо для миграции и локализации, глубинных газово-жидких флюидов, в частности углеводородов [3-6]. В связи с этим, чрезвычайный интерес представляет аналогичное, обнаруженное, аномальное скопление рифтогенных узлов на Антарктическом континенте [2, 10] (рис. 1, б). Известные особенности геологического строения древнего, закрытого льдом континента Антарктиды получены в основном на его окраине. По данным Г.Э. Грикурова ([1], с. 79) «практически с момента заложения антарктической континентальной коры прослеживается тенденция к ее деструкции, что выражается в развитии рифтоподобных и рифтовых зон на всех этапах тектонической эволюции». Территорию Антарктиды пересекают 18

рифтогенных структур во временном интервале от архея до среднего палеозоя (рис. 1, б). При их пересечении сформированы 37 рифтогенных узлов, которые могут претендовать на потенциально углеводородные регионы [2, 10].

В настоящее время нет данных о распределении температуры с глубиной даже Антарктического полуострова. Для решения этой задачи был применен комплексный подход с использованием геологической, геофизической и петрофизической информации. Экспериментальными исследованиями зависимости $V_{p,s} = f(PT) = f(H)$ в горных породах при программных изменениях PT -параметров установлено наличие зон инверсии скорости, так называемых ЗНС. Эти зоны сравнимы с глубинными упругими аномалиями в коре, наличие которых подтверждают данные ГСЗ различных регионов, в том числе и некоторых районов Антарктиды [7, 14]. Параметры зон чувствительны к температурным режимам коры. Сопоставляя результаты экспериментальных исследований упругих характеристик пород некоторых районов Антарктического полуострова и Украинского щита при высоких давлениях (P) и температурах (T) с данными ГСЗ, сделаны прогнозные оценки распределения с глубиной определенных пород Антарктического полуострова при конкретных T [4-7]. Для ПТМ была отобрана коллекция пород Антарктического полуострова и прилегающих островов в районе станции «Академик Вернадский» [7, 14]. Наибольший интерес представляет комплекс интрузивных пород. Они могут быть аналогами современных глубинных образований, слагающих земную кору (граниты, гранодиориты, диориты и габброиды). ПТМ вдоль DSS-10, 12, 13 [7, 14] дает основание предполагать, что кора в точках пересечения профилей, сформирована, в основном, гранодиорит-диоритовыми породами, которые постепенно переходят ($H < 30$ км) в габбро-диоритовый слой. Вдоль профиля DSS-17, пересекающего Южно-Шетландские острова, пролив Брансфилд и северную часть полуострова Тринити, мощность коры составляет 42 км, и породы имеют скорости сейсмических волн характерные для континентальной коры. Если предположить, что земная кора центральной части Антарктического полуострова в районе Берега Грехема (территория пересечения профилей DSS-10, 12, 13) подобна северной его части (полуостров Тринити, DSS-17), то прогнозируемый нами по вещественному составу участок на запад от станции «Академик Вернадский» представляет собой зону перехода от континентальной коры к океанической, где отмечаются структурные особенности коры, характерные для областей рифтогенеза (рис. 2).

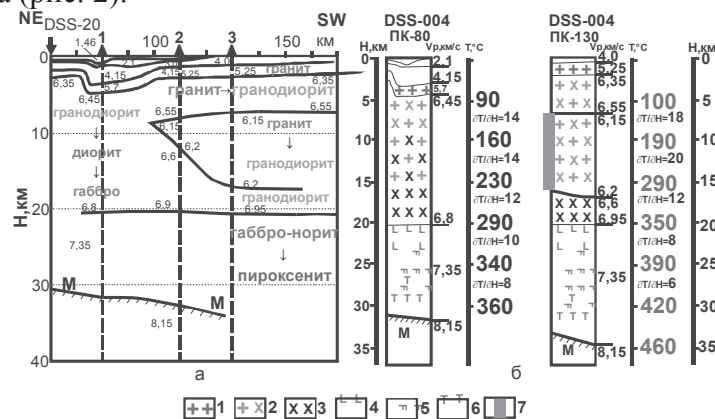


Рис. 2. а – данные DSS и прогнозная петрофизическая модель; б – петроскоростные модели и прогноз температуры с глубиной. 1 – гранитоиды, 2 – гранодиориты, 3 – диориты, 4 – габбро, 5 – габбро-нориты, 6 – пироксениты, 7 – ЗНС выделены при $\partial T/\partial H > 14$ °C/км.

Здесь обнаружены области аномального поведения упругого вещества земной коры в виде зон низких сейсмических скоростей [7, 14], которые представляют собой протяженные участки, направленные вглубь континента. В них наблюдается уменьшения скорости от 6,5 до 6,2 км/с. Характер ЗНС может служить источником информации о глубинных давлениях и температурах и тектонических явлениях изучаемой территории [3-6]. Совместный анализ материалов ГСЗ, геотермического и петроструктурного моделирования подтверждают, что

участки земной коры с более высокими температурными градиентами имеют более сложный характер изменения сейсмических скоростей с глубиной с проявлением интенсивных ЗНС. Предполагая совпадение температур в экспериментах и по глубине в природе, а также принимая во внимание подобие сейсмических скоростей с экспериментальными, измеренными на образцах пород, были рассчитаны распределения температур с глубиной в коре средней части Антарктического полуострова (рис. 2, б). В районе континентального участка профиля DSS-004 [7, 14], где выделяется зона низких скоростей (ПК-130) (рис. 2, б), можно с достаточной уверенностью предположить следующие распределения температур с глубиной: на глубинах 5 км температура равна 100 °С, 10 км – 190±25, 15 км – 290±50, 20 км – 350±50 °С. В местах, где отсутствуют ЗНС (ПК-80), изменения температуры с глубиной наблюдаются с меньшими градиентами (рис. 2, б).

По величине температур на определенных глубинах можно утверждать, что зоны низких скоростей центральной части Антарктического полуострова имеют термобарическую природу. С учетом состояния пород в ЗНС (областях их разуплотнения и наибольшего расслоения, характеризующихся повышенной пористостью [3, 5, 6]) она наиболее приемлема для локализации и миграции минеральных сред в земной коре, в том числе углеводородов. Транспортными каналами перемещения углеводородных сред ряд авторов полагают, что должны быть, так называемые, "трубы" [8, 9, 12 и др.]. А.Е. Лукин разрабатывая идею П.Н. Кропоткина [8] предложил рассматривать месторождения нефти и газа, как многоэтажное скопление углеводородов внутри "трубы" дегазации, куда мантийные углеводороды проникают по разломам коры [12] (рис. 3, а).

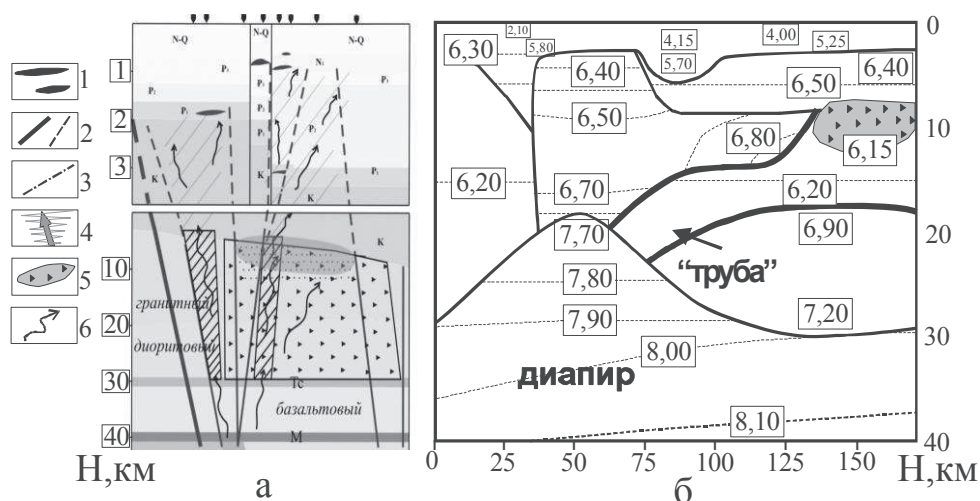


Рис. 3. а - Схема "трубы" дегазации в развитии концепции П.Н. Кропоткина и А.Е. Лукина [8, 9, 12]: связь месторождений углеводородов с глубинным строением литосферы. 1 – месторождения углеводородов, 2 – разломы консолидированной коры; 3 – тектонические нарушения; 4 - канал поступления мантийных флюидов; 5 – перспективная область на скопление углеводородов в фундаменте; б – пути миграции глубинных углеводородов. б – дополненный вариант модели DSS-004 [5, 14].

Автор отмечает, что флюидопроводящие системы – трубы дегазации – должны быть приурочены к разуплотненным массивам пород кристаллического фундамента и, как правило, иметь плюмтектоническую, термобарическую природу, что создает благоприятные условия для возникновения труб дегазации различных размеров, морфологии и флюидодинамической активности [9, 12]. Именно такая ситуация обнаружена на профиле DSS-004 [14] (рис. 3, б). Здесь есть плюмтектонический объект, труба дегазации (породы с низкими сейсмическими скоростями) и обширная область термобарически разуплотненных пород на глубине 5-15км. Представленный выше материал о природе термобарических зон разуплотнения пород земной коры [3-6] существенно дополняют теорию труб дегазации.

Эти зоны являются верхнекоровыми резервуарами глубинных флюидов и природными ловушками мантийной дегазации углеводородов. Разломы совместно с ЗНС приобретая характер широкомасштабной системы сквозных глубинных нарушений в коре, в период активизации тектономагматических процессов наиболее проницаемы. С ними связывается повышение интенсивности теплового потока, поступление продуктов магматизма (в виде гидротермальных растворов и газов). Являясь корневой системой приповерхностных разломных структур, эти зоны в последующие этапы тектоно-магматической активизации способствуют выносу, перераспределению, формированию полезного минерального вещества в близповерхностных частях коры. Далее, например, углеводороды локализуясь по классической схеме в осадочном чехле образуют месторождения.

Приведенное выше, позволяет считать, что установленная пространственная последовательность: зона разломов (рифтогены) – пересечение разломных структур (рифтогенный узел) – глубинный магматоген – пологозалегающие зоны дизъюнктивной дислоцированности метаморфических и изверженных пород (наличие ЗНС), указывают на возможное скопление углеводородов абиогенного генезиса любого региона, а также Антарктического полуострова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грикуров Г. Э. Континентальный рифтогенез в домезозойской эволюции земной коры Антарктиды // Тектонические процессы. Москва: Наука, 1989, 264 с.
2. Коболев В. П., Оровецкий Ю. П. Эндогенные углеводороды Антарктиды (прогностическая оценка). Украинський антарктичний журнал. 2005. № 3, С. 44-56.
3. Корчин В.А. Термодинамика коровых зон низких сейсмических скоростей (новая научная гипотеза). LAP Lambert Academic Publishing, 2013, 280 с.
4. Корчин В.А., Буртный П.А., Коболев В.П. Термобарическое петрофизическое моделирование в геофизике. Киев: Наукова думка, 2013, 312 с.
5. Корчин В.А. Коровые зоны низких скоростей – перспективные горизонты локализаций глубинных углеводородов // Глубинная нефть. 2013. 1, № 8, С. 1099-1116.
6. Корчин В. А. Термобарическое моделирование аномалий повышенной пористости в горных породах земной коры – горизонтов возможной миграции и локализации глубинных углеводородов. Электронный журнал "Глубинная нефть". 2014. 2, № 9, С. 1434-1448.
7. Корчин В. А., Буртный П. А., Карнаухова Е. Е. Температурное и петрофизическое моделирование глубинных горизонтов земной коры района Антарктического полуострова // Украинський антарктичний журнал. 2014. № 13-14, С. 31-47.
8. Кропоткин П.Н. Дегазация Земли и генезис углеводородов // ЖВХО, 1986. - № 5. С. 48.
9. Лукин А.Е., Шумлянський В.А., Дьяченко Г.И., Ивантишина О.М. Проблемы холодной дегазации Земли. Киев: Изд. ИФИ Укр...науч. асоц., 1994, 80 с.
10. Оровецкий Ю. П. Коболев В. П. Горячие пояса Земли. Киев: Наукова думка, 2006, 311 с.
11. Русаков О.М., Корчин В.А. Происхождение и локализация абиогенного метана в кристаллической коре северо-западной части Черного моря // Материалы Всероссийской конференции по глубинному генезису нефти «4-е Кудрявцевские чтения». Москва: ЦГЭ, 2015. CD.
12. Старостенко В. И., Лукин А. Е, Русаков О. М., Пашкевич И. К., Лебедь Т. В. Углеводородный сквозьформационный флюидоподводящий канал на северо-западном шельфе Черного моря по данным трехмерного магнитного моделирования // Геология и полезные ископаемое Мирового океана. 2015. № 2, С. 147-158.
13. Чебаненко И. И., Краюшкин В. А., Клочко В. П. Нефтегазоперспективные объекты Украины. Нефтегазоносность фундамента. Киев: Наукова думка, 2002, 296 с.
14. Janik T. 1997. Seismic crustal structure of the Bransfield Strait, West Antarctica. Polish Polar Research. 18 (3-4), 171-225.

УДК 552.08:53

УПРУГО-ПЛОТНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРНЫХ ПОРОД В РАЗЛИЧНЫХ ПРОГРАММНЫХ РТ УСЛОВИЯХ

Корчин Валерий Александрович, Буртный Петр Алексеевич, Карнаухова Елена Евгеньевна
E-mail: korchin@igph.kiev.ua
Институт геофизики НАН Украины, Киев

Аннотация. Упруго-плотностные характеристики исследуемых пород с глубиной в земной коре изменяются по нелинейным сложным законам. На зависимостях $V_p=f(H)$ и $\rho=f(H)$ проявляются зоны инверсии плотности и скорости, которые являются следствием разуплотнения пород в сложнапряженных и переменных полях глубинных давлений и температур. Материалы исследований дали возможность дополнить и исправить ранее известные зависимости “скорость–плотность” ($V_p = f(\rho)$), широко используемые при сейсмогравитационном моделировании и выделить на определенных глубинах зоны разуплотнения земной коры, где за счет более свободной циркуляции газовой-жидких флюидов возможно формирование участков скопления полезных ископаемых, в том числе углеводородов.

ELASTIC-DENSITY CHARACTERISTICS OF ROCKS IN THE DIFFERENT PROGRAM PT CONDITIONS

Korchin Valery, Burtnyi Petro, Karnaukhova Elena
E-mail: korchin@igph.kiev.ua
Institute of Geophysics NAS of Ukraine; Kiev

Summary. Elastic-density characteristics of rocks with a depth change on nonlinear laws. The experiments show that the $V_p=f(H)$ and $\rho=f(H)$ dependences have complicated regularities: on the curves velocity and density inversion zones with maxima and minima manifestation are marked. These materials enabled to complement and correct before the known information about “velocity-density” dependence ($V_p = f(\rho)$) on different depths, widely use at a seismic-gravity modelling and selected the Earth's crust unpacking zones on certain depths, where due to more free circulation of gas-liquid fluids the areas of accumulations of minerals is possible formed, including hydrocarbons.

При изучении строения земной коры и верхней мантии, а также поиска глубоко залегающих полезных ископаемых, широкое распространение получила комплексная интерпретация сейсмометрии и гравиметрии, которая легла в основу сейсмогравитационного моделирования. Одной из задач комплексной интерпретации геофизических данных является уточнение связей скорость-плотность для различных геологических объектов и построение согласованной модели глубинных горизонтов Земли, в которой расчетные волновые и гравитационные поля совпадают с наблюдаемыми [1, 2]. Эта задача, как правило, решается с учетом статистического анализа результатов измерений упругих и плотностных характеристик пород, изученных как в лабораторных, так и в полевых условиях. При этом, к сожалению, в преобладающем большинстве случаев связи $V_p=f(\rho)$ используются без учета глубинных термобарических воздействий на минеральное вещество (лишь иногда принимается во внимание влияние на упругие и плотностные параметры пород воздействие гидростатического давления при комнатных температурах) [2].

Нашими многолетними исследованиями убедительно показано, что в условиях больших глубин существенную роль на зависимости $V_p=f(PT)=f(H)$ и $\rho=f(H)$ оказывает температура, влияние которой необходимо учитывать при уточнении связи $V_p=f(\rho)$ на различных глубинах. В большинстве случаев такие зависимости далеки от линейных даже

для одной разновидности пород в условиях различных глубин [3, 4]. Такая неоднозначность возникает в связи со сложными зависимостями упругих и плотностных характеристик горных пород с глубиной, которые, как показали соответствующие эксперименты, изменяются по нелинейным законам с проявлением на зависимостях V_p и ρ максимумов и минимумов, т.е. при определенных одновременно действующих на минеральное вещество давления (P) и температур (T) выявляются зоны инверсии плотности и скорости распространения упругих волн (рис. 1, а, б). Экспериментально установлено, что зоны низких скоростей (ЗНС), которые проявляются в интервале глубин 3-20 км зависят от программных термобарических (PT) условий опыта. Совместимый анализ параметров сейсмических волноводов ГСЗ и зон низких скоростей, обнаруженных лабораторными петрофизическими исследованиями, позволил сделать предположение о термодинамической природе ЗНС в земной коре [3].

Комплекс физических и структурных исследований пород в PT условиях, соответствующих глубинам 3-20 км, когда ухудшаются упругие параметры минеральной среды, показал, что в данном интервале P и T происходит дилатансионное разрушение пород, как результат развития в среде неоднородных термоупругих напряжений [4]. Эти напряжения приводят к хрупким на микроуровне разрушениям, разуплотнению породы и межзернового пространства.

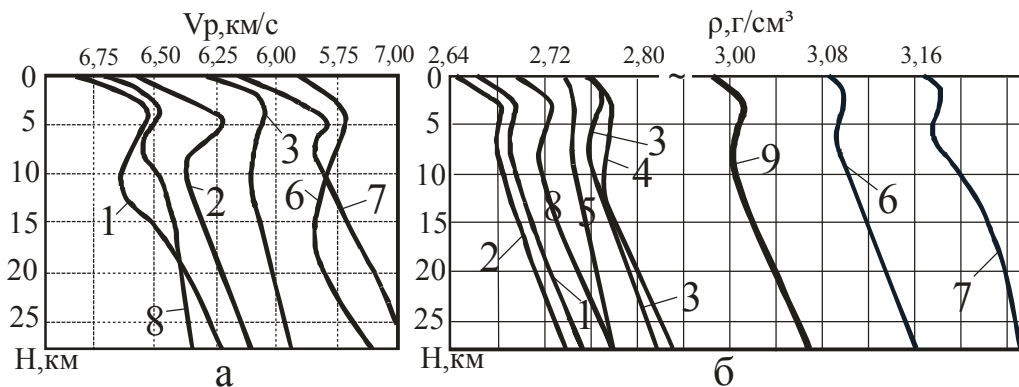


Рис. 1. а – Изменение с глубиной средних значений скоростей V_p ($V_p=f(PT)=f(H)$) для различных групп пород; б – изменение с глубиной средних значений плотности $\rho=f(H)$.

1 – граниты равномернoзернистые, 2 – граниты порфировидные, 3 – чарнокитоиды. 4 – анортозиты, 5 – лабрадориты, 6 – габбро, 7 – пироксениты, 8, 9 – гнейсы.

После предшествующего разуплотнения породы с дальнейшим увеличением PT -параметров опыта включаются механизмы, характерные пластичным превращениям среды, происходит уплотнение породы под воздействием глубинных P и T за счет вещественных и структурных ее преобразований. При этом скорости распространения упругих волн в средах интенсивно увеличиваются, более четко оконтуривая выше лежащую зону низких скоростей. Считаем, что наличие ЗНС в земной коре как результат структурных превращений пород в условиях противоборства P и T , является объективной реальностью, характерной для минеральной среды на определенных глубинах литосферы. Зоны низких скоростей возникают в тех случаях, когда градиент температуры на соответствующих глубинах превосходит определенный порог, а давление не способно компенсировать нарушение сплошности минерального вещества, вызванное действием температуры [4]. Зоны низких скоростей – наиболее активные горизонты современного превращения минеральной среды, изменения структурных особенностей земной коры, даже в тектонически спокойных регионах (например, кристаллических щитах) [2-6]. Это области наиболее выраженной самоорганизации корового материала нашей планеты. Они испытывают постоянные динамические изменения. В связи с ослабленными здесь упругими характеристиками пород – это области релаксации интенсивных полей напряжения тектонически активных процессов и миграции флюидов.

Эти процессы несомненно влияют также и на плотность пород. В работе представлены экспериментальные данные об изменении плотности пород с глубиной ($\rho=f(PT)=f(H)$) для конкретных PT -программ (рис. 1, б). Сделанные предположения о механизме возникновения ЗНС подтверждаются данными изучения под влиянием программногo воздействия PT на плотности пород. Как и ожидалось, при PT , соответствующих глубинам зон низких скоростей, плотности также уменьшаются, а иногда $\partial\rho/\partial H$ преобретают отрицательные значения, подтверждая тем самым интенсивное разуплотнение пород в этих горизонтах, образуя области пониженной плотности в коре. Эксперименты показали, что на глубинах от 5 до 15 км градиент роста плотности пород падает до нуля или становится отрицательным ($\Delta\rho\approx-0,01$ г/см³). Очевидно, изменение скорости и плотности пород на глубинах 3-20 км с проявлением зон инверсий V_P и ρ существенно изменяют зависимости $V_P=f(\rho)$ от принятых среднестатистических (рис. 2, а). Сопоставляя статистические зависимости $V_P=f(\rho)$ с таковыми для отдельных образцов пород (рис. 2, б), очевидно некоторое несовпадение данных. Как видно, для породы конкретного минерального состава зависимости $V_P=f(\rho)$ имеют сложную форму (образование петель и изгибов). Именно в зоне инверсии скорости и плотности традиционная зависимость «скорость-плотность» нарушается. Наши исследования дали возможность уточнить связь $V_P=f(\rho)$ на различных глубинах. Нет соответствия корреляционной зависимости: большей плотности пород соответствует большая скорость. На этом участке глубин необходим подбор плотностей корового минерального вещества, непосредственно по отдельным образцам пород, имеющим соответствующие скорости и конкретные плотности. Другими словами, построив в результате петрофизического термобарического моделирования (ПТМ) по данным совпадения экспериментальных и наблюдаемых (ГСЗ) скоростей, распределение минерального вещества с глубиной региона, далее подбираются плотностные зависимости $\rho=f(PT)=f(H)$, соответствующие конкретным породам.

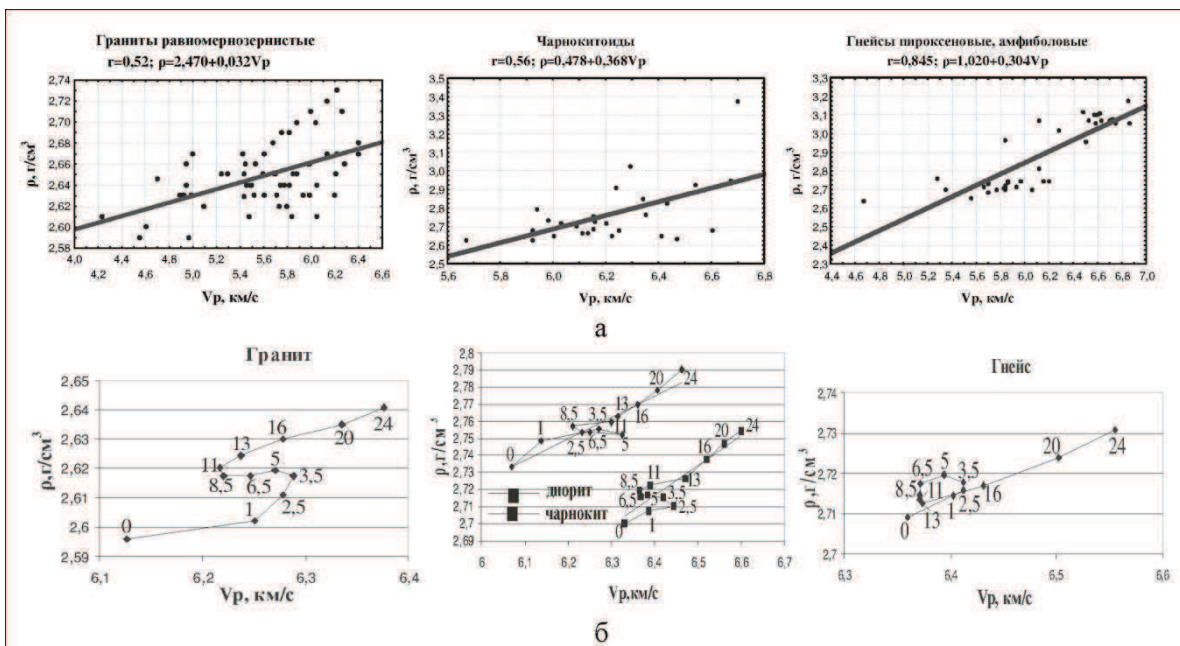


Рис. 2. а, б – Зависимости $V_P=f(\rho)$ для отдельных пород на различных глубинах (цифры на кривых соответствуют глубинам H в км (б)).

В результате статистической обработки имеющихся данных, а также после соответствующих построений было показано, что на глубинах 5-15 км в земной коре могут существовать вполне обоснованно зоны с пониженной плотностью по отношению к выше лежащим и подстилающим минеральным образованиям. Материалы этих данных использовались при построении соответствующих моделей распределения пород с глубиной для отдельных участков Украинского щита (УЩ).

Строение глубинных горизонтов земной коры не доступных бурению уточнялись в результате анализа материалов петрофизического термобарического моделирования. Используемая нами методика моделирования базируется на сопоставлении экспериментальных данных об изменении упругих и плотностных характеристик горных пород в PT -условиях, соответствующих термобарическим режимам земной коры исследуемых регионов, с материалами ГСЗ и гравиметрии [3, 5]. В результате петрофизического термобарического моделирования были построены скоростные и плотностные разрезы вдоль XXIV профиля ГСЗ, которые отражают особенности распределения этих параметров в земной коре Ингуло-Ингулецкого района УЩ (рис. 3). Во время формирования и становления коры этого района в протерозое температурный градиент был значительно выше современного. Поэтому наиболее широко зона повышенной проницаемости проявляется в коре Новоукраинского блока. Она наиболее благоприятна для образования и локализации полезных ископаемых, в результате чего, как показывают материалы исследований последних лет, большая часть месторождений расположена в пределах Новоукраинского блока УЩ.

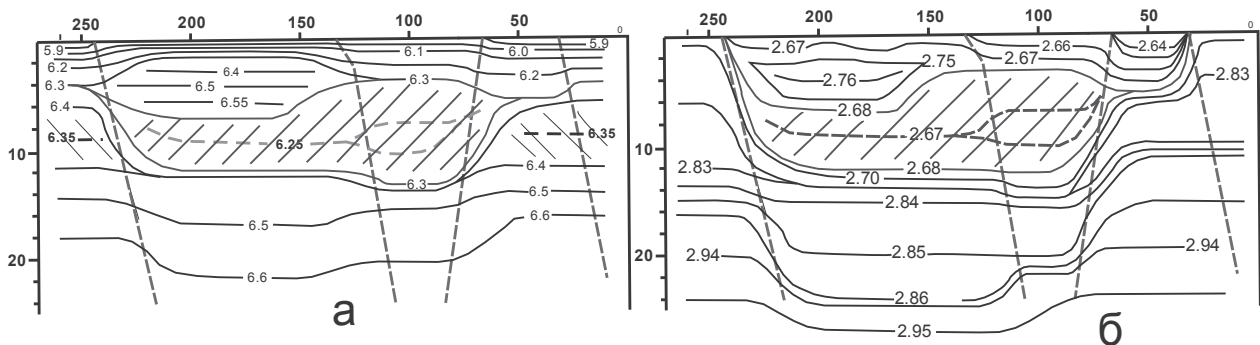


Рис. 3. Скоростной (а) и плотностной (б) разрезы земной коры вдоль профиля ГСЗ XXIV, построенные по данным экспериментальных исследований изменения скорости и плотности горных пород с глубиной (ρ , $V_P=f(PT)=f(H)$).

В земной коре предполагаются локальные области понижения плотности, которые, как правило, совпадают с ЗНС и формируются глубинными PT условиями соответствующих регионов. Эти зоны с пониженными упругими характеристиками и плотностями являются наиболее активными локализациями нарушений корового материала. Здесь, за счет более свободной циркуляции газовой-жидких флюидов возможно формирование участков скопления полезных ископаемых, в том числе углеводородов [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сейсмо-гравитационное моделирование при изучении литосферы / Отв.редакторы В.И.Старостенко, Я.Шванцара. Киев: Наукова думка, 1994, 292 с.
2. Красовский С.С. Отражение динамики земной коры континентального типа в гравитационном поле. Киев: Наукова думка, 1981, 264 с.
3. Корчин В.А., Буртный П.А., Кобелев В.П. Термобарическое петрофизическое моделирование в геофизике. Киев: Наукова думка, 2013, 312 с.
4. Корчин В.А. Термодинамика коровых зон низких сейсмических скоростей (новая научная гипотеза). LAP Lambert Academic Publishing, 2013, 280 с.
5. Буртный П.А., Корчин В.А., Карнаухова Е.Е. Моделирование вещественного состава глубинных горизонтов земной коры (новая концепция интерпретации геофизических данных). LAP Lambert Academic Publishing, 2013, 188 с.
6. Корчин В.А. Коровые зоны низких скоростей – перспективные горизонты локализаций глубинных углеводородов. Глубинная нефть. 1, № 8. 2013, С. 1099-1116.

УДК 528.8.04, 528.88

**О ФОРМИРОВАНИИ ПОТОКОВ ЖИДКОСТИ ВО ВРАЩАЮЩЕМСЯ ШАРЕ ПОД
ДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНИХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ПРИЛИВНЫХ СИЛ**

В.А. Кочнев, Д.А. Александровский
Институт вычислительного моделирования СО РАН, г. Красноярск, Россия
e-mail: kochnev@icm.krasn.ru

Аннотация. В работе показано, что наибольшие приливные силы создаются в экваториальной области планеты. Это предопределяет аналогичные механизмы формирования течений, которые в ионизированном ядре генерируют токи и магнитное поле Земли. Показана линейная зависимость магнитного поля и приливных сил для планет Солнечной системы.

**ON FORMATION OF LIQUID FLOWS IN A ROTATING SPHERE UNDER THE
INFLUENCE OF EXTERNAL TIDAL FORCES**

V.A. Kochnev, D.A. Alexandrovsky
Institute of computational modeling SB RAS, Krasnoyarsk, Russia
e-mail: kochnev@icm.krasn.ru

Summary. A model of generation of the liquid flows within the sphere under the influence of tidal forces, analogous to their generation on the surface is presented. It is shown that tidal forces, generated by external objects are greater in equatorial area. Due to ionization of matter in planetary cores these flows generate currents that are, in turn, contributing to the planetary magnetic fields. Linear correlation is established between observed magnetic field and tidal forces generated by external objects for planets of the Solar system.

Введение. Влияние приливных сил на возникновение потоков жидкости в разных постановках рассматривалось еще Ньютоном, Лапласом, Эйлером и другими учёными. Среди значимых в контексте возникновения течений в ядре – работы Мельхиора [4], Ревуженко [6], Бутикова [1]. В них освещён широкий спектр математических моделей и интерпретации данных наблюдений уровней гравитационных волн на поверхности земной коры и океана. Наш интерес к этой теме обусловлен поиском природных механизмов, вызывающих движение жидкости в ядре планеты, которые могут быть источниками магнитного поля.

Следует заметить, что без учета гравитационного влияния внешних тел авторам различных моделей геодинамо не удавалось получить модель достаточную для объяснения всего спектра наблюдаемых явлений. По этому поводу написал Моффат [5]: «... нам пока неизвестно, что, в конечном счете, является источником энергии для основных движений диска земного динамо». Таким образом, поиск главного источника движения жидкости в ядре является ключевой проблемой при исследовании формирования планетарного магнитного поля.

Данная работа рассматривает приливные силы в качестве искомого источника движения в ядре и согласует эту модель с результатами решения обратной задачи магнитометрии.

Построение кинематико-гравитационной модели. Для создания модели введем объекты S — внешнее тело: Солнце или спутник планеты и точку D единичной массы — внутри планеты, на ней или над ней (рис. 1). Ее координаты определяются параметрами R , r и θ ; внешнее тело имеет массу m_s .

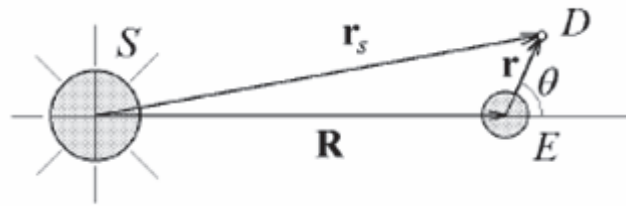


Рис. 1 Система координат для расчета приливной силы.

Гравитационная сила, действующая на объект с единичной массой, в центре планеты будет равна:

$$\Delta g_{sp} = G \frac{m_s}{R^2} \quad (1)$$

Кроме прямой силы рассчитаем горизонтальную составляющую силы тяжести [1]:

$$\Delta g_{hor} = -\frac{3}{2} \Delta g_{sp} \frac{r}{R} \sin 2\theta \quad (2)$$

Приняв $\theta=45^\circ$, получим оценку максимального значения горизонтальной составляющей силы тяжести. Введем период относительного вращения спутника вокруг планеты:

$$T_{rpl} = T_{pl} \left(\frac{T_{sp}}{T_{sp} - T_{pl}} \right), \quad (3)$$

где T_{pl} – период вращения планеты вокруг своей оси, а T_{sp} – период вращения спутника вокруг планеты. Тогда максимальное значение приливной силы можно записать как:

$$\Delta F = \frac{3 * G m_s m_1 r T_E}{2 R^3 T_{rpl}}, \quad (4)$$

где $T_E=1$ - период осевого вращения Земли.

Нетрудно увидеть, что при равенстве периодов обращения спутника вокруг планеты и вращения планеты вокруг своей оси $T_{rpl} \rightarrow \infty$, то есть спутник является стационарным и не создает приливных сил.

Приливная сила оказывается в прямой зависимости от r – расстояния от точки расчета до оси вращения планеты. Поясним этот эффект на примере формирования в Тихом океане глобальных вихревых течений (рис 2). Наибольшие силы создается на экваторе, меньшие в высоких широтах, что, наряду с ограничивающей океан сушей, и определяет направление этих циклических течений. Если рассмотреть картину течений со стороны северного полюса, они будут направлены по часовой стрелке, как в северном, так и в южном полушарии.

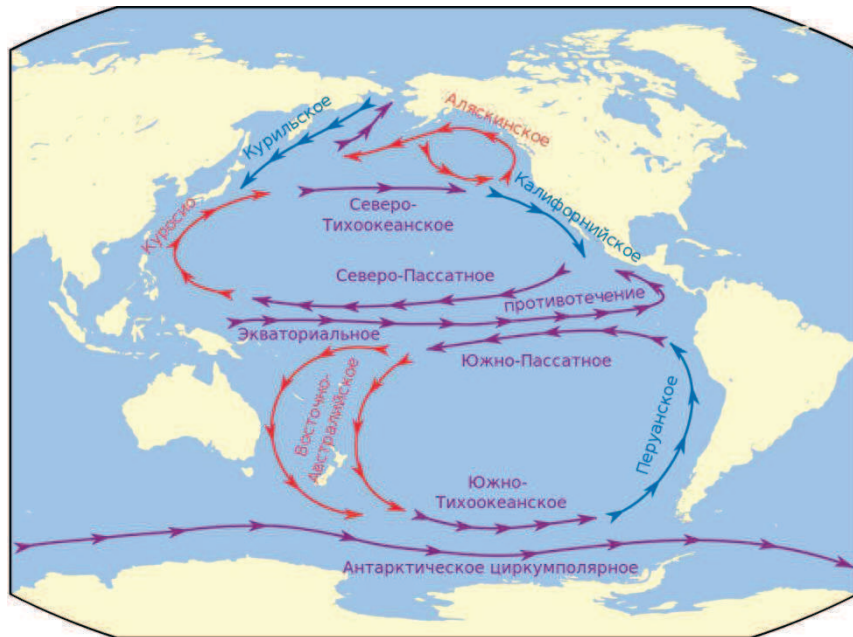


Рис. 2. Океанические течения на поверхности Земли.

Подобная картина движения жидкости вблизи поверхности ядра Земли получена при решении обратной задачи магнитометрии [2] (Рис. 3).

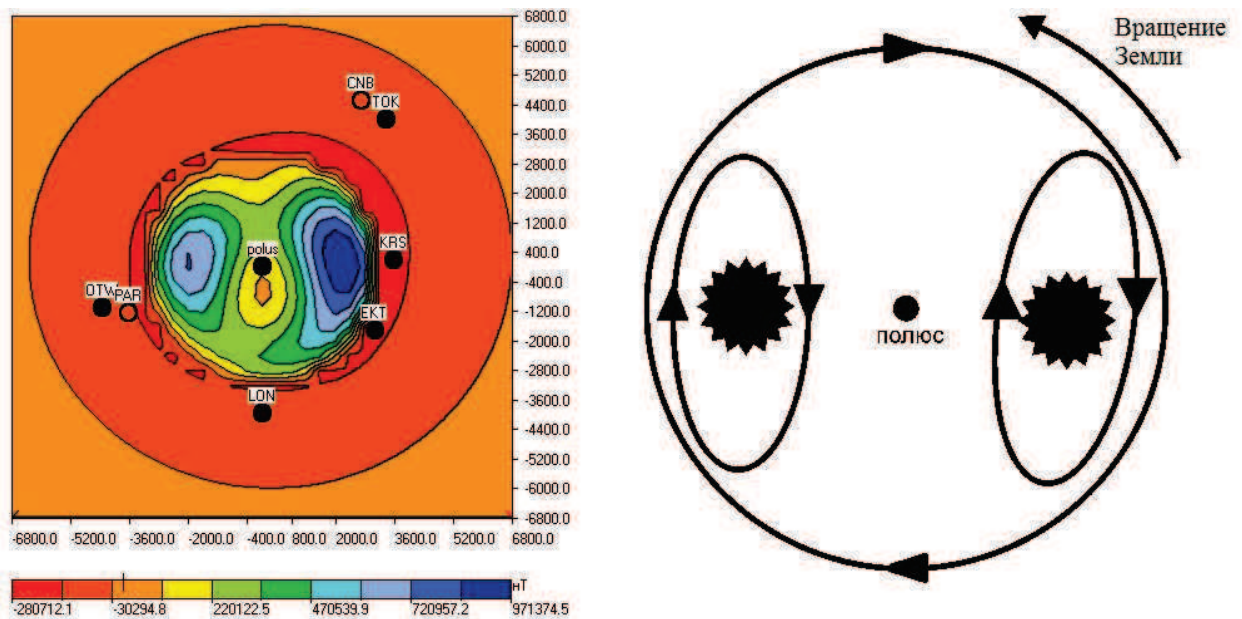


Рис. 3. Магнитное поле на поверхности ядра Земли в северном полушарии (слева) и направление токов, его обеспечивающих (вид со стороны северного полюса).

В работах Кочнева [2-3] приводятся результаты (рис. 4), указывающие на линейную связь приливных сил и интенсивности магнитного поля на планетах Солнечной системы, и объясняющие причины некоторых периодических изменений магнитного поля на планете Земля.

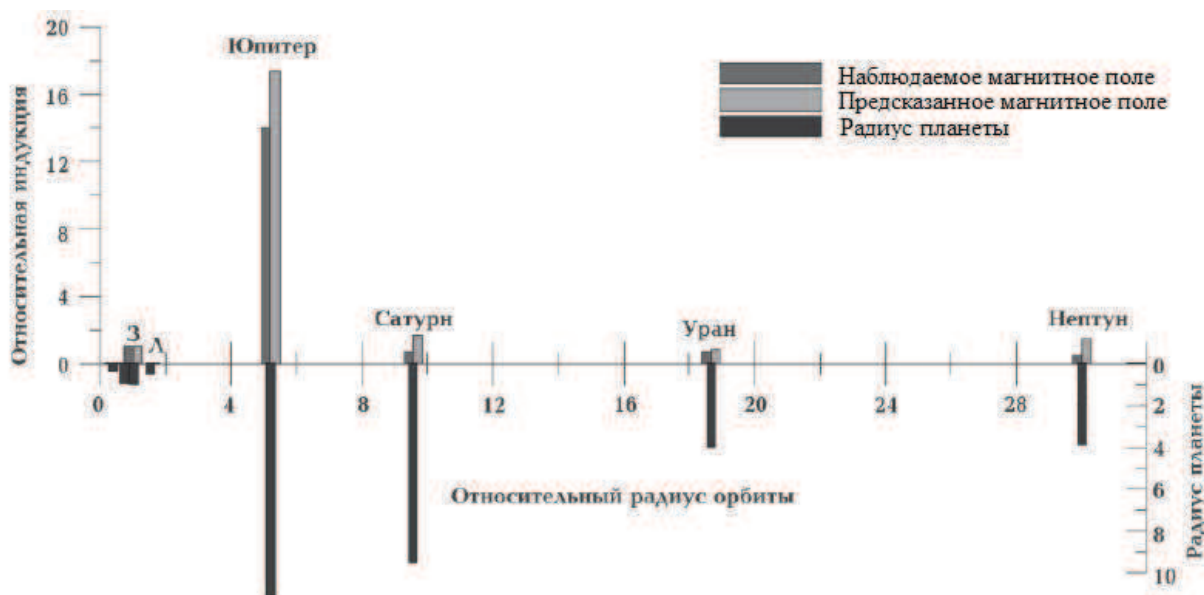


Рис. 4. Предсказанные и наблюдаемые значения магнитного поля на экваторе некоторых планет Солнечной системы (Земля принята за эталон единичного поля).

Расчет приливных сил может также использоваться для оценки уровня сейсмологической активности для разных регионов Земли. Примером такой оценки может служить работа [7].

Заключение. В работе приводится обоснование модели формирования потоков жидкости на поверхности Земли под воздействием приливных сил. Подобная картина течений на поверхности ядра, полученная при решении обратной задачи магнитометрии, указывает на приливной механизм их возникновения. Приливная модель формирования потоков в дальнейшем будет использована для решения широкого спектра задач: от оценки уровня сейсмологической активности в различных регионах Земли до определения приливных сил, создаваемых планетами на Солнце, и их влияния на интенсивность и динамику магнитного поля Солнца.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бутиков Е.И. Физика океанских приливов в компьютерных моделях. // Санкт-Петербург, СПбГУ, 2007.
2. Кочнев В.А. Модель источников магнитного поля Земли, полученная в результате решения обратной задачи. // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли: материалы III Междунар. науч. конф., Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2016, 364 с.
3. Кочнев В. А. Кинематико-гравитационная модель геодинамо. // Геология и геофизика. 2013. №4. С. 3-14.
4. Мельхиор П. Земные приливы. // Москва, Мир, 1968, 482 с.
5. Моффат, Г. Возбуждение магнитного поля в проводящей среде. // Москва, Мир, 1980, 335 с.
6. Ревуженко А.Ф. Приливные волны и направленный перенос масс Земли // Новосибирск: Наука, 2013, 204 с.
7. Чубаров Д.Л., Кочнев В.А. Расчет и анализ триггерного эффекта приливных сил на наиболее крупные землетрясения. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, 2016. Т. 327. № 2 с. 59-64.

УДК 551.594

ВОЗМУЩЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ АТМОСФЕРЫ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ,
ВЫЗВАННЫЕ СОЛНЕЧНЫМИ ВСПЫШКАМИ*Крашенинников Алексей Вадимович¹, Соловьев Сергей Петрович²,**Рыбаков Владимир Алексеевич³**pranfo@gmail.com**soloviev@idg.chph.ras.ru**rybak1946@yandex.ru**Институт динамики геосфер РАН, Россия, Москва*

Аннотация. Проведен анализ наблюдений вариаций градиента потенциала атмосферного электрического поля E_z в среднеширотной геофизической обсерватории ИДГ РАН Михнево [54,94N; 37,73E] в условиях "хорошей погоды". Обнаружены характерные колебания, возникающие одновременно с солнечной вспышкой. Также обнаружен эффект повышения средних значений напряженности электрического поля в течение нескольких дней после вспышки.

GROUND LEVEL ATMOSPHERIC ELECTRIC FIELD PERTURBATIONS CAUSED BY
SOLAR FLARES*Alexey Krasheninnikov¹, Sergey Soloviev², Vladimir Rybakov³**pranfo@gmail.com**soloviev@idg.chph.ras.ru**rybak1946@yandex.ru**Institute of Geosphere Dynamics, Russia, Moscow*

Summary. Analysis of data for near-ground atmospheric electric field collected from Mikhnevo Observatory [54,94N; 37,73E] within the "fair-weather conditions" were held. Specific variations associated with solar flares were registered. Effects of mean vertical electric field values increases were noticed for several days after a flare.

Солнечная активность влияет на различные процессы в атмосфере. Изменение солнечной активности под действием вспышек модулирует электрические параметры атмосферы не только на больших высотах, но и у поверхности земли. В данной работе будет рассмотрен один из таких параметров — напряженность электрического поля в приземном слое атмосферы. Ещё в середине прошлого века был открыт первый эффект влияния вспышек на электрическое поле [1, 2]. Он заключался в возрастании средних за день показаний напряженности электрического поля E_z и плотности тока J_z , начиная от дня вспышки до 3-4 суток после вспышки. Максимальное увеличение составляет порядка 30-60% по отношению к невозмущенной величине. Однако эффект наблюдается не только на высокогорных, но и на равнинных среднеширотных станциях [4].

При рассмотрении другой степени дискретизации снова обнаруживается сходный эффект, но уже другого масштаба. На высокоширотных станциях среднестихасовые значения E_z повышаются на 60-100% от среднемесячного уровня. Положительные возмущения возникают непосредственно после вспышек [3] и длятся около 20 часов, максимальные значения достигаются через 6-9 часов, причем в максимуме значения E_z могут превышать среднемесячный уровень в 1,7-2,7 раза в трехчасовом усреднении, и в 3-3,5 раза в часовом. За положительной фазой возмущений следует отрицательная. В отличие от высокоширотного региона, в среднеширотном проявляются свои особенности. Амплитуда возмущений в среднеширотном регионе в 1,5-2 раза меньше, а длительность — в 2 раза больше [6].

Стоит отметить, что возмущения электрического поля под действием солнечных вспышек возникают не только с большой задержкой. Во время самих вспышек могут возникать вариации, длительность которых примерно равна длительности вспышки. Этот эффект наблюдается не только на высокоширотных станциях, но и на среднеширотных станциях [7].

При проведении исследований использовались данные комплекса аппаратуры, установленной в Геофизической обсерватории «Михнево» ИДГ РАН [54,94N; 37,73E]. Регистрация вертикальной компоненты напряженности электрического поля в приземном слое производилась с помощью электростатического флюксметра [5] — измерителя напряженности электрического поля (ИНЭП). Прибор позволяет регистрировать вертикальную компоненту напряженности электрического поля в частотном диапазоне от 0 до 10 Гц с амплитудами от 1 до 5000 В/м. В ГФО «Михнево» ИНЭП расположен на специальной площадке, и обеспечивает непрерывную регистрацию напряженности с августа 2011 года. Для получения погодных данных использовалась метеостанция, установленная там же, а также метеоданные с ближайших метеостанций.

Из-за сильного влияния метеорологических явлений на показания напряженности электрического поля были выделены дни с условиями «хорошей погоды» - при отсутствии осадков, гроз, сильного ветра (ветер не более 4-5 м/с) и облаков, атмосферном давлении, близком к нормальному. Для примера, в 2014 году число дней с такими условиями было 26, а дней, в течение части которых наблюдались условия, близкие к условиям хорошей погоды, в 1,5 — 2 раза больше. Статистика дней с условиями "хорошей погоды" по месяцам за время наблюдений с 2011 по 2015 года представлена на рис. 1.

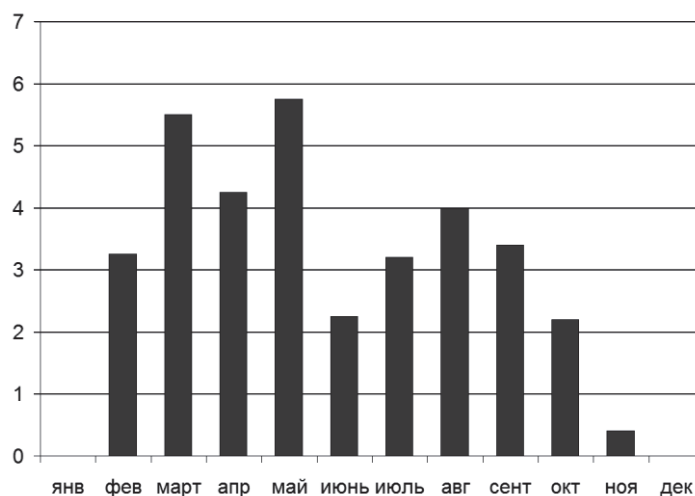


Рис. 1. Статистика дней с условиями «хорошей погоды» по данным наблюдений ГФО «Михнево» за 2011 — 2015 года.

Современная классификация вспышек проводится по интенсивности их излучения в рентгеновских лучах в диапазоне длин волн от 1 до 8 ангстрем, регистрируемом на спутнике GOES. Если поток излучения составляет 10^{-6} - 10^{-5} , вспышке присваивается класс С, если от 10^{-5} до 10^{-4} — класс М, а если 10^{-4} и выше — класс Х. Считается, что вспышки класса С могут вызывать локальные эффекты в полярных областях, класса М — в полярных и возможно средних широтах, а вспышки класса Х могут оказывать глобальное влияние на земные параметры. По данным сайта solarham.net с начала 24-го солнечного цикла (декабрь 2008 года) произошло всего порядка 80 солнечных вспышек класса М6.1 и выше. За время наблюдений в ГФО «Михнево» на Солнце произошла 31 вспышка класса Х1 и выше. Но, к сожалению, эффект вспышек сильно маскируется локальными вариациями.

В результате анализа данных были выделены характерные вариации напряженности электрического поля под действием солнечных рентгеновских вспышек. Вариации

начинаются с началом рентгеновской вспышки, а их длительность близка к длительности вспышки. Амплитуда колебаний составляет примерно 20% величины напряженности электрического поля. Пример таких вариаций, сопровождавших вспышку класса X1.7 13.05.2013 представлен на рисунке 2.

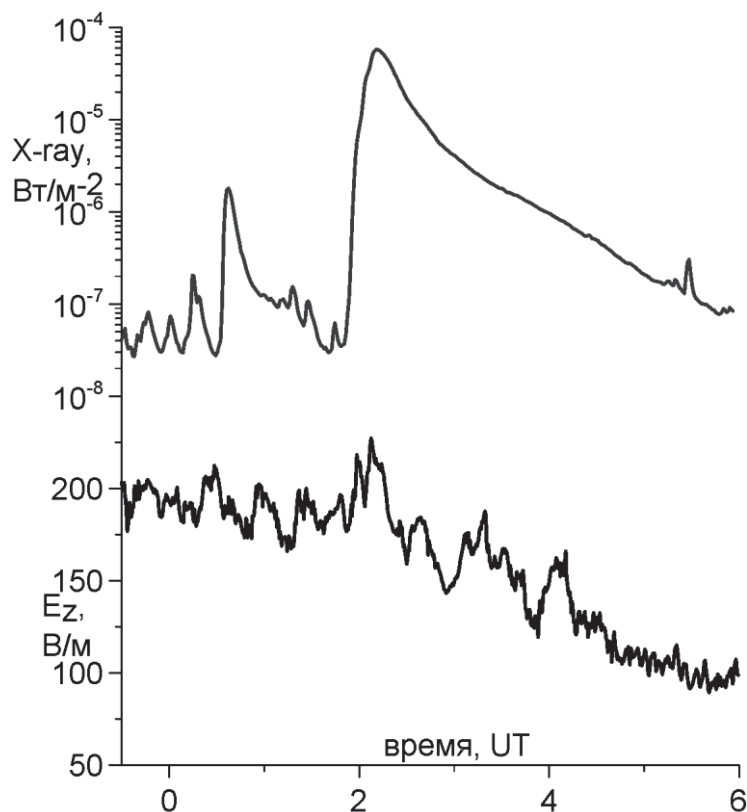


Рис. 2. Вариации электрического поля под действием вспышки класса X1.7, 13.05.2013 (верхняя кривая — рентгеновское излучение Солнца под действием вспышки в диапазоне 1-8 ангстрем, нижняя — напряженность приземного электрического поля).

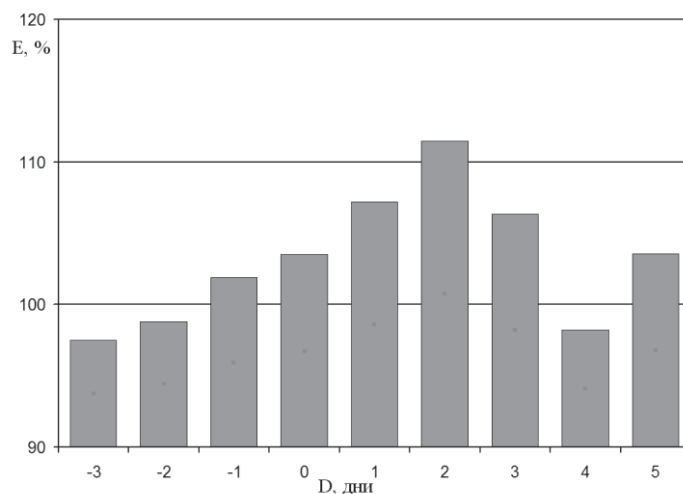


Рис. 3. Эффект вспышек в суточных значениях относительно среднемесячных величин (D — дни относительно дня вспышки — дня 0, E — среднее за сутки значение напряженности электрического поля по сравнению со среднемесячным невозмущенным значением, усредненное по вспышкам).

Другой наблюдаемый эффект заключается в повышении средних величин напряженности в течение нескольких дней после вспышки. На диаграмме (рис. 3), полученной наложением эпох из 15 различных событий, видно, что возрастание начинается

в те же или следующие сутки от солнечной вспышки и продолжается 3-4 суток, пик нарастания наблюдается на 2-3 сутки. При этом эффективность возмущений, вызванных вспышкой, составляет 10-15% от среднемесячных показаний в условиях хорошей погоды. Недостаток данного подхода в исследовании влияния вспышек на атмосферное электрическое поле заключается в сложности выбора реперной точки и сильной разнице в скорости развития вспышек.

Такие возмущения E_z возникают под действием проникающих на высоты ниже 20-30 км жестких компонент спектра солнечных лучей. Проникновение частиц высоких энергий, в особенности протонов, оказывает влияние на поле как в высоких, так и средних широтах [6]. Это подтверждается и усилением вариаций приземного электрического поля во время протонных вспышек. При этом проникая на разные высоты атмосферы, частицы могут вызывать противоположные эффекты. Корпускулярное и электромагнитное излучение Солнца, попадая на D и E слои ионосферы Земли (высоты примерно 80 км), вызывают изменения параметров глобальной электрической цепи, что находит отклик в приземном электрическом поле. Другой эффект, оказывающий большее влияние в средних широтах, заключается в снижении интенсивности галактических космических лучей — так называемом Форбуш-понижении. Чем сильнее глубина этого понижения, тем сильнее амплитуда возмущений электрического поля. Однако, пока не был выявлен единый механизм, связывающий солнечные вспышки с изменениями электрического поля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cobb W.E. Evidence of a Solar influence on the atmospheric electric elements at Mauna Loa observatory // *Monthly Weather Review*. 1967. Vol.95. № 1. P. 905-911.
2. Reiter R. Solar flares and their impact on potential gradient and air-earth current characteristics at high mountain stations // *Pure and Applied Geophysics* 1969. V. 72, P. 259-267.
3. Апсен А.Г. Канониди Х.Д., Чернышева С.П. И др. Магнитосферные эффекты в атмосферном электричестве // М.: Наука. 1988. 150 с.
4. Брагин Ю.А., Коненко А.Ф. И др. О связи напряженности электрического поля в атмосфере с солнечными вспышками и геомагнитными явлениями // *Вопросы исследования нижней ионосферы*. Новосибирск: Наука. 1972. С. 135-139.
5. Соловьёв С.П., Барышев В.И., Вааг Л.Л., Гонтарь М.М., Локтев Д.Н., Полетаев А.С. Аппаратурный комплекс для регистрации низкочастотных электрических и магнитных полей // В сб.: *Нестационарные процессы в верхних и нижних оболочках земли*. М.: ИДГ РАН. 2002. С. 609-621.
6. Шефтель В.М., Чернышев А.К. Эффекты солнечных вспышек в атмосферном электричестве высоких и средних широт // *Геомагнетизм и аэрономия*. 1991. Т. 31. № 3. С. 500-505.
7. Шумилов О.И., Касаткина Е.А., Франк-Каменецкий А.В. Эффекты влияния экстраординарных событий солнечных космических лучей на вариации атмосферного электрического поля в высоких широтах // *Геомагнетизм и аэрономия*. 2015. т. 55. №5. С. 666-674.

УДК 519.63:517.958

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА РАДОНА
В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДАХ

Кризский Владимир Николаевич¹, Нафикова Альбина Ринатовна²

¹*krizsky@rambler.ru*

²*albinabikbaeva@gmail.com*

^{1,2}*Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета, г. Стерлитамак, Россия*

Аннотация. В работе представлены результаты математического моделирования процессов переноса радона в кусочно-постоянных анизотропных слоистых средах с включениями.

RESEARCH OF PROCESSES OF TRANSFER OF RADON IN GEOLOGICAL MEDIA

Vladimir Krizsky¹, Albina Nafikova²

¹*krizsky@rambler.ru*

²*albinabikbaeva@gmail.com*

^{1,2}*Sterlitamak branch of the Bashkir state university, Sterlitamak, Russia*

Summary. In work results of mathematical modeling of processes of transfer of radon in piecewise and constant anisotropic layered media with inclusions are presented.

Моделирование процессов переноса радона в геологических средах, максимально приближенных при их описании к реальным, является сложной задачей, поскольку геологическая среда является неоднородной, слоистой с заметно различающимися физико-геологическими характеристиками [6].

Следует отметить, что до сих пор среди специалистов нет единого мнения о механизмах формирования радоновых полей, о параметрах, характеризующих радоновое поле и подлежащих измерению. Одни считают, что основную информацию о возмущающих объектах и геологических структурах несет концентрация радона в почвенном (подпочвенном) и / или атмосферном воздухе, другие – что только поток радона через дневную поверхность способен дать необходимую и достоверную информацию об источниках радона и глубинных структурах, через которые проходит радон и которые формируют радоновые аномалии [5].

Математическое моделирование процессов распределения радона в грунте и его стока в приземный слой атмосферы связано с решением параболических краевых задач математической физики. Разработка математических моделей, алгоритмов решения и программ расчета процессов распространения радона – актуальная задача, имеющая практическое значение во многих научных направлениях и областях.

Обзор литературы по теме исследования показывает достаточно большое количество работ, посвященных построению и исследованию математических моделей процессов переноса радона. Большинство из них основано только на одномерных диффузионных или диффузионно-конвективных математических моделях в однородных геологических средах. Однако сейчас уже можно встретить ряд публикаций по расчету функции объемной активности радона для трехмерной математической модели, что еще раз подтверждает значимость и актуальность научных исследований в области радоновой тематики.

Так, в работе [1] построена математическая модель трехмерной задачи диффузии-адвекции радона в кусочно-постоянных слоистых средах с включениями, учитывающая анизотропию диффузионных свойств подобластей геологической среды (1):

$$\begin{aligned}
\frac{\partial A_{i,j}(P,t)}{\partial t} &= \operatorname{div}(D_{i,j} \bar{\nabla} A_{i,j}(P,t)) + v_{i,j} \frac{\partial A_{i,j}(P,t)}{\partial z} - \lambda(A_{i,j}(P,t) - A_{i,\infty}), \\
P &= P(x,y,z) \in \Omega_{i,j}, \quad i = \overline{0, N}, \quad j = \overline{0, M_i}; \\
((D_{i,0} \bar{\nabla} A_{i,0}(P,t), \bar{n}) + v_{i,0} A_{i,0}(P,t)) \Big|_{\gamma_{i,0}} &= ((D_{i+1,0} \bar{\nabla} A_{i+1,0}(P,t), \bar{n}) + \\
&+ v_{i+1,0} A_{i+1,0}(P,t)) \Big|_{\gamma_{i,0}}, \quad i = \overline{0, N-1}; \\
A_{i,0}(P,t) \Big|_{\gamma_{i,0}} &= A_{i+1,0}(P,t) \Big|_{\gamma_{i,0}}, \quad i = \overline{0, N-1}; \\
((D_{i,j} \bar{\nabla} A_{i,j}(P,t), \bar{n}) + v_{i,j} A_{i,j}(P,t)) \Big|_{\gamma_{i,j}} &= (D_{i,0} \bar{\nabla} A_{i,0}(P,t), \bar{n}) + v_{i,0} A_{i,0}(P,t) \Big|_{\gamma_{i,j}}, \\
i &= \overline{0, N}, \quad j = \overline{1, M_i}; \\
A_{i,j}(P,t) \Big|_{\gamma_{i,j}} &= A_{i,0}(P,t) \Big|_{\gamma_{i,j}}, \quad i = \overline{0, N}, \quad j = \overline{1, M_i}; \\
\lim_{z \rightarrow \infty} A_{N,0}(P,t) &= A_{N,\infty}, \quad \lim_{z \rightarrow -\infty} A_{0,0}(P,t) = 0; \\
\lim_{P \in \Omega_{i,j}, \sqrt{x^2+y^2} \rightarrow \infty} A_{i,0}(P,t) &= A_i(P,t), \quad i = \overline{0, N}; \quad A_{i,j}(P,0) = 0, \quad i = \overline{0, N}, \quad j = \overline{0, M_i}.
\end{aligned} \tag{1}$$

Здесь $A_{i,j}(P,t)$ – функция объемной активности радона (ОАР) в грунте, $A_{i,j}(P,t) \in C_P^2(\Omega) \cap C_P^1(\gamma_{i,j}) \cap C_t^1(\Omega)$; λ – постоянная распада радона; $A_{i,\infty}$ – ОАР, находящегося в радиоактивном равновесии с радием (^{226}Ra) на заданной глубине в грунте i -го слоя, которая равна $A_{i,\infty} = K_{i,em} A_{i,Ra} \rho_{i,s} (1 - \eta_i)$, где $K_{i,em}$ – коэффициент эманирования радона, $A_{i,Ra}$ – удельная активность ^{226}Ra , $\rho_{i,s}$ – плотность твердых частиц, η_i – пористость грунта, $A_i(P,t)$ – нормальное поле радона, описывающее диффузию-адвекцию радона в слоистой среде в предположении отсутствия включений; $\gamma_{i,0} = \left\{ \gamma_{i,0}(x,y) \Big|_{\gamma_{i,0}} \rightarrow z_i = \text{const при } \sqrt{x^2+y^2} \rightarrow \infty \right\}$ ($i = \overline{0, N}$) – гладкие параметрические заданные границы горизонтально-слоистой среды, разделенной ими на горизонтальные слои $\Omega_{0,0}, \Omega_{1,0}, \dots, \Omega_{N,0}$, заполненные веществом, диффузионные

свойства которых описываются симметричными тензорами $D_{i,0} = \begin{pmatrix} d_{xx}^{i,0} & d_{xy}^{i,0} & d_{xz}^{i,0} \\ d_{xy}^{i,0} & d_{yy}^{i,0} & d_{yz}^{i,0} \\ d_{xz}^{i,0} & d_{yz}^{i,0} & d_{zz}^{i,0} \end{pmatrix}$ и

скоростями адвекции $v_{0,0}, v_{1,0}, v_{2,0}, \dots, v_{N,0}$ соответственно. Каждый слой $\Omega_{i,0}$ содержит M_i локальных включений $\Omega_{i,j}$ ($j = \overline{1, M_i}$) с границами $\gamma_{i,j}$, заполненных веществом, физические свойства которых описываются постоянными симметричными тензорами диффузии

$D_{i,j} = \begin{pmatrix} d_{xx}^{i,j} & d_{xy}^{i,j} & d_{xz}^{i,j} \\ d_{xy}^{i,j} & d_{yy}^{i,j} & d_{yz}^{i,j} \\ d_{xz}^{i,j} & d_{yz}^{i,j} & d_{zz}^{i,j} \end{pmatrix}$ и скоростями адвекции $v_{i,j}$, $i = \overline{0, N}, j = \overline{1, M_i}$. Если область $\Omega_{0,0}$ –

приземный слой атмосферы, то в задаче (1) следует положить $A_{0,\infty} = 0$. При $M_0 > 0$ включения $\Omega_{0,1}, \dots, \Omega_{0,M_0}$ могут описывать жилые и производственные сооружения. Переменная $t \geq 0$ – время.

Описан способ ее решения, основанный на сочетании методов интегральных преобразований Лапласа, интегральных представлений по формуле Остроградского с построением функции Грина в слоистой среде без включений и интегральных уравнений Фредгольма II рода, возникающих по границам раздела сред.

В соответствии с предложенным способом решения задачи средствами компьютерной системы Maple разработаны программы, реализующие численные алгоритмы нахождения функции нормального поля радона, функции Грина в кусочно-однородной горизонтально-слоистой среде с плоскопараллельными границами, обращения интегрального

преобразования Лапласа и функции аномального поля радона, учитывающей влияние включений [4].

В работе [3] представлены результаты сравнительного сопоставления данных вычислительного и натурального экспериментов по исследованию процессов переноса радона в кусочно-однородных горизонтально-слоистых средах, которые показали адекватность и достоверность предложенных модели и метода решения задачи.

С помощью разработанного программного комплекса также проведены вычислительные эксперименты по исследованию процессов диффузии-адвекции радона в кусочно-постоянных анизотропных слоистых средах с включениями и взаимному влиянию параметров математической модели. Выявлено, что учет анизотропии при моделировании процессов переноса радона в геологических средах приводит к существенному изменению поля объемной активности радона и является значимым фактором, необходимым при описании математической модели поля в реальных геологических средах [2].

Предложенные комбинированные методы и алгоритмы являются развитием теории решения краевых задач для уравнений тепломассопереноса в кусочно-постоянных анизотропных средах и позволяют решать практические задачи по исследованию процессов переноса радона в трехмерных кусочно-постоянных анизотропных слоистых средах с анизотропными включениями. В настоящий момент проводятся расчеты плотности потока радона, а также ведутся обсуждения об использовании разработанного алгоритма при решении обратной граничной задачи в вариационных процедурах поиска аппроксимированных сплайнами границ геологической среды как экстремалей регуляризирующего функционала А.Н. Тихонова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кризский В.Н., Нафикова А.Р. Математическое моделирование процессов диффузии-адвекции радона в кусочно-постоянных анизотропных слоистых средах с включениями // Вестник ЮУрГУ. Математическое моделирование и программирование. – 2014. – №2. – С.38-45.
2. Нафикова А.Р., Кризский В.Н. Математическое моделирование процессов переноса радона в кусочно-постоянных анизотропных слоистых средах с включениями. – Стерлитамак: Стерлитамакский филиал БашГУ, 2016. – 87 с.
3. Нафикова А.Р., Кризский В.Н., Козлова И.А., Юрков А.К. Сравнительное сопоставление данных вычислительного и натурального экспериментов по исследованию процессов переноса радона в кусочно-однородных горизонтально-слоистых средах // АНРИ. – 2016. – №4 (87). – С. 67-72.
4. Нафикова А.Р., Кризский В.Н., Султанов Л.З. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2015660698 «Исследование процессов диффузии-адвекции радона в кусочно-анизотропных слоистых средах с включениями», 06.10.2015 г. //Федеральная служба по интеллектуальной собственности (РосПатент).
5. Хайкович И.М. Математическое моделирование процессов миграции радона // Аппаратура и новости радиационных измерений (АНРИ). – 1996/97. – №3(9). – С. 99-107.
6. Яковлева В.С. Диффузионно-адвективный перенос радона в многослойных геологических средах // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т.315, №2. – С. 67-72.

УДК 550.34.098

**УРАЛЬСКИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 4 ЯНВАРЯ, 19 ОКТЯБРЯ 2015 Г. И
СОПУТСТВУЮЩИЕ ИМ ВОЗМУЩЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ПО
ДАНЫМ ОБСЕРВАТОРИИ «АРТИ»**

*Кусонский Олег Александрович^{1,2}, Бородин Павел Борисович³, Бебнев Алексей Сергеевич⁴,
Григорьева Светлана Анатольевна⁵, Русинова Валентина Викторовна⁶*

^{1,2} zavlab@arudaemon.gsras.ru

³ borodin@arudaemon.gsras.ru

⁴ Bebnev-A@arudaemon.gsras.ru

⁵ ion@arudaemon.gsras.ru

⁶ valya@arudaemon.gsras.ru

^{1,3,4,5,6} *Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН, Россия, Екатеринбург*

² *Федеральный исследовательский центр «Единая Геофизическая служба РАН», Россия,
Обнинск*

Аннотация. В работе приведены данные комплексных наблюдений геофизических полей, геодезических характеристик и др. параметров, полученные в геофизической обсерватории «Арти» ИГФ УрО РАН в период подготовки и во время двух тектонических сейсмических событий, зарегистрированных 4 января и 19 октября 2015 г. Для анализа используется феноменалистическая интерпретация данных наблюдений. Показано, что незадолго до землетрясений возрастают флуктуации и наблюдается возмущение геофизических полей и других параметров.

**EARTHQUAKES IN THE URALS JANUARY 4, OCTOBER 19, 2015 AND THE
PERTURBANCES OF GEOPHYSICAL FIELDS ACCORDING TO THE DATA OF THE
"ARTI" OBSERVATORY**

*Kusonsky Oleg Alexandrovich^{1,2}, Borodin Pavel Borisovich³, Bebnev Alexey Sergeevich⁴,
Grigoryeva Svetlana Anatolievna⁵, Rusinova Valentina Viktorovna⁶*

^{1,2} zavlab@arudaemon.gsras.ru

³ borodin@arudaemon.gsras.ru

⁴ Bebnev-A@arudaemon.gsras.ru

⁵ ion@arudaemon.gsras.ru

⁶ valya@arudaemon.gsras.ru

^{1,3,4,5,6} *Federal State Budgetary Institute of Science Geophysics Institute Yu.P. Bulashevich Ural
Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia, Ekaterinburg*

² *Federal State Budgetary Institution of Science Federal Research Center "United Geophysical
Service of RAS", Russia, Obninsk*

Summary. The data of complex observations of geophysical fields, geodetic characteristics and other parameters obtained at the geophysical observatory "Arti" of the IGF UB RAS during preparation and during two tectonic seismic events registered on January 4 and October 18 (19), 2015 are given. Analysis uses a phenomenal interpretation of observational data. It is shown that shortly before earthquakes fluctuations increase and perturbation of geophysical fields and other parameters is observed.

Введение. Уральский регион в сейсмическом отношении считается слабоактивным. В 2015 году 4 января и 19 октября на Урале были зарегистрированы два землетрясения тектонической природы с магнитудой 4.2 и 4.7. Процессы подготовки землетрясений характеризуются высокой чувствительностью к внешним воздействиям особенно на заключительной стадии перед их запуском, поскольку сейсмические процессы посредством

сложных механизмов включены в цепи литосферно-атмосферных, атмосферно-гидросферных и др. связей [1]. Возрастание флуктуаций регистрируемых геофизических полей может служить признаком неустойчивости геолого-геофизической среды, находящейся вблизи порога разрушения и рассматриваться в качестве критерия перехода среды в неустойчивое состояние [2, 3]. В связи с этим анализируются вариации геофизических полей, зарегистрированные в обсерватории «Арти» сопровождающие произошедшие землетрясения.

Исходные данные и методы исследования. Для анализа использован комплекс данных непрерывных мониторинговых наблюдений геофизической обсерватории «Арти», включающий упругие сейсмические колебания, ускорения силы тяжести, компоненты геомагнитного поля, параметры слоев и электронной концентрации ионосферы над Уралом, вариации высокоточных абсолютных координат государственного геодезического пункта «Арти».

Сейсмограммы землетрясения получены с помощью сейсмостанции ARU (Арти) IRIS/IDA. В комплексе с сейсмическими наблюдениями регистрировались вариации ускорения силы тяжести с помощью мониторингового гравиметра gPhoneX. Наблюдения геомагнитного поля по стандарту ИНТЕРМАГНЕТ проводились комплексом магнитометрической аппаратуры. Электромагнитное зондирование ионосферы выполнялось с помощью цифрового ионозонда «Парус» в соответствии с рекомендациями Международного научного радиосоюза URSI. Вычислялись суточные и часовые значения высокоточных координат стационарных геодезических пунктов сети GPS ARTU (сеть NEDA) и ГЛОНАСС Арти.

Результаты исследований и их обсуждение.

Характеристики очагов землетрясений 4 января и 19 октября 2015 г. Землетрясения зарегистрированы сейсмостанцией «Арти» и еще 9 станциями Западно-Уральской региональной сейсмологической сети. Кроме того они зарегистрированы также 23 станциями федеральной и др. сейсмологических сетей (табл. 1).

Таблица 1.

Параметры эпицентров землетрясений 4 января и 18 октября 2015 г.

Дата	Время UTC	Широта, гр.	Долгота, гр.	Глубина, км	Магнитуда
04.01.2015	*13:58:03	64.36	60.44	-	4.2 (ML)
	**13:58:2.9	64.47	60.33	10	4.3 (mb)
18.10.2015	*21:44:55.0	57.12±0.04 57.13	59.05±0.11	12	4.7±0.2 (ML)
	**21:44:51		58.83	5	4.1 (mb)

*Данные Западно-Уральской региональной сети Горного Института ПИЦ РАН (интернет-ресурс: <http://pts.mi-perm.ru/region/>). **Данные Геофизической службы РАН (интернет-ресурс: http://www.ceme.gsras.ru/cgi-bin/ceme/ccd_quake.pl?dat=2015-10-18&l=0).

На поверхности Среднеуральское землетрясение проявилось с максимальной силой в 5 баллов в н.п. Сарга и Сабик Свердловской области [4].

Геологическая приуроченность эпицентра сейсмического события 4 января 2016 г. Эпицентр землетрясения расположен в северной части на западном крыле Магнитогорского мегасинклинория (Тагило-Магнитогорский прогиб) вблизи границы (граница условная) с Войкарским мегасинклинорием и точно совпавший с положением основного глубинного разлома Уральской складчатой системы (УСС), носящего название Платиноносный. С этим разломом связаны интрузии основной магмы, образующие габбро-плагиогранитовый Платиноносный массив. В строении мегасинклинория значительная роль принадлежит дизъюнктивным нарушениям разнообразного характера, размеров, направлений и амплитуд, которые иногда являются границами мегасинклинория и ряда структур [5, 6].

Геологическая приуроченность очага Среднеуральского землетрясения 19 октября 2016 г. Эпицентр землетрясения находится на границе Предуральского предгорного позднепалеозойского прогиба в восточном крыле Уфимско-Соликамской мегавпадины и Западно-Уральской внешней зоны УСС в западном крыле Кизилловско-Дружининской

структуры. Взаимоотношение структур в месте нахождения эпицентра характеризуется развитием в северо-северо-западном направлении (азимут около 330°) по Кизиловско-Дружининской структуре вытянутой узкой зоны крупных и мелких разрывных нарушений типа взбросов и пологих надвигов с горизонтальной амплитудой перемещений от сотен метров до 2500 – 3000 м [5, 7, 8]. Эпицентр землетрясения приурочен к южной оконечности этой зоны разломов. Гипоцентр землетрясения находится на глубине 5 или 12 км в верхних горизонтах древнего кристаллического фундамента в зоне сопряжения его с УСС. Возможной причиной землетрясения могло быть образование новых разрывных нарушений в южной части упомянутой зоны разломов Кизиловско-Дружининской структуры. Южная оконечность этой разломной зоны в результате этих процессов могла переместиться еще более на юг по западной границе Кизиловско-Дружининской структуры до н.п. Волынкина и Шаня.

Сейсмические волны и гравиметрический сигнал от землетрясений. Эпицентр землетрясения 4 января 2015 г. находился на расстоянии около 918 км от сейсмостанции «Арти» (Северный Урал, Ханты-Мансийский АО) вдали от населенных пунктов. Поэтому оно не ощущалось на поверхности населением, как это было с землетрясением 19 октября 2015 г. На сейсмограммах сейсмостанции «Арти» выделены объемные продольные и поперечные волны P, PP, S, SS (рис. 1). Они регистрировались сейсмостанцией соответственно в (час.:мин.:сек.) 14:00:03, 14:00:11, 14:01:36 и 14:01:47 (здесь и далее время указано UTC).

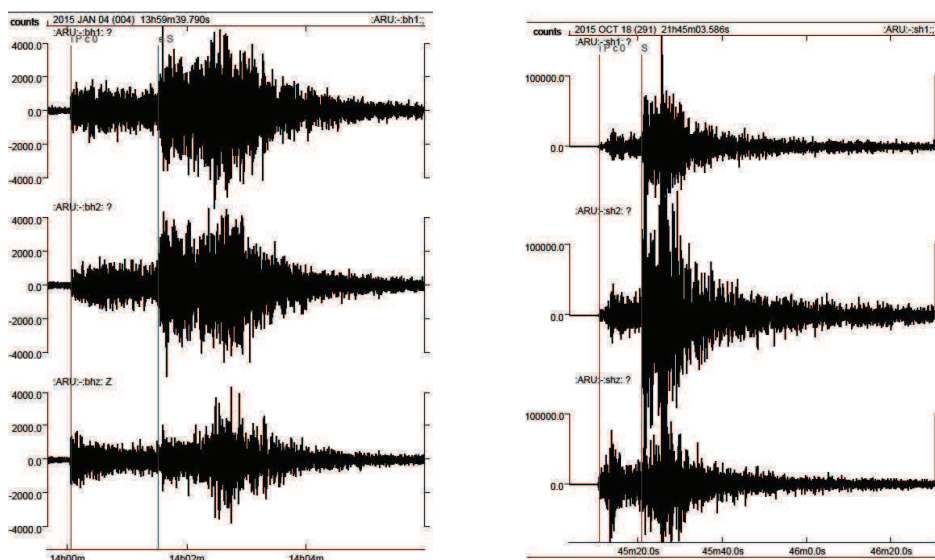


Рис. 1. Сейсмограмма землетрясения 4 января 2015 г., зарегистрированная сейсмостанцией ARU (слева)

Рис. 2. Сейсмограмма землетрясения 19 октября 2017 г., зарегистрированная сейсмостанцией ARU (справа)

Расстояние от сейсмостанции до эпицентра землетрясения 19 октября 2015 г. составляет около 80 км. Время вступления волн на сейсмограмме: P_n – 21:45:10.41; S_n – 21:45:18.39; P_g – 21:45:12.23; S_g – 21:45:20.90; L_g – 21:45:25.45 (рис. 2). По сейсмограммам видно, что амплитуда сейсмической записи (скорость смещения) в точке регистрации от второго землетрясения превышает амплитуду от первого примерно в 25 раз.

Сейсмические волны от землетрясения сопровождалось интенсивными гравиметрическими длиннопериодными волнами. Быстро затухающая волна имеющая период 18 сек., зарегистрирована в виде отрицательного полупериода с амплитудой около 70 мГал ($7 \cdot 10^{-4}$ м·сек $^{-2}$). Её вступление точно совпадает со временем вступления сейсмической волны L_g в 21:45:25. Вторая волна, имеющая период около 4 сек. и амплитуду около 13 мГал ($1.3 \cdot 10^{-4}$ м·сек $^{-2}$) регистрировалась в течение 22 сек. с 21:45:25 до 21:45:47 (рис. 3).

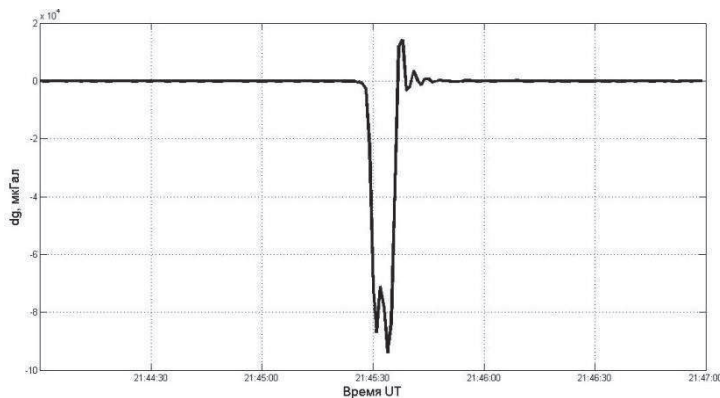


Рис. 3. Запись ускорения силы тяжести, зарегистрированная гравиметрической станцией обсерватории «Арти» во время землетрясения 19 октября 2015 г.

Сейсмическая активность региона. Землетрясения произошли на фоне повышенной общей сейсмичности Урала, наблюдаемой с 2013 г. Наибольшее количество слабых землетрясений в регионе и горно-тектонических событий в Северо-Уральском бокситовом районе (СУБР) и Нижне-Тагильском горно-рудном районе (НТГРР) отмечено в 2013 и 2015-2016 гг. Соответственно 30, 36 и 46 (табл.2) [9]. Все сейсмические события кроме двух землетрясений имеют магнитуду от 1.0 до 4 и регистрируются только с помощью сейсмометров. Наиболее часто происходят события с магнитудой 2-3.5. В 2015 г. отмечено больше сейсмических событий имеющих магнитуду свыше 3.

Таблица 2.

Количество сейсмических событий тектонической и горно-тектонической природы зарегистрированных в Уральском регионе за 2010 – 2016 гг.

Год	СУБР	НТГРР	Свердловская обл.	Пермский край	Коми	Башкирия	Челябинская обл.	Всего за год
2010	17	0	1	1	0	0	0	19
2011	17	2	1	0	2	2	0	24
2012	16	3	0	0	0	0	0	19
2013	26	1	2	0	0	0	1	30
2014	14	1	1	1	2	4	0	23
2015	20	4	4	5	2	1	0	36
2016	25	17	0	2	0	2	0	46

В 2015 г. отмечается повышение сейсмичности Урала не только в отношении количества зарегистрированных событий тектонического и горно-тектонического происхождения, но и их интенсивности, включая ощутимые землетрясения 4 января и второе по силе за весь инструментальный период наблюдения - 19 октября.

Активность геомагнитного поля. Землетрясения произошли в период максимальной активности геомагнитного поля, наблюдаемого в 24 солнечном цикле, и непосредственно сопровождалась магнитными бурями. В 2015 г. отмечено редкое явление – это повторное повышение активности геомагнитного поля в 24-ом солнечном 11-летнем цикле по количеству зарегистрированных бурь и их интенсивности. До этого локальный максимум активности, но всё же меньший чем в 2015 г., наблюдался в 2012-2013 гг. В 2015 г. 27 марта была зарегистрирована одна из наиболее сильных магнитных бурь. Буря сопровождалась Северным сиянием, которое наблюдалось даже в обсерватории «Арти». Всего же в 2015 г. было зарегистрировано 20 бурь от умеренных до очень больших по интенсивности. В то время как в 2014 г. было зафиксировано только 6 умеренных бурь. В 2016 г. началось снижение активности - было зарегистрировано 14 бурь от умеренных до больших.

Землетрясение 4 января 2015 г. произошло на фоне умеренной магнитной бури начавшейся в этот день около 8 час. и продлившейся 2 суток и 14 часов. Землетрясение 19

октября произошло на фоне малой магнитной бури начавшейся в этот же день около 5 час. и продлившейся 16 час.

Вариации параметров ионосферы. По данным многочисленных исследований, поведение ионосферы при подготовке сильных землетрясений и последующие периоды характеризуются закономерными интенсивными вариациями его параметров. Землетрясения, зарегистрированные в регионе 4 января и 19 октября 2015 г. также сопровождались мощными возмущениями ионосферы над Уралом. По сравнению с предыдущими годовыми периодами в 2015 г. ионосфера отличалась повышенной нестабильностью, особенно в области F. Неоднократно наблюдалось так называемое «условие G», которое характеризуется очень малой концентрацией электронов в слое F2. Подробные данные о состоянии ионосферы изложены в материалах Григорьевой С.А., помещенных в этом сборнике.

Выводы. В период подготовки и во время уральских землетрясений 4 января и 19 октября 2015 г. отмечалось усиление флуктуаций геофизических полей. Землетрясения произошли на фоне общего увеличения сейсмической активности региона, наблюдавшейся с 2013 г. Сопровождались гравиметрическими длиннопериодными волнами. Отмечена высокая активность геомагнитного поля, обусловленная максимумом солнечной деятельности 24 цикла 2013-2015 гг. Землетрясения непосредственно сопровождались магнитными бурями. Отмечены сильные возмущения ионосферы. Заметно усиление флуктуаций значений высокоточных координат геодезических пунктов обсерватории «Арти». Всё это свидетельствует о том, что геофизической среде в этот период испытывала всесторонние возмущения, а землетрясения являются их проявлением, но в наиболее сильной форме.

Работа выполнена по плану НИР ИГФ УрО РАН, тема № 394-2014-0001

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Садовский М. А., Писаренко В. Ф. Сейсмический процесс в блоковой среде. М.: Наука, 1991. 96 с.
2. Сидорин А.Я. Квазипериодические флуктуации геофизических полей при переходе среды в неустойчивое состояние // Изучение природы вариаций геофизических полей. М.: ОИФЗ РАН, 1994. С. 79 – 89.
3. Любишин А.А. Геофизический мониторинг: шумы, сигналы, предвестники // Проблемы геофизики XXI века: Сборник научных трудов в двух книгах. Книга 2 / Отв. редактор А.В. Николаев. М.: Наука, 2003. С. 70 – 94.
4. Гусева Н.С. Анализ макросейсмических эффектов землетрясения 18 октября 2015 г. на Среднем Урале // XVI Уральская молодежная школа по геофизике: сб. научн. материалов. Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2016. С. 74 – 77.
5. Геологическая карта Урала масштаба 1:500000. Объяснительная записка к геологической карте Урала масштаба 1:500000 / Соболев И. Д., Автонеев С. В., Автонеева И. А. и др. Свердловск: ПГО «Уралгеология» Мингео РСФСР, 1985. 103 с.
6. Геология и полезные ископаемые России. Т.1. Кн.2. Урал / Ред. О.А. Кондиан. Соредакторы: А.А. Беляев, А.Н. Мельгунов, Н.А. Румянцева. СПб.: ВСЕГЕИ, 2011. 584 с.
7. Коротеев В.А., Алешин Б.М., Золоев К.К. Состояние геолого-геофизической изученности и минерагении Урала // Литосфера, 2012. №1. с. 4 – 12.
8. Тектоническая карта Урала масштаба 1:1000000. Объяснительная записка // Соболев И. Д., Автонеев С.В., Белковская Р.П. и др. / Свердловск: Уральское производственное геологическое объединение, 1986. 168 с.
9. (интернет-ресурс: <http://pts.mi-perm.ru/region/>)

УДК550.389.5

**ВЕКОВЫЕ ВАРИАЦИИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА УРАЛЕ ПО
НАБЛЮДЕНИЯМ В ОБСЕРВАТОРИЯХ «ЕКАТЕРИНБУРГ», «ВЫСОКАЯ
ДУБРАВА» И «АРТИ»,**

Кусонский Олег Александрович¹, Бородин Павел Борисович², Бебнев Алексей Сергеевич³

¹zavlab@arudaemon.gsras.ru

²borodin@arudaemon.gsras.ru

³Bebnev-A@arudaemon.gsras.ru

^{1,2,3} *Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН, Россия, Екатеринбург*

Аннотация. Впервые полученные в уральских обсерваториях «Екатеринбург», «Высокая Дубрава» и «Арти» вековые вариации компонент геомагнитного поля анализируются путем сопоставления с данными, рассчитанными по модели IGRF12. Выделена аномальная составляющая вариаций, обусловленная региональными и локальными источниками поля верхней части земной коры. Выявлены изменения её во времени, которые могут быть обусловлены современной геологической деятельностью недр.

**TEMPORARY VARIATIONS OF THE GEOMAGNETIC FIELD IN THE URALS ON
OBSERVATIONS IN OBSERVATORY "EKATERINBURG", "HIGH DUBRAVAS" AND
"ARTI"**

Kusonsky Oleg Aleksandrovich¹, Borodin Pavel Borisovich², Bebnev Alexey Sergeevich³

¹zavlab@arudaemon.gsras.ru

²borodin@arudaemon.gsras.ru

³Bebnev-A@arudaemon.gsras.ru

^{1,2,3} *The Federal State Budgetary Institute of Science GI Geophysics Institute Yu.P. Bulashevich Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia, Ekaterinburg*

Summary. The secular variations of the components of the geomagnetic field obtained in the Ural "Ekaterinburg", "High Dubrava" and "Arti" samples are analyzed by comparison with the data calculated using the IGRF12 model. An anomalous component of the variations due to regional and local sources of the field of the upper part of the earth's crust is singled out. The changes in it in time, which can be caused by modern geological activity of the Earth's interior, are revealed.

Введение. Вековые вариации геомагнитного поля, которые могут быть получены только по мониторинговым обсерваторским наблюдениям и представляющие собой изменения средних годовых значений элементов земного магнетизма во времени, регистрируются на Урале с 1836 г. последовательно в обсерватории «Екатеринбург», «Высокая Дубрава» и «Арти». За этот период накоплены достоверные данные, позволяющие проанализировать изменения среднегодовых значений компонент геомагнитного поля в сравнении с международной моделью IGRF12, учитывая, что эти данные уральских обсерваторий являлись составной количественной частью в расчете модели. Такое сопоставление позволяет установить, насколько в реальности модель отображает вековые изменения геомагнитного поля на Урале в месте расположения обсерваторий, обоснованно выделить аномальную составляющую геомагнитного поля, обусловленную особенностями геологического строения района и проследить её изменения во времени. Вариации аномальной составляющей могут быть связаны с современной геологической активностью недр региона.

Исходные данные и методы исследования. Для анализа использованы данные среднегодовых значений компонент геомагнитного поля, полученные в уральских обсерваториях «Екатеринбург» (с 1837 по 1932 г.), «Высокая Дубрава» (с 1932 по 1973 г.) и

«Арти» (с 1969 г. по н.в.). Методика наблюдения геомагнитного поля в условиях обсерваторий и получение среднегодовых значений представляет собой многоаспектный и сложный процесс, для обеспечения которого необходимо соблюдение многих условий в течение всего периода проведения работ. Эти условия включают наличие базы физических установок для производства наблюдений, специальных немагнитных павильонов для их размещения, отработанной индивидуально для обсерватории методики измерений и метрологической основы для неё, методики обработки результатов, методики оценки возмущенности поля и других компонентов. За весь период при проведении наблюдений на Урале применялось большое количество физических установок разных типов. В начальный период с 1836 по 1887 г. в Екатеринбургской обсерватории точность наблюдений была не велика, однако достаточной, чтобы проследить вековые изменения геомагнитного поля. Так в горизонтальной компоненте погрешность составляла от 100 нТл в начале периода наблюдений до 5-15 нТл в зависимости от физической установки в конце, а погрешность в наклонении – в пределах 1-2'. В последующие годы, начиная с 1887 г. при замене физических установок обсерватории на более совершенные образцы погрешности наблюдений значительно снизились – в горизонтальной компоненте по вариациям они составили 0.5 нТл, по базису 1-9 нТл, в наклонении средняя величина составила 0.6' (обсерватории «Екатеринбург» и «Высокая Дубрава» до 1973 г.). В обсерватории «Арти» погрешности абсолютных наблюдений удовлетворяют требованиям к точности определения базисных значений компонент. Особенно точность повысилась с внедрением современных магнитометров. Так среднеквадратические отклонения единичных наблюдений компонент поля с 2003 г. составили, например, по модулю $\pm(0.05-0.16)$, по вертикальной компоненте $\pm(0.074-0.176)$ нТл. Оцениваемые погрешности абсолютных наблюдений компонент геомагнитного поля для обсерваторий «Высокая Дубрава» и «Арти» составляют не более 5 нТл. Во все периоды наблюдений точности и достоверности магнитометрических данных всегда уделялось особое внимание. Все данные тщательно анализировались с этой точки зрения. Такому анализу посвящены многие рукописные обобщающие работы Абельса Р.Г., хранящиеся в обсерватории «Арти» (см. в частности: Абельс Р.Г. Работы Свердловской магнитной обсерватории по магнитной съемке и исследованию вековых вариаций за время с 1887 по 1939 г.//Архив обсерватории «Арти»), работы [1, 2, 3, 4, 5]. Таким образом, абсолютные среднегодовые значения компонент геомагнитного поля, полученные в уральских обсерваториях «Екатеринбург», «Высокая Дубрава» и «Арти» безусловно считаются достоверными, хотя имеют разную погрешность.

Для построения модельной вековой вариации, с которой проводится сравнение данных полученных за периоды работы уральских обсерваторий, по координатам расположения их магнитных станций произведены расчеты компонент поля по модели IGRF12 для середины каждого годового периода [6]. Модель 12-ой версии Международного Геомагнитного Справочного Поля (IGRF) была принята в декабре 2014 г. Рабочей группой V-MOD, назначенной Международной ассоциацией геомагнетизма и аэронавтики (IAGA). Она обновляет предыдущее поколение IGRF с окончательной основной полевой моделью для эпохи 2010.0 г., основной полевой моделью для эпохи 2015.0 г, и линейной годовой прогнозной моделью вариации для 2015.0-2020.0 гг. [7]. В расчете модели использованы данные среднегодовых значений поля, полученные в уральских обсерваториях. Модель описывает главное (или нормальное) магнитное поле Земли \mathbf{H} , которое является суммой дипольного поля \mathbf{H}_0 (создаваемое однородно намагниченным источником магнитогидродинамической природы) и недипольного или континентального \mathbf{H}_m (вызываемого внутренними источниками, связанными с неоднородностью глубоких слоев Земли): $\mathbf{H}_0 + \mathbf{H}_m = \mathbf{H}$. В обсерваториях наблюдается поле $\mathbf{H}_T = \mathbf{H}_0 + \mathbf{H}_m + \mathbf{H}_a + \mathbf{H}_e + \delta\mathbf{H}$, где \mathbf{H}_a - аномальное магнитное поле, связанное с неоднородной намагниченностью горных пород, слагающих земную кору; \mathbf{H}_e – поле, вызываемые внешними причинами; $\delta\mathbf{H}$ - поля вариаций, обусловленные магнитосферно-ионосферными токовыми системами. \mathbf{H}_e

пренебрежимо мало, и если исключить поле вариаций δH , то при вычитании из наблюдаемого поля поле модели получим H_a .

Результаты исследования и их обсуждение. По среднегодовым значениями компонент геомагнитного поля построены графики вековых вариаций по обсерваториям и сопоставлены с модельными их значениями. На рис. 1 приводятся такие данные по компонентам F, H, Z, D. Морфология наблюдаемых и модельных кривых идентична. Однако их значения различаются на некоторую величину ΔF , ΔH , ΔZ , ΔD соответственно, которая является аномальной составляющей в наблюдаемых данных. Где ΔF приблизительно соответствует величинам на картах аномального магнитного поля для района размещения обсерваторий. Для обсерватории «Арти» эта величина больше, чем для других обсерваторий. Она обусловлена Манчажской магнитной аномалией, в пределах которой обсерватория расположена [8]. Для разных обсерваторий аномальная составляющая в компонентах может иметь как положительный, так и отрицательный знак, в зависимости от геологических условий районов, испытывает значительные вариации во времени (рис. 2).

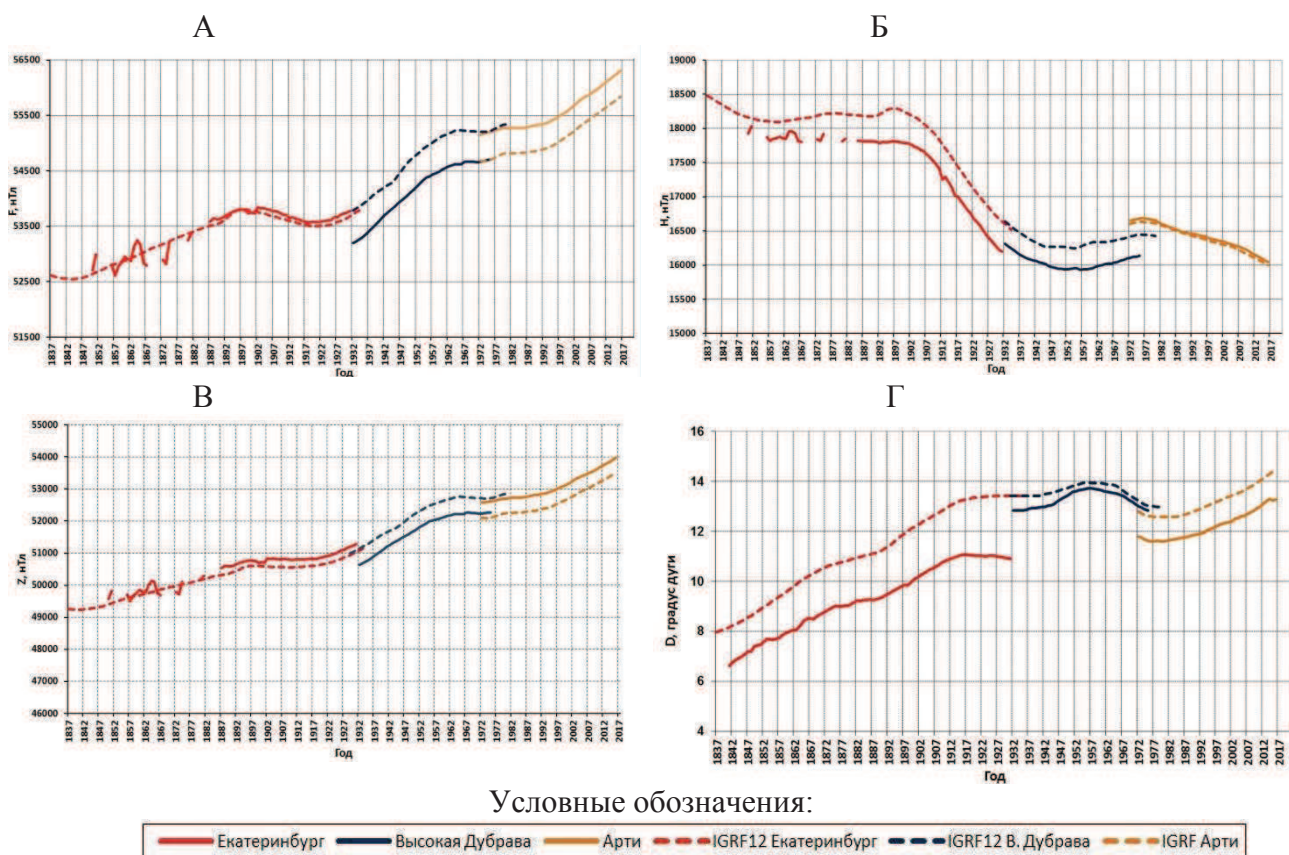


Рис. 1. Вековые вариации компонент геомагнитного поля, полученные в обсерваториях «Екатеринбург», «Высокая Дубрава» и «Арти»: А – модуль вектора индукции F; Б – горизонтальная компонента H; В – вертикальная компонента Z; Г – склонение D. Сплошная кривая – наблюдаемые вариации, пунктирная – модельная, рассчитанная по IGRF12

Для примера приводятся вариации ΔF для уральских обсерваторий (рис. 2). Так средняя величина аномальной составляющей для обсерватории «Екатеринбург» составляла около 80 нТл, «Высокая Дубрава» - минус 560 нТл, «Арти» - 460 нТл. Максимальная амплитуда вариаций составляет для обсерватории «Екатеринбург» 180 нТл в период 1887-1900 гг. (с 1887 г. – получены наиболее точные непрерывные данные). Кроме того, значения аномальной составляющей меняют свой знак с положительного на отрицательный, и затем вновь возвращаются в положительную область. Обсерватория «Высокая Дубрава» - 126 нТл в период 1935-1950 гг. и «Арти» - 62 нТл в период 1972-1980 гг. Вариации могут быть

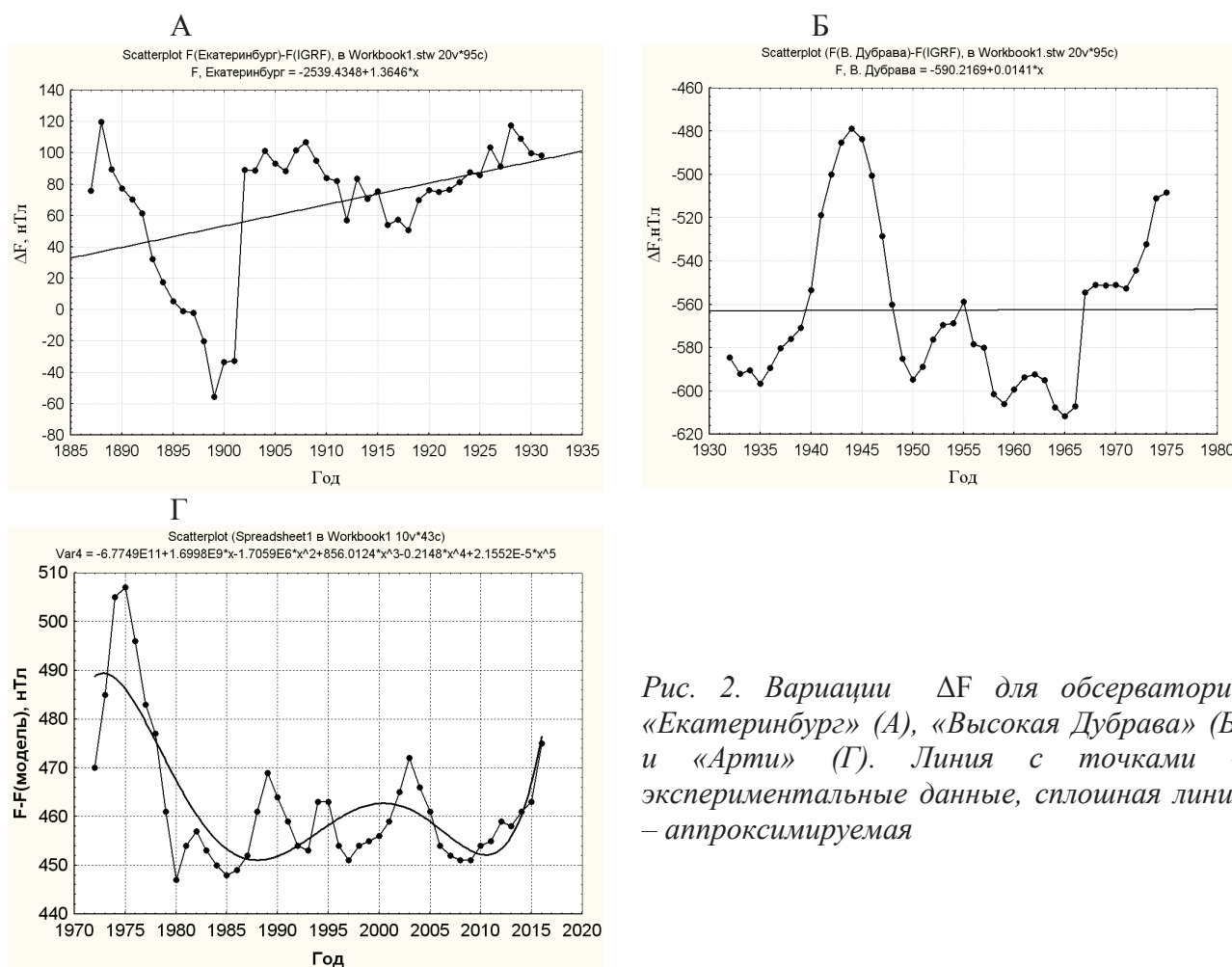


Рис. 2. Вариации ΔF для обсерваторий «Екатеринбург» (А), «Высокая Дубрава» (Б) и «Арти» (Г). Линия с точками – экспериментальные данные, сплошная линия – аппроксимируемая

обусловлены влиянием глубинных геодинамических процессов, теплового режима в земной коре на намагниченность источников регионального аномального поля. Например, в период с 1975 по 1980 г. аномальная составляющая поля, наблюдаемого в «Арти» уменьшилась на 60 нТл, что можно предположительно связать с повышением температуры пород источника аномального поля и снижением его намагниченности. Это может отражаться на величине аномальной составляющей, регистрируемой на дневной поверхности во время съемок. Таким образом, на высокоточных картах аномального магнитного поля, полученным в разное время могут наблюдаться расхождения в амплитудах на десятки нТл и морфологии.

Выводы. Вековые вариации геомагнитного поля, регистрируемые в обсерваториях, включают не только происходящие изменения главного или нормального магнитного поля Земли, но и регионального аномального поля. Последние могут достигать сотен нТл в течение нескольких лет. При составлении сводных карт аномального магнитного поля для геологических провинций, характеризующих особенности их геологического строения по данным высокоточных магнитных съемок разных лет, необходимо учитывать изменения в региональных аномалиях, которые могли произойти за это время. По характеру вековых вариаций компонент аномальной составляющей поля, полученным в обсерваториях можно, видимо, предположительно судить о наличии периодов с разной активностью геологических процессов в недрах региона.

Работа выполнена по плану НИР ИГФ УрО РАН, тема № 394-2014-0001

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абельс Г.Ф. Магнитные наблюдения в Свердловске (Екатеринбурге). Свердловская магнитная и метеорологическая обсерватория 1836 - 1936. Юбилейный сборник. Свердловск: Свердловское Управление Гидрометслужбы, 1936. С. 97-136.
2. Абельс Р.Г. Магнитные наблюдения в Свердловске и в Высокой Дубраве. Свердловская магнитная и метеорологическая обсерватория 1836 - 1936. Юбилейный сборник. Свердловск: Свердловское Управление Гидрометслужбы, 1936. С. 137-148
3. Мюллер П. К. Наблюдения над горизонтальным напряжением земного магнетизма в Екатеринбургской обсерватории за 1841 – 1889 годы. Приложение к LXVII тому Записок Импер. Академии Наук, № 2. Санкт-Петербург, 1891. 152 с.
4. Каталог среднегодовых значений элементов геомагнитного поля мировой сети магнитных обсерваторий // Головков В.П., Коломийцева Г.И., Конященко Л.П., Семенова Г.М./ Выпуск XVI, М.: Институт земного магнетизма и распространения радиоволн АН СССР, 1983. 342 с.
5. Кусонский О. А. Геофизические обсерваторские исследования на Урале. Екатеринбург: ИСО УрО РАН, 2012. 287 с.
6. Интернет-ресурс: <https://ngdc.noaa.gov/geomag/magfield.shtml>
7. Интернет-ресурс: <http://earth-planets-space.springeropen.com/articles/10.1186/s40623-015-0228-9>
8. Бебнев А. С. Динамика интенсивности Манчажской магнитной аномалии в районе обсерватории «Арти» в период 1980 – 2005 г.г. // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. Четвертые научные чтения памяти Ю. П. Булашевича, 2 – 6 июля 2007 г. Екатеринбург: Институт геофизики УрО РАН, 2007. С. 156 – 158.

УДК 550.834.3(571.1)

ОБ УЧЕТЕ "СФЕРИЧНОСТИ" ЗЕМЛИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ТРЕХМЕРНЫХ ПЛОТНОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ РАЗЛИЧНОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ

*Ладовский Игорь Викторович¹, Бызов Денис Дмитриевич²,
Черноскотов Александр Игоревич³*

²*e-mail: ivanov389@gmail.com*

^{1,2,3}*Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН, Екатеринбург, Россия*

³*Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург, Россия*

Аннотация. Разработана программная реализация алгоритма решения прямой задачи гравиметрии для моделей «плоской» и «сфероидальной» Земли. Вычислены гравитационные поля нескольких объемных тел в геоцентрической сферической системе координат и в прямоугольной системе декартовых координат. Выполнены оценки погрешности вычисления модельного гравитационного поля за кривизну земной поверхности для «большой» (5°) и «малой» (0,5°) зоны картографической проекции Гаусса-Крюгера.

ON THE ACCOUNTING FOR THE EARTH'S "SPHERICITY" IN THE THREE-DIMENSIONAL DENSITY MODELING OF DIFFERENT SPAN

Igor Ladovskiy¹, Denis Byzov², Alexander Chernoskutov³

²*e-mail: ivanov389@gmail.com*

^{1,2,3}*Institute of Geophysics, Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia*

³*Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia*

Summary. A software implementation of the algorithm for solving direct gravimetric problem for "flat" and "spherical" Earth is developed. The gravitational fields of several 3D bodies in a geocentric spherical coordinate system and in a rectangular system of Cartesian coordinates are calculated. Computational error of the model gravitational field due to the Earth's surface curvature for the "large" (5°) and "small" (0,5°) Gauss-Krüger cartographic projection zones is estimated.

При решении задач трехмерного плотностного моделирования на «плоской» Земле в качестве аппроксимирующих элементов удобно использовать модели вертикальных призм с произвольным основанием [5]. При построении моделей крупных геологических объектов или достаточно протяженных структур, когда необходимо учитывать влияние сферичности Земли, в качестве элементов аппроксимации следует применять модели сферических параллелепипедов (или тессероидов) [6, 9, 10, 11].

Наблюдаемое гравитационное поле Δg редуцируется на поверхность земного эллипсоида. В картографической проекции Гаусса-Крюгера оно отображается на горизонтальную плоскость. В той же проекции должны быть преобразованы и геометрические параметры аномалиеобразующих объектов для корректного решения прямой задачи гравиметрии. Деформирование сфероидальных объектов при отображении поверхности эллипсоида на плоскость в меньшей степени влияет на величину расчетных аномалий в эпицентрах тел, но сказывается на латеральных градиентах и степени затухания аномального поля. Погрешность вычисления гравитационного поля на криволинейной поверхности Земли (сфере или эллипсоиде) сравнительно с плоскостью зависит от пространственных размеров (объема) области заполнения аномальных масс. При тщательно выверенном соотношении координат на сфере и плоскости, поправка за сферичность формируется только за счет различия между компонентами поля g_z и g_R . И, как показывают вычисления, для сравнительно небольших по размерам площадей эта поправка не играет заметной роли.

В сферической системе координат $\Sigma r, \varphi, \lambda$ тессероид определяется отрезками дуг больших кругов вдоль меридианов и отрезками дуг малых кругов вдоль параллелей. Глубина тессероида (мощность) равна разности радиусов $r_2 - r_1$ ограничивающих его концентрических сфер и отсчитывается по направлению внутренней нормали (рис. 1а). В системе $\Sigma x, y, z$ декартовых координат соответствующая прямоугольная призма образована боковыми плоскими гранями вдоль оси «у» (проекциями кругов меридианов) и фронтальными криволинейными гранями вдоль оси «х» (проекцией широтных дуговых сегментов). Высота призмы $z_2 - z_1$ отсчитывается по вертикали в направлении оси «z» и равна мощности тессероида (рис. 1б).

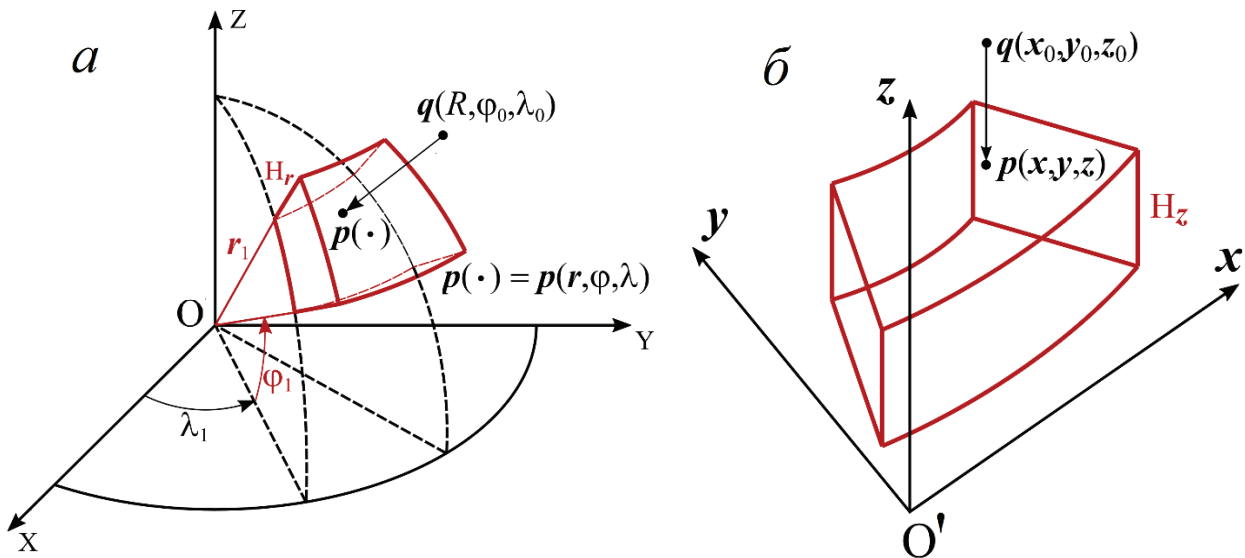


Рис. 1. Геометрия тессероида и соответствующей ему вертикальной призмы:

а) в сферической геоцентрической системе координат $\Sigma r\varphi\lambda$; б) в системе прямоугольных координат Σxyz картографической проекции Гаусса-Крюгера. Точка p – переменная точка интегрирования внутри масс; точка q – точка наблюдения (вычисления) поля на поверхности Земли.

Пусть D – область, соответствующая какому-либо элементу аппроксимации в сферической (рис. 1а) или декартовой системе координат (рис. 1б). Объем вертикальной призмы в координатах $\Sigma x, y, z$ равен произведению площади ее криволинейного основания $S(x, y)$ на высоту $H_z = z_2 - z_1$: $\tau_z = S(x, y) \times H_z$; объем сфероидального параллелепипеда в координатах $\Sigma r, \varphi, \lambda$ также можно записать в виде «символического произведения (интеграла) переменной площади основания $S(\varphi, \lambda)$ на высоту $H_R = r_2 - r_1$: $\tau_R = S(\varphi, \lambda) \times H_R$.

Запишем в виде повторных интегралов по области D выражения для нормальной составляющей гравитационного поля на плоскости и на поверхности сферы в системе поверхностных прямоугольных и сферических координат:

$$g_z(x_0, y_0, 0) = \gamma \sigma \int_{z_1}^{z_2} \int_{S(x,y)} dx dy \frac{z - z_0 dz}{x - x_0^2 + y - y_0^2 + z - z_0^2} \quad (1)$$

$$g_R(R, \varphi_0, \lambda_0) = \gamma \sigma \int_{r_1}^{r_2} \int_{S(\varphi,\lambda)} \cos \varphi d\varphi d\lambda \frac{r \cos \omega - R r^2 dr}{r^2 + R^2 - 2rR \cos \omega} \quad (2)$$

$$\cos \omega = \sin \varphi \sin \varphi_0 + \cos \varphi \cos \varphi_0 \cos \lambda - \lambda_0$$

В формулах (1) и (2) интегралы по z и r берутся аналитически [7, 8, 9], так что первообразные можно записать в функции глубины вертикальной призмы $H_z = z_2 - z_1$ или мощности тессероида $H_R = r_2 - r_1$. Пусть $F(x, y, H_z)$ и $F(\varphi, \lambda, H_R)$ – первообразные

однократного интегрирования по глубине, тогда решения задачи (1) и (2) унифицируется единой формулой вычислению поверхностного интеграла:

$$g_N = \gamma \sigma \int_{S_\Omega} F s dS_\Omega, N = R, z, \quad (3)$$

где S_Ω – площадь криволинейного основания вертикальной призмы или угловой элемент телесного угла видимости сферической поверхности тессероида из точки q .

Для вычисления поверхностного интеграла (3) был применен адаптивный кубатурный алгоритм Гаусса-Лежандра на основе пятиточечного шаблона аппроксимации подынтегральной функции $F s$. Алгебраический порядок точности метода равен девяти.

Мы рассмотрели и сравнили гравитационные эффекты для моделей «малого» и «большого» сферических параллелепипедов, заданных в градусной мере на поверхности сферы и имеющих разную мощность по глубине. Эти модели специально сориентированы на демонстрацию искажения формы градусной трапеции на сфере и ее изображении на плоскости при прямом преобразовании Гаусса-Крюгера $x, y = GK \varphi, \lambda$. Искажения форм пренебрежимо малы для небольших площадей на малых или средних широтах, но значимы в приполярных областях, даже в пределах одной шестиградусной зоны картографической проекции.

Пример 1. Вычисление нормальной составляющей поля g_R на поверхности Земли для «малого» сферического параллелепипеда. Цитата [1]: «...вычисление V_R для объекта, ограниченного координатами $50^\circ \leq \varphi \leq 50.5^\circ$, $40^\circ \leq \lambda \leq 40.2^\circ$ и глубинами оснований 5 км и 15 км, обладающего избыточной плотностью 0.2 г/см^3 , на сферической Земле в 14641 точке квадратной сети размером $0.02^\circ \times 0.02^\circ$ (в линейной мере $\sim 1.4 \text{ км} \times 2.2 \text{ км}$)...».

Пример 2. [7] Вычисление нормальной составляющей поля g_R на поверхности Земли для «большого» сферического параллелепипеда $\varphi \in 75^\circ; 80^\circ$ и $\lambda \in 87.5^\circ; 92.5^\circ$, т.е. с углом раствора $5^\circ \times 5^\circ$ по широте и долготе. Мощность параллелепипеда взята 70 км, что соответствует мощности верхней литосферы Уральского региона [3]. Верхняя кромка выбрана произвольно, на глубине 10 км.

Результаты вычисления для обеих однотипных примеров мы соединили в общий иллюстративный макет с изображением геометрии полей в изолиниях. На рис. 2 в первом и втором ряду показаны поля g_R и g_z от сферических параллелепипедов и эквивалентных им вертикальных призм, рассчитанных на сферической и плоской Земле.

Следует отметить, что относительное искажение площадей в пределах одной шестиградусной зоны не более 0,2%. Это означает, что при отображении дефект объема масс тессероидов будет весьма незначительным, поскольку отметки нормальных высот (мощность элементов) остаются прежними. Иногда этот дефект компенсируют изменением объемной плотности масс [10] но подобная корректировка является, на наш взгляд, совершенно излишней и привносит дополнительную неопределенность в схему интерпретации гравитационных аномалий.

Таким образом, изменение амплитуд и геометрии вычисленных полей g_R и g_z обусловлено только различием в характере затухания поля во внешности тел в сферической и прямоугольной геометрии. Прежде всего, это проявляется в небольшой (сравнительно с амплитудными значениями полей) величине абсолютной поправки за сферичность, т. е. в разнице $s - f$, или в относительной погрешности, выраженной в процентах (по отношению к полю на сфере).

Особо подчеркнем, что при существенно разных амплитудных значениях полей для малого и большого сферического параллелепипеда, относительная погрешность над центром масс оценивается не более, чем в 0.1%, при максимумах полей 32.2 мГал над центром «малого» тессероида (пример 1) и 1841.4 мГал – над центром «большого» (пример 2). Среднеквадратичная погрешность, которая характеризует все точки модельного планшета, включая точки масс и точки пустого пространства составила 0,26 % и 0,9%, соответственно.

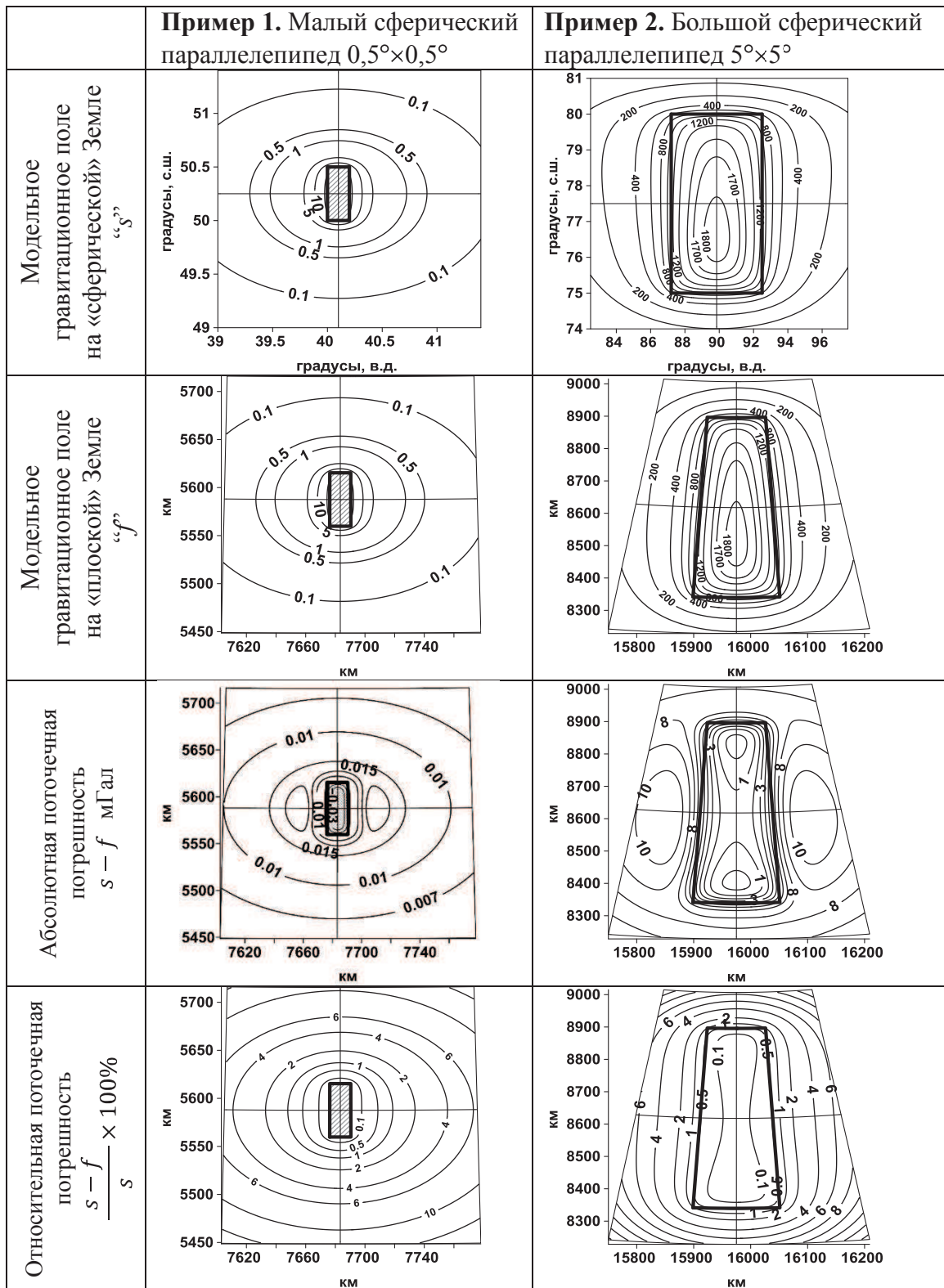


Рис.2 Площадные аномалии от сферических параллелепипедов для сфероидальной «s» и плоской «f» геометрии (см. 1 и 2 ряды рисунков таблицы). Поточечные разности (поправки за сферичность земной поверхности) в абсолютных единицах (мГал) и в относительных (%) (см. 3 и 4 ряды рисунков таблицы).

Значения полей в эпицентрах тессероидов, вычисленных на сфере, и полей в эпицентрах их образов (призм), вычисленных на плоскости, коррелируют с полной массой тел. Это дает возможность сопоставить наши результаты с результатами плотностного

моделирования для крупного сфероидального блока, мощностью 300км и плотностью $\sigma=1\text{г/см}^3$ [7]. Если отвлечься от абсолютных значений аномального поля, создаваемого большой массой, то эпицентральные относительные погрешности оказываются вполне сопоставимы. Так, например, относительная погрешность над центром массивного сфероида составляет 0.3%, что даже меньше наших оценок для 2-го модельного примера.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-05-00916 А.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долгаль А.С., Симанов А.А., Хохлова В.В. Решение геокартировочных и прогнозно-поисковых геологических задач методом гравirazведки с учетом сферичности Земли // Георесурсы. 2015. Т. 2. № 4 (63), С. 56-61.
2. Мартышко П.С., Ладовский И.В., Бызов Д.Д. О решении прямой задачи гравиметрии в рамках конечно-элементного подхода // Уральский геофизический вестник. 2015. № 1(25), С. 42–45.
3. Мартышко П.С., Дружинин В.С., Начапкин Н.И., Осипов В.Ю., Фёдорова Н.В., Ладовский И.В., Колмогорова В.В., Цидаев А.Г. Методика и результаты создания объемной геолого-геофизической модели верхней части литосферы северного и среднего сегментов Уральского региона // Динамика физических полей Земли. М.: ИФЗ РАН, 2011, С. 9–30.
4. Мартышко П.С., Ладовский И.В., Фёдорова Н.В., Бызов Д.Д., Цидаев А.Г. Теория и методы комплексной интерпретации геофизических данных, г. Екатеринбург, 2016, 94 С.
5. Пятаков Ю.В., Исаев В.Н. Методы решения прямых задач гравиметрии // Известия Томского политехнического университета. № 1, т. 320, 2012, С. 105-110.
6. Старостенко В.И., Манукян А.Г. Решение прямой задачи гравиметрии на шарообразной Земле // Физика Земли. 1983. № 12, С. 34-50.
7. Старостенко В.И., Манукян А.Г., Заворотько А.Н. Методика решения прямых задач гравиметрии и магнитометрии на шарообразных планетах // Киев, Наукова Думка, 1986, 112 С.
8. Шванк О.А., Люстих Е.Н. Интерпретация гравитационных наблюдений. Теория и практика решения прямой и обратной задачи гравиметрической разведки. // Москва – Ленинград, ГНТИ нефтяной и горно-топливной литературы, 1947, 400 С.
9. Heck B., Seitz K. A comparison of the tesseroid, prism and point-mass approaches for mass reductions in gravity field modelling // Journal of Geodesy. 2007. №81, pp. 121-136, DOI 10.1007/s00190-006-0094-0.
10. Uieda L., Barbosa V., Braitenberg C. Tesseroids: Forward-modeling gravitational fields in spherical coordinates // Geophysics. 2015. vol. 81, № 5, pp. 41–48.
11. Wild-Pfeiffer F., Augustin W. und Heck B. Optimierung der Rechenzeit bei der Berechnung der 2. Ableitungen des Gravitationspotentials von Massenelementen // Zeitschrift für Geodäsie. 2007. №6 (132), pp. 377-384.

УДК 550.380

ОБ АНОМАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В СВЯЗИ С АКТИВИЗАЦИЕЙ СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БИШКЕКСКОГО ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА

*Лазарева Екатерина Алексеевна, Мухамадеева Винера Аскарровна
lazareva@gdirc.ru, vinera@gdirc.ru*

Научная станция Российской академии наук в г. Бишкеке, г. Бишкек, Киргизия

Аннотация. В статье дается краткий обзор сейсмической обстановки в восточной части Бишкекского геодинамического полигона (БГП) в первом полугодии 2017 года; анализируются временные ряды разности модуля полного вектора магнитного поля для стационарных и рядовых пунктов геомагнитного мониторинга; на отдельных примерах рассматривается связь вариаций магнитного поля с сейсмическими событиями.

ON THE ANOMALOUS VARIATIONS OF THE MAGNETIC FIELD IN CONNECTION WITH THE ACTIVATION OF SEISMIC PROCESSES IN THE EASTERN PART OF THE BISHKEK GEODYNAMIC PROVING GROUND

*E.A. Lazareva, V.A. Mukhamadeeva
lazareva@gdirc.ru, vinera@gdirc.ru*

The Federal State Budget Institution of Science Research Station of the Russian Academy of Sciences in Bishkek, Bishkek city, Kyrgyzstan

Summary. The article gives the short review of seismic situation in the eastern part of the Bishkek geodynamic proving ground in the first half-year of 2017; Time series of the difference of complete vector of magnetic field are analyzed for stationary and mobile geomagnetic monitoring stations; The connection between the variations of the magnetic field and seismic events is considered on separate examples.

Изменения напряженно-деформированного состояния среды находят свое отражение в вариациях физических параметров различных геофизических полей, в частности, магнитного поля Земли. Геомагнитные наблюдения с регистрацией модуля полного вектора T магнитного поля производятся в пределах Бишкекского геодинамического полигона (БГП) с 1982 года по сети, насчитывающей в настоящее время 7 стационарных и 10 рядовых пунктов (рисунок 1). Результаты наблюдений представляются в виде временных рядов T и разностей ΔT , вычисляемых относительно опорной (базовой) станции, за которую принята станция Ак-Суу.

Опыт многолетних наблюдений на БГП свидетельствует о том, что не всегда сейсмические события (по разным причинам) сопровождаются аномальными изменениями магнитного поля [1, 2]. Однако серия сейсмических событий, имевших место весной 2017 года в восточной части полигона вблизи пункта Кегеты (рис. 1), нашла отражение на всех пунктах сети в виде заметных вариаций магнитного поля, и появилась возможность проследить динамику его изменения на всей территории полигона.

Следует заметить, что сейсмическая обстановка в указанном районе оказалась, в некотором смысле, уникальной. 21 апреля 2017 г. здесь произошло два землетрясения с энергетическим классом $K=11.68$ и $K=11.55$, которые сопровождались серией форшоков и афтершоков не только в виде слабых сейсмических событий, но и землетрясений 9-10 классов. Только в апреле было зарегистрировано 62 события, а это примерно пятая часть от годовой «нормы» землетрясений, и сам факт их возникновения в таком количестве является достаточно редким явлением на полигоне.

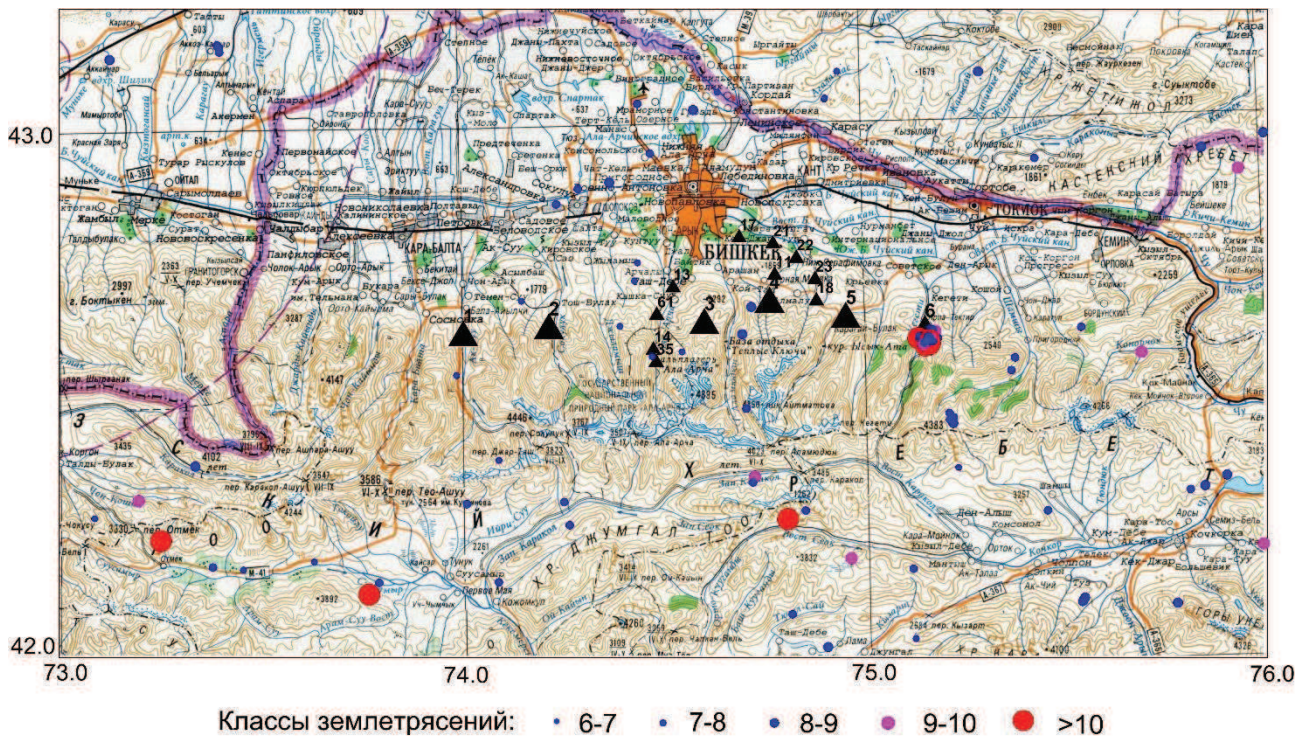


Рис. 1. Карта расположения пунктов геомагнитных наблюдений (обозначены черными треугольниками) с вынесенной на нее сейсмичностью за первое полугодие 2017 г. Стационары: 1-Аксу; 2-Шавай; 3-Чонкурчак; 4-Таш-Башат; 5-Иссык-Ата; 6-Кегеты; 7-Карагай-Булак. Рядовые пункты: 11-Норуз; 13-Кашкасу; 14-Средняя Ала-Арча; 17-Ала-Тоо; 18-Тогузбулак; 21-Дачи; 22-Нижняя Серафимовка; 23-Горная Серафимовка; 35-Верхняя Ала-Арча; 61-Шлагбаум

Надо заметить, что на рассматриваемом участке полигона сейсмические события происходили и ранее. Согласно гистограмме на рис. 2, их интенсивность была невелика. Однако с 2015 г. наметился процесс активизации сейсмических процессов.

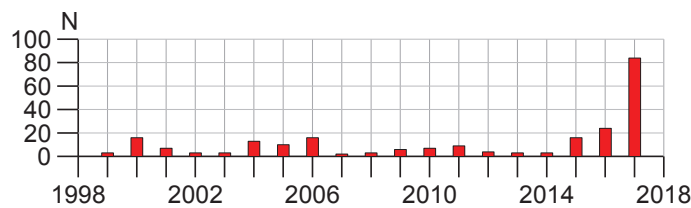


Рис. 2. Гистограмма распределения сейсмических событий в радиусе 10 км от станции Кегеты в период с 1999 по июнь 2017 гг.

Если до 2015 г. гипоцентры землетрясений располагались хаотично в пределах некоторой области, то в 2015 г. наметился центр их концентрации в интервале глубин от 10 до 15 км (рис. 3). В 2016 г. количество землетрясений заметно возросло, очаговая зона будущих землетрясений приобрела вполне четкие очертания. Гипоцентры апрельских событий 2017 года расположились в пределах уже сформировавшейся очаговой зоны. Как можно видеть на рис. 4, локализация гипоцентров землетрясений, имевших место 21 апреля 2017 г., происходит преимущественно в интервале глубин от 11 до 15 км и в меньшей степени на глубинах до 11 км и свыше 15 км. Очаги сейсмических событий сконцентрированы в опущенном крыле Шамсинско-Тюндюкского разлома, тогда как их эпицентры располагаются на его взброшенном крыле (рис. 5).

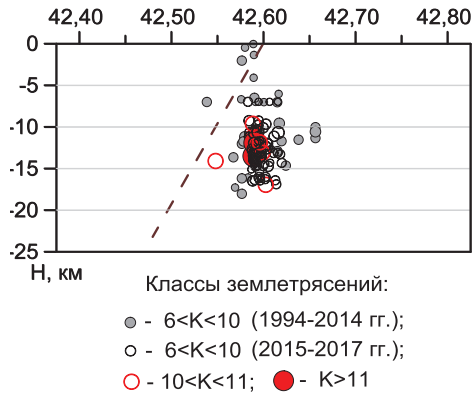


Рис. 3. Очаговая зона кегетинских землетрясений (по данным сети KNET с 1994 г. по июнь 2017 г.).

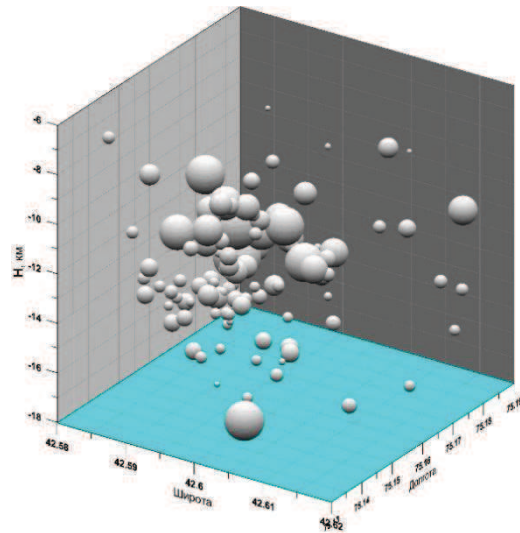


Рис. 4. Положение гипоцентров сейсмических событий, произошедших 21.04.17.

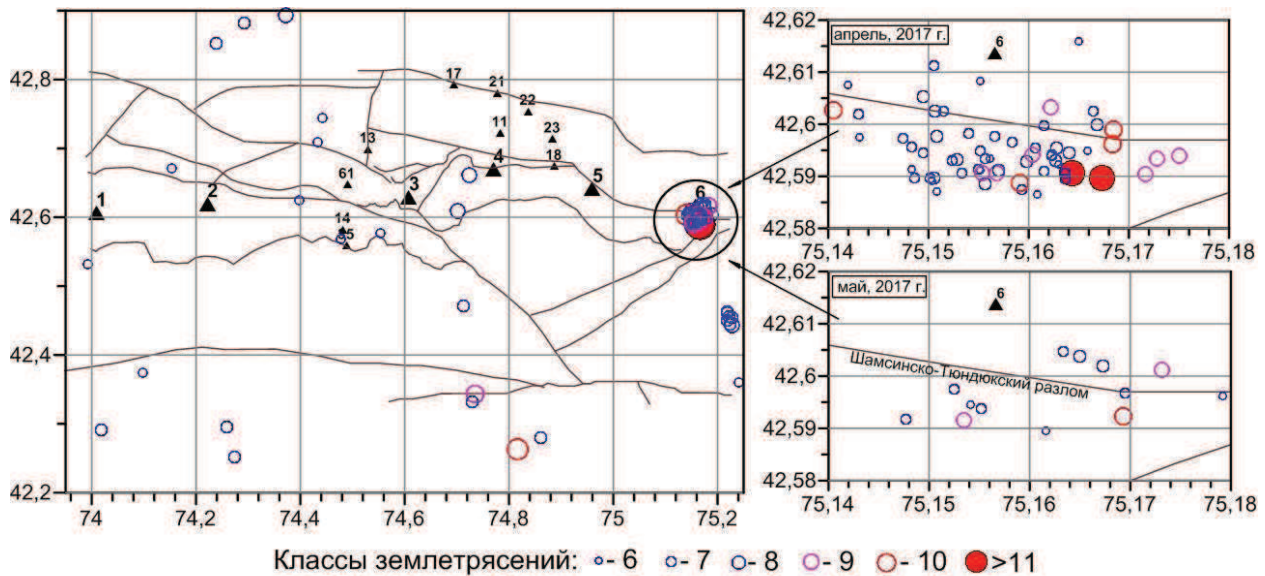


Рис. 5. Тектоническая схема Бишкекского геодинамического полигона (по Миколайчуку А.В.) с вынесенными на нее пунктами геомагнитных наблюдений и сейсмичностью за первое полугодие 2017 года.

Вышеупомянутый разлом имеет достаточно крутое падение в южном направлении (не менее 60°). По мнению геологов, в условиях субмеридионального сжатия происходит надвигание Киргизского хребта на Чуйскую впадину. По всей видимости, и возросшая сейсмическая активность в предгорной зоне Киргизского хребта в районе Кегетов в начале 2017 г. является следствием активизации тектонических процессов на одном из фрагментов зоны сочленения вышеупомянутого хребта с Чуйской впадиной и связана с подвижками по Шамсинско-Тюндюкскому разлому и разрядкой накопившихся в земной коре напряжений.

Как отмечалось выше, изменения напряженно-деформированного состояния среды, связанные в том числе и с подготовкой землетрясений, находят свое отражение в аномальных вариациях геомагнитного поля. Рассмотрим это на конкретных примерах.

На рис. 6 представлены фрагменты временных рядов разности полного вектора ΔT магнитного поля для стационарных и рядовых пунктов геомагнитного мониторинга.

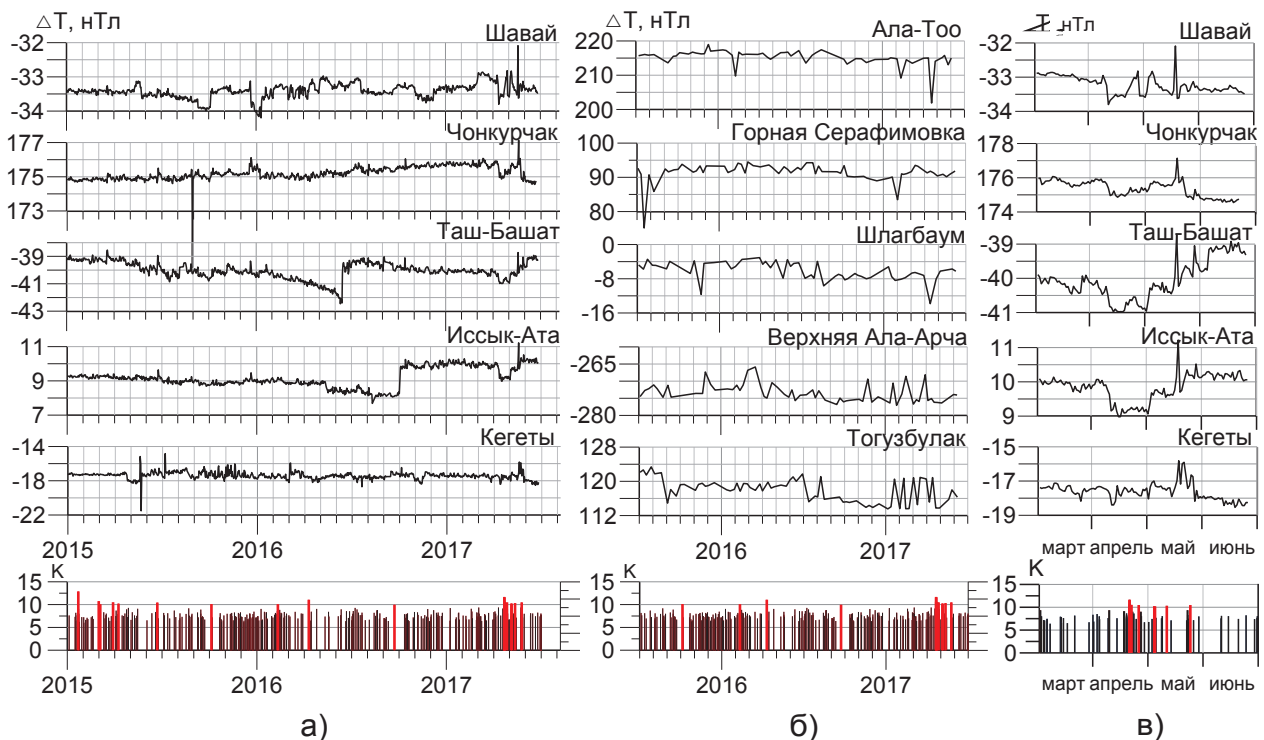


Рис. 6. Временные ряды вариаций разностей полного вектора магнитного поля для стационарных (а, в) и рядовых пунктов (б) сети. На шкале сейсмических событий, произошедших в пределах БГП, красным цветом обозначены события с $K > 10$.

Как видно из рис. 6, вариации магнитного поля, предшествующие известным событиям в районе Кегетов, наблюдаются на всех без исключения временных рядах ΔT как на стационарных, так и на рядовых пунктах наблюдений.

Примерно за неделю до основных толчков (событий 11-го класса) на всех графиках ΔT по всем станциям сети отмечается минимум разности модуля полного вектора магнитного поля, т.е. происходит спад значений ΔT на величину от 0,6% до 10% относительно начала 2017 г. Резкое возрастание ΔT , достигающее максимума в середине мая, связано, по всей видимости, с последующей афтершоковой деятельностью от двух основных толчков и отражает некий суммарный эффект от более чем 60 афтершоков. Восходящие, а на некоторых станциях нисходящие ветви графиков ΔT указывают на то, что сейсмические процессы в восточной части полигона далеки от завершения.

Надо заметить, что процесс подготовки кегетинских землетрясений начался задолго до весны 2017 года, примерно с апреля 2015 г., и продолжался около 3-х лет. В этот период наблюдались несколько этапов возрастания сейсмической активности: в апреле и декабре 2015 г., в феврале 2016 г., что нашло отражение на графиках ΔT . Отдельные резкие всплески ΔT , как, например, в сентябре 2015 г. на станции Чонкурчак, связаны с подготовкой сейсмического события с $K=10.11$ 04.10.15 г. и его афтершоками в пределах рассматриваемой очаговой зоны.

На графиках разности полного вектора магнитного поля для рядовых пунктов наблюдений (рис. 6,б) аномальные эффекты имеют фрагментарный характер. На рис. 6,б представлены временные ряды для пунктов, расположенных в различных геоструктурных зонах: в пределах Чуйской впадины (п. Ала-Тоо), в предгорьях Киргизского хребта – в зоне его сочленения с Чуйской впадиной (пп. Горная Серафимовка, Шлагбаум и Тогузбулак), в пределах Ала-Арчинского интрузивного массива (п. Верхняя Ала-Арча). Наиболее ярко вариации ΔT проявили себя на п. Тогузбулак, ближе всех расположенном к очаговой зоне кегетинских землетрясений. Как видно из графиков, событиям 21.04.17 г. предшествует спад ΔT , различный по продолжительности (до нескольких месяцев) и интенсивности. Наблюдаемые минимумы ΔT (или чередование их с максимумами) на отдельно взятых

графиках ΔT отражают лишь какие-то определенные моменты сейсмического процесса. Дискретность полевых наблюдений (1 раз в неделю) на рядовых пунктах, осуществляемых передвижной станцией, не позволяет фиксировать в полной мере все эффекты от землетрясения – удается «ухватить» лишь часть от какого-либо этапа его развития.

Наглядное представление о том, как меняется магнитное поле в отдельные моменты времени на всей исследуемой территории незадолго до апрельских землетрясений, можно получить на рис. 7.

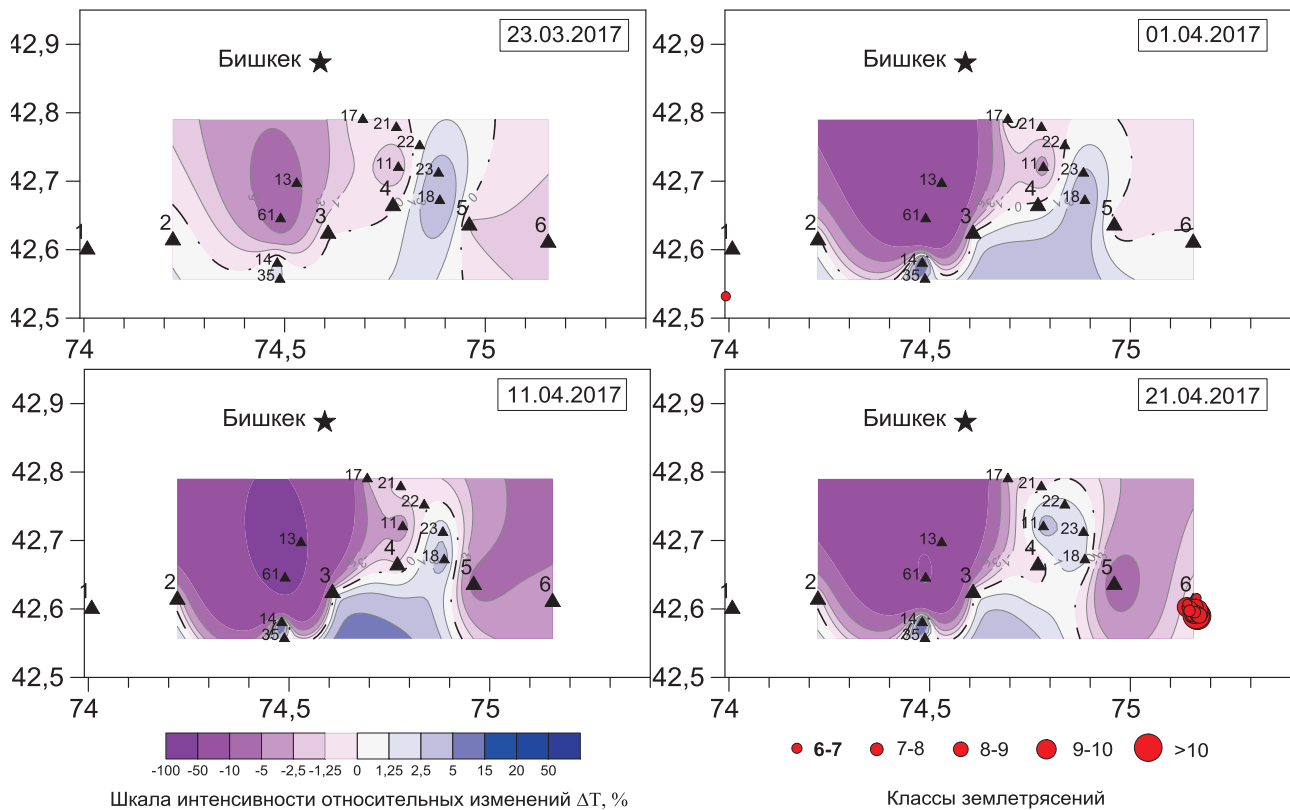


Рис. 7. Динамика изменения ΔT перед землетрясениями 21.04.17 г.

На рисунках, в виде изолиний и соответствующей заливки, отражена интенсивность аномальных вариаций ΔT относительно начала 2017 года.

Заключение. Вариации магнитного поля на временных рядах для стационарных и рядовых пунктов сети мониторинга БГП, наблюдаемые в течение первого полугодия 2017 года, напрямую связаны с усилением сейсмической активности в восточной части полигона, которая, в свою очередь, является следствием активизации тектонических процессов в зоне Шамсинско-Тюндюкского разлома.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изучение геодинамических, сейсмических и геофизических процессов как основы прогноза землетрясений (включая моделирование неупругих процессов в сейсмогенерирующих зонах) / Отчет о научно-исследовательской работе. 2015. Бишкек: НС РАН. С. 55-63.
2. Лазарева Е.А., Мухамадеева В.А. О связи наблюдаемых вариаций разности полного вектора магнитного поля с сейсмичностью на территории Бишкекского геодинамического полигона // Современные техника и технологии в научных исследованиях. Бишкек: НС РАН. 2017. С. 76-84.

УДК 553.98

НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ ПАЛЕОЗОЙСКОГО РЕЗЕРВУАРА НЮРОЛЬСКОЙ МЕГАВПАДИНЫ ПО ГЕОТЕМПЕРАТУРНОМУ КРИТЕРИЮ

Лобова Галина Анатольевна¹, Лунёва Татьяна Евгеньевна²

¹lobovaga@tpu.ru

²tatyana.luneva93@gmail.com

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, Томск

Аннотация. На основе восстановления катагенетической истории нефтематеринской тогурской свиты, анализа петрофизических и тектонических условий формирования резервуаров в палеозойских образованиях, проведено районирование Нюрольской мегавпадины и ранжирование районов по степени перспективности. Выделен и рекомендован как первоочередной район, охватывающий южные борта Кулан-Игайской, Тамрадской впадин, восточную часть Чузикско-Чижапской мезоседловины.

OIL-AND-GAS PROSPECTS OF PALEOZOIC RESERVOIR OF THE NUROL'KA MEGADEPRESSION BY THE GEOTEMPERATURE CRITERION

Galina A. Lobova, Tatyana E. Luneva²

¹lobovaga@tpu.ru

²tatyana.luneva93@gmail.com

National research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk

Summary. The thermal history of the formation of the source rocks Togur' suite, the analysis of the petrophysical and tectonic conditions for the formation of reservoirs in the Paleozoic formations made it possible to carry out the zoning of the Nyurol'ka megadepression and the ranking of the plots according to the degree of prospects. The southern side of the Kulan-Igai and Tamrad depressions and the eastern part of the Chuzik-Chizhapka mezosaddle were identified and recommended as a priority area covering.

Постановка задачи. Территория исследования расположена на левобережье р. Оби, в пределах которого располагаются основные разрабатываемые месторождения Томской области (рис. 1А). Основные объекты нефтедобычи связаны с верхнеюрским НГК. Труднодоступные запасы палеозойских резервуаров в пределах Нюрольской мегавпадины и обрамляющих ее структур являются перспективными объектами воспроизводства и наращивания ресурсной базы в в этом регионе [1]. В пределах Нюрольской мегавпадины и структур ее обрамления к настоящему времени открыты ряд месторождений углеводородов и в доюрском нефтегазоносном комплексе. Территориально месторождения тяготеют к Чузикско-Чижапской мезоседловине. Получены прямые признаки нефтегазоносности при испытании этих горизонтов на Елле-Игайской, Северо-Айсазской и ряде других площадей. Для уменьшения экономических затрат на поиски перспективных объектов необходим подход, который позволит на основе уже имеющихся данных, выявить перспективные участки в палеозойском комплексе.

Экспериментальные исследования [2] показали, что основным источником углеводородов для этого резервуара, являются нижнеюрские тогурские отложения. Тогурская свита присутствует в разрезе исследуемой территории и распространена в наиболее погруженной ее части (рис. 1А). Ее положение латерально ограничивает территорию данных исследований. Восстановление катагенетических условий и время существования очагов генерации в материнских отложениях позволяет определить плотность генерации тогурских нефтей, а наличие резервуаров для аккумуляции

образующихся углеводородов дает возможность установить перспективы исследуемой территории.

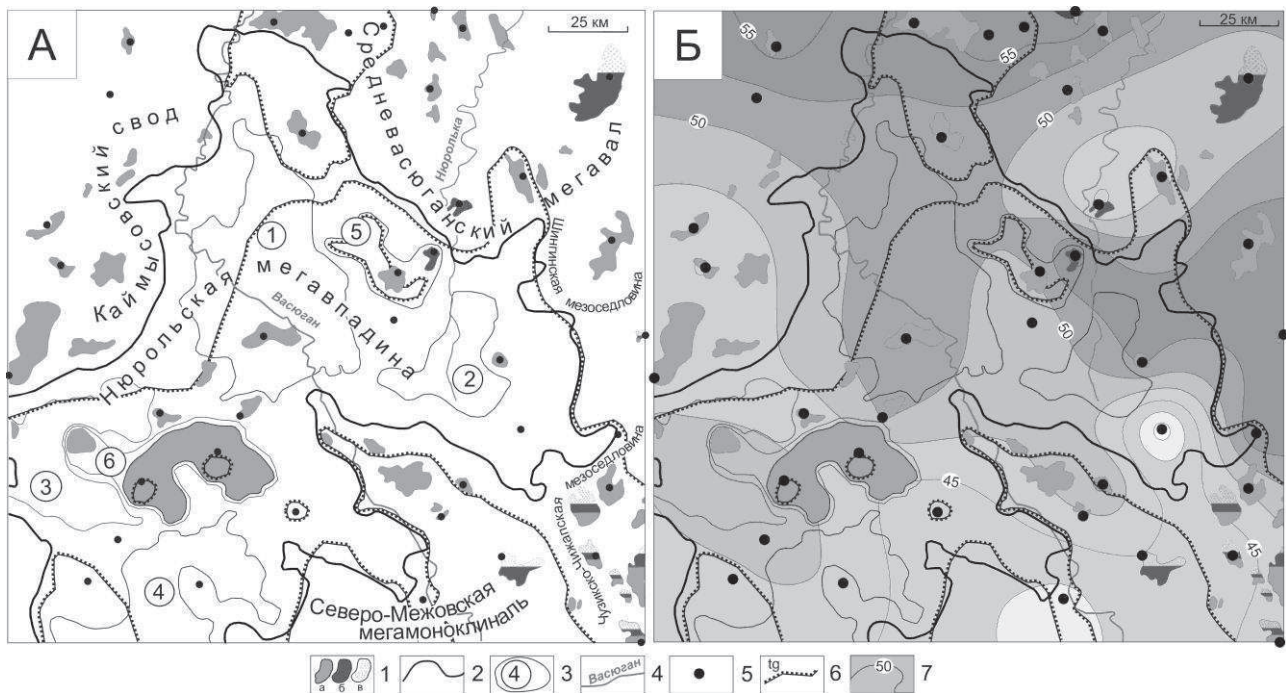


Рис. 1. Схематические карты нефтегазоносности (А) и распределения значений плотности теплового потока из основания осадочного чехла (Б) Нюрольской мегавпадины. 1 – месторождения: а – нефтяное, б – конденсатное, в – газовое; 2 – граница Нюрольской мегавпадины; 3 – структура III порядка и ее номер; 4 – речная сеть; 5 – скважина палеотемпературного моделирования; 6 – граница зоны распространения тогурской свиты; 7 – изолинии значений расчетной плотности теплового потока, $\text{мВт}/\text{м}^2$. Структуры III порядка: 1 – Кулан-Игайская впадина, 2 – Тамрадская впадина, 3 – Осевой прогиб, 4 – Тамянский прогиб; 5 – Фестивальный вал, 6 – Игольско-Таловое куполовидное поднятие

Целью настоящей работы является выделение первоочередных районов для поисков залежей углеводородов в отложениях коренного палеозоя.

Оценка плотности генерации тогурских нефтей и характеристика палеозойского резервуара. Восстановление катагенетической истории формирования тогурских нефтематеринских отложений выполнено с использованием технологии палеотемпературного моделирования [3].

На первом этапе, решением обратной задачи, по распределению температур в разрезах 39-и представительных скважин, определяется тепловой поток из основания осадочного чехла (рис. 1Б). Для моделирования используются как пластовые температуры, так и палеотемпературы, рассчитанные по значениям коэффициента отражающей способности витринита (ОСВ). Расчеты ведутся с учетом изменения температур на поверхности Земли в геологическом прошлом. Затем, решением прямой задачи, восстанавливается термическая история тогурских отложений.

С учетом максимальных палеотемператур и времени нахождения тогурских отложений в «нефтяном окне», и площади распространения очагов генерации в пределах территории исследования рассчитываются значения плотности генерации тогурских нефтей, в условных единицах [4].

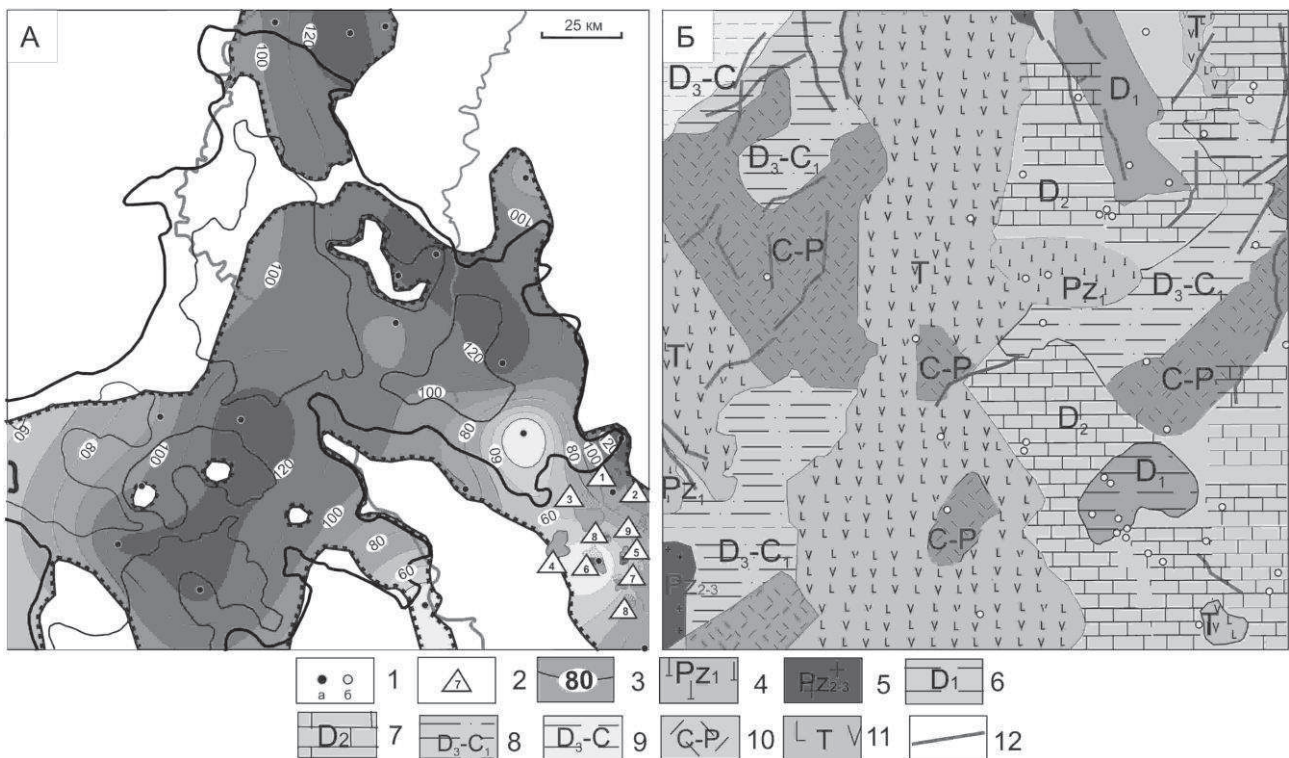


Рис. 2. Схематические карты распределения значений плотности генерации тогурских нефтей (А) и распространения петротипов пород фундамента и тектонических нарушений (Б) в Нюрольской мегавпадине и структурах её обрамления. К рисунку А: 1 – скважины: а - использованные для построения карты распределения плотности генерации тогурских нефтей, б - с отбором керна из отложений палеозоя; 2 – условный номер месторождения с залежами в коренном палеозое (M_1); 3 – изолинии плотности генерации тогурских нефтей, усл. ед. Месторождения: Тамбаевское (1), Южно-Тамбаевское (2), Урманское (3), Южно-Урманское (4), Северо-Табганское (5), Арчинское (6), Нижнетабганское (7), Южнотабганское (8). К рисунку Б, фации комплексов пород фундамента с указанием их возраста: 4 – ультрабазиты, 5 – граниты, 6 – глинисто-кремнистые сланцы, 7 - карбонаты, 8 – терригенные породы, 9 – глинистые сланцы, 10 – липариты, 11 – андезит-базальты, 12 – разломы. Остальные условные обозначения, те же, что на рис. 1

Оценка плотности генерации выполняется в условных единицах, что вполне корректно для последующего площадного районирования. Ранее [5] построена карта значений плотности генерации тогурских нефтей (рис. 2А).

На схематической карте (рис. 2Б) показано распространение петротипов пород фундамента и положение тектонических нарушений. Образование резервуаров в палеозойских толщах связано с гидротермальными проработками горных пород, которые особенно активно проявляются в зонах тектонических нарушений. Отмечено [6], что коллекторы с улучшенными фильтрационно-емкостными свойствами (ФЭС) образуются по кремнисто-карбонатным, глинисто-кремнистым породам и магматическим породам кислого состава. Зоны с неблагоприятными ФЭС тяготеют к магматическим породам основного состава и породам глинисто-сланцевой формации.

Районирование территории. Учитывая петротипы палеозойских отложений и наличие разломной тектоники, на схематическую карту распределения значений плотности генерации тогурских нефтей вынесены зоны с улучшенными ФЭС (рис. 3А). В пределах зоны распространения улучшенных ФЭС изолинией 90 у.е. выделяются земли перспективные.

С учетом плотности генерации УВ и площади распространения этих земель, оконтурены и проранжированы перспективные районы.

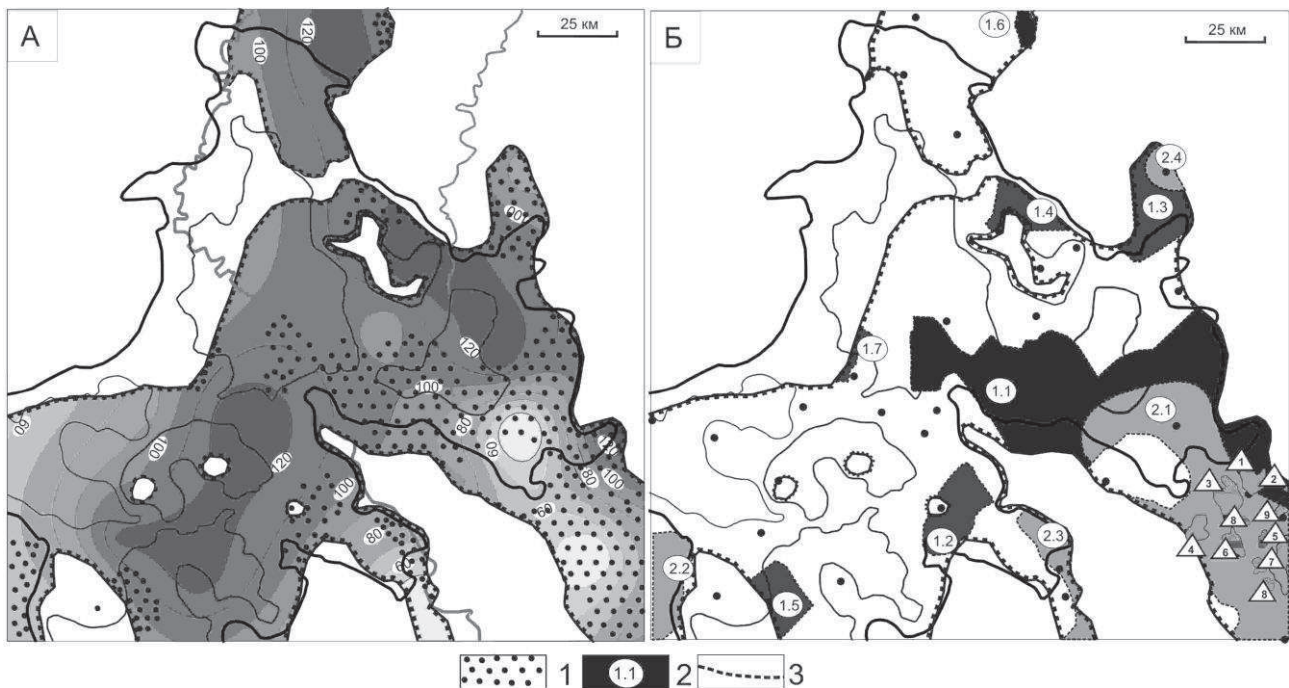


Рис. 3. Схема соотношения распределения значений плотности генерации тогурских нефтей и качества коллекторов в резервуаре палеозоя (А) и схема выделения первоочередных районов для поисков залежей углеводородов в отложениях палеозоя (Б) Нюрольской мегавпадины. К рисунку А: 1 – зоны коллекторов палеозоя с улучшенными ФЕС. К рисунку Б: 2 – перспективный район, номер ранжирования (интенсивность закрашки пропорциональна степени перспективности района); 3 – границы районов. Остальные условные обозначения те же, что на рис. 1 и 2.

Наибольшую площадь занимает район 1.1. Он охватывает южные борта Кулан-Игайской, Тамрадской впадин, восточную часть Чузикско-Чижапской мезоседловины и зону их сочленения. Район 1.2 расположен на северном склоне Северо-Межовской мегамоноклинали. Район 1.3 тектонически приурочен к южному склону Среднеvasюганского мегавала и зоне его сочленения с северным бортом Нюрольской мегавпадины. К северному склону Фестивального вала приурочен район 1.4. Район 1.5 приурочен к северному борту Тамянского прогиба. На юго-западном склоне Среднеvasюганского мегавала находится район 1.6. Район 1.7 располагается на юго-западном борту Кулан-Игайской впадины. Высокая перспективность района 1.1 подтверждается наличием залежей в палеозое на месторождениях Тамбаевском и Южно-Тамбаевском, расположенных на этом участке. На землях районов 1.2–1.7 прямых признаков нефтенасыщения палеозойского разреза пока не установлено.

Второстепенные к изучению земли включают 4-е района. Из них наиболее перспективный район 2.1 приурочен к Чузикско-Чижапской мезоседловине. Перспективность данного района подтверждается открытыми здесь месторождениями с залежами в пласте M_1 различного фазового состояния (рис. 3Б). Остальные районы следуют в таком порядке: 2.2 – расположен в юго-западной части Нюрольской мегавпадины, 2.3 – располагается в южном врезе Нюрольской мегавпадины; 2.4 – тектонически приурочен к южному склону Среднеvasюганского мегавала и зоне его сочленения с северным бортом Нюрольской мегавпадины. Сведениями о прямых признаках нефтенасыщения разреза на землях этих районов в настоящее время не располагаем.

Заключение.

1. Анализ распределения плотности генерации тогурских нефтей и качества возможных резервуаров в породах складчатого фундамента позволил выделить перспективные районы для поисков залежей в отложениях палеозоя.

2. Первоочередными землями для изучения и освоения резервуара палеозоя Нюрольской мегавпадины является район 1.1, который выделяется не только высокой плотностью генерации тогурских нефтей, но и улучшенными ФЕС пласта М₁. Он охватывает южные борта Кулан-Игайской, Тамрадской впадин, восточную часть Чузикско-Чижапской мезоседловины.

3. В работе продемонстрировано применение геотермии, как метода разведочной геофизики [7], используемого для решения задач оптимизации поисков труднодоступных (трудноизвлекаемых) палеозойских запасов углеводородов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lobova G., Osipova E., Isaev V. and Terre D. Petroleum potential of Lower-Jurassic deposits in Nurolsk megadepression // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science Scientific and Technical Challenges in the Well Drilling Progress. 2015. Vol. 24. <http://iopscience.iop.org/1755-1315/24/1/012001>
2. Исаев В.И., Коржов Ю.В., Лобова Г.А., Жильцова А.А., Кузина М.Я. Поисковая геохимия по ароматическим углеводородам и модель межпластовой вертикальной миграции нефтяных углеводородов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2013. – № 12. – С. 30–36.
3. Исаев В.И., Коржов Ю.В., Лобова Г.А., Попов С.А. Нефтегазоносность Дальнего Востока и Западной Сибири по данным гравиметрии, геотермии и геохимии: монография. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 384 с.
4. Лобова Г.А., Попов С.А., Фомин А.Н. Локализация прогнозных ресурсов нефти юрско-меловых НГК Усть-Тымской мегавпадины // Нефтяное хозяйство.– 2013.– №2 – С. 36–40.
5. Лобова Г.А., Власова А.В. Реконструкция геотермического режима материнской тогурской свиты и обоснование районов аккумуляции нефти в нижнеюрских и палеозойском комплексах Нюрольской мегавпадины // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2013. – Т. 8 – №2. – http://www.ngtp.ru/rub/6/15_2013.pdf.
6. Запывалов Н.П., Исаев Г.Д. Критерии оценки нефтегазоносности палеозойских отложений Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета. – 2010. – № 341. – С. 226–232.
7. Хуторской М.Д. Введение в геотермию: курс лекций. – М.: Изд-во РУДН, 1996. – 156 с.

УДК 550.834(265.7)

**НОВЫЕ ДАННЫЕ О СТРОЕНИИ И РЕГИОНАЛЬНОЙ ГАЗОНОСНОСТИ
КАЙНОЗОЙСКОГО ЧЕХЛА ЗАПАДА КАРОЛИНСКОЙ ПЛИТЫ (ЛОЖЕ ПАЦИФИКИ)**

Ломтев Владимир Леонидович

e-mail: v.lomtev@imgg.ru

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия

Аннотация. По результатам переинтерпретации профилей НСП 124, 125 и данных бурения рассматривается строение кайнозойского чехла запада Каролинской плиты (вал Эаурипик и Западно-Каролинская котловина). Кайнозойский (олигоцен–квартер) чехол сложен полупрозрачными карбонатами на вале и терригенно-вулканогенно-карбонатными осадками с разным сейсмическим имиджем в котловине. Обнаружены тектоническая гофрировка плиты, связанная с коровым срывом к западу (мегадуплекс надвигов и взбросов), региональная газоносность акустического фундамента и осадочного чехла, подводные долины с намывными дамбами и контрастные турбидиты в котловине, оползни на восточном склоне вала, осадочные волны в нижней толще чехла на вершине вала и др.

**NEW DATA ABOUT THE STRUCTURE AND REGIONAL GAS BEARING OF CENOZOIC
COVER OF THE WESTERN CAROLINE PLATE (PACIFIC ABYSSAL FLOOR)**

Vladimir Lomtev

e-mail: v.lomtev@imgg.ru

Institute of marine geology and geophysics FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Summary. By results of reinterpretation of seismic-reflection profiles 124, 125 and drilling data, the structure Western Caroline plate is considered (Eauripik rise and West Caroline Basin). The Cenozoic (Oligocene–Quaternary) cover is composed by semitransparent carbonates on the Eauripik rise and terrigenous-volcanic-carbonate sediments with different seismic imidge in the West Caroline Basin. Tectonic corrugation of plate, associated with the crustal glide to west (megaduplex of thrusts and upthrows), regional gas bearing of acoustical basement and sedimentary cover, submarine valleys with levees and contrast turbidites in the basin, slides on the eastern slope, asymmetric sedimentary waves in the low strata of cover on the rise top and other are found.

В докладе представлены профили непрерывного одноканального сейсмопрофилирования методом отраженных волн (НСП МОВ) 124 (окончание), 125 и их фрагменты с элементами их авторской переинтерпретации (рис. 1-3а-и). Профили получены сейсмиками ИМГиГ ДВО РАН в 5 рейсе НИС «Проф. Гагаринский»-1989 под руководством к.г.-м.н. В.Н. Патрикеева. Они намечают приэкваториальный (~3-4° с.ш.) субширотный геотраверз на западе Каролинской океанической плиты через массивный субмеридиональный вал Эаурипик и Западно-Каролинскую абиссальную котловину до окрестностей Западно-Каролинского трога. НСП проводилось на скорости 6,8-8,4 узла и рабочей частоте 120-150 Гц. На рис. 2, 3а-и указано судовое время и пройденное расстояние в милях в соответствии с каталогом координат по этому рейсу (фонды ИМГиГ). На вале Эаурипик геотраверз проходит через геофизический полигон ТОИ ДВО РАН [1].

Каролинская океаническая плита располагается на юго-западе ложа Пацифики, занимая входящий структурный угол, образованный фронтальными системами дуга-желоб Евразии и Австралии (рис. 1). Некоторые авторы считают ее задуговой плитой с одновременными проявлениями спрединга и магматизма в олигоцене-квартере. На севере она ограничена Каролинским хребтом, на востоке – желобом-трогом Муссау [1] либо массивным валом Капингамаранги (Онтонг-Джава [10]).

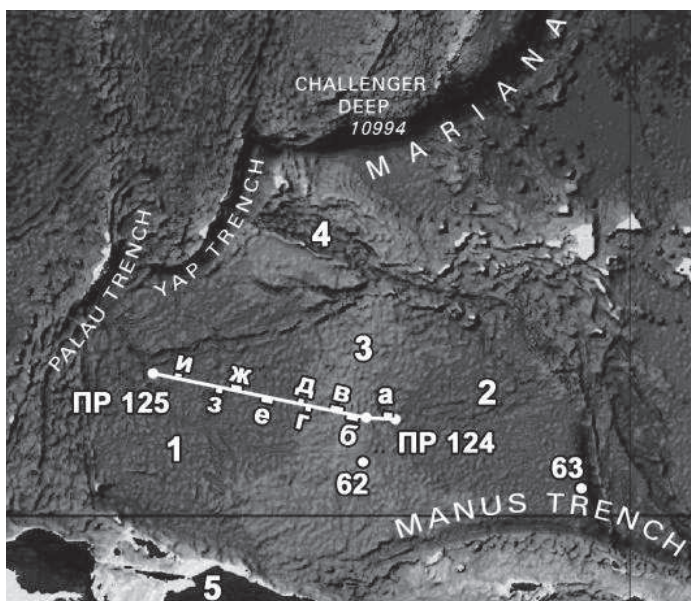


Рис. 1. Батиметрическая карта Каролинской плиты с сайта www.gebco.net (ГИН РАН) с положением профилей (ПР здесь и на рис. 2) НСП 124, 125 (рис. 2) и их фрагментов (рис. 3а-и): 1, 2 – Западно- и Восточно-Каролинские абиссальные котловины, 3 – вал Эаурипик, 4 – Каролинский подводный хребет, 5 – Новогвинейская островная дуга.

Геолого-геофизическая изученность Каролинской плиты связана с бурением скв. 62, 63 «Гломара Челленджера», драгированием, геофизическими исследованиями (промер, грави-, магнито- и геотермия, сейсморазведка

МОВ и МПВ [1, 10-15]). Обособление и молодой возраст Каролинской плиты связывают с базальтами олигоцена (финальные траппы) в кровле опакового слоя (акустический фундамент) и картированием кайнозойских линейных магнитных аномалий, маркирующих спрединговые центры в Западно-Каролинском и Килсгаард (Восточно-Каролинская котловина) трогах. Границу Тихоокеанской и Каролинской плит намечают в желобе-троге Муссау. Океаническая кора в Каролинских котловинах тонкая (6-7 км), под валом Эаурипик (аналог поднятия Шатского по [1]) – утолщенная (19 км [14]). Кайнозойский чехол двухслойный, в основном карбонатный (полупрозрачная толща на профилях НСП [13-15]). Отражающая граница между верхней и нижней толщами чехла в Каролинских котловинах и на валу проходит в отложениях раннего миоцена (сейсмический горизонт X или PR). В котловинах чехол более контрастный, но его мощность несколько сокращена в сравнении с валом (рис. 2, 3а-и; [13-15]); есть опыт локального сейсмостратиграфического анализа кайнозойского чехла по данным НСП [1]. Вместе с тем, опубликованные трактовки тектоники, вулканизма, осадконакопления, истории Каролинской плиты альтернативны, поскольку опираются на идеи плитотектоники [1, 13-15 и др.] или фиксизма [9-11 и др.]. Интерпретация профилей НСП 124, 125 проведена автором с учетом опыта интерпретации материалов НСП, МОГТ и бурения в Восточно-Марианской и СЗ абиссальных котловинах, Тасмановом, Японском и Охотском морях, Курильском и Японском глубоководных желобах [2-8 и др.].

Субмеридиональный вал Эаурипик шириной ~200 и протяженностью ~1000 км разделяет Западно- и Восточно-Каролинские абиссальные котловины, связывая краевые валы Новогвинейского и Манус желобов на юге с Каролинским подводным хребтом на севере. В плане он изогнут к западу навстречу фронтальным дугам Евразии (рис. 1). В полосе геотраверза глубины вершины и подошвы западного склона вала достигают ~2360 и 4350 м, т.е. его высота достигает 2 км. Судя по рис. 2 вал асимметричен в широтном сечении и вероятно представляет собой дивергентный (двусторонний по Л. Коберу), досреднеолигоценый ороген, склоны которого гофрированы встречными взбросами и надвигами, частью возможно цилиндрическими, следуя Е. Хиллсу (рис. 3в). Следовательно, с учетом данных [2] он является структурой кайнозойского корового срыва к западу. Вал драпирован полупрозрачным карбонатным чехлом олигоцена-квартера мощностью от 720 до 200 м (определены при средней скорости распространения продольных волн 2000 м/с). Минимальные мощности чехла связаны вероятно с оползнями (рис. 3а) или близостью крупного подводного уступа (рис. 3в). Чехол на вале двухслойный (**D1,2** – по аналогии с котловиной Тускарора [5]), что на вершине и местами восточном склоне фиксирует двойная отражающая граница (рис. 3б). Последнюю с учетом материалов скв. 62 [11, 15] можно

интерпретировать как фронт литификации миоценовых карбонатов (см. также [8]) или стратиграфическое несогласие, т.к. нижняя толща суть поле мигрировавших осадочных волн с характерной для них асимметрией, налегающее на склоны палеовулкана (рис. 2, 3б). И напротив, верхняя толща – типичный аккумулятивный плащ с несколькими подводными долинами (депрессионные прозрачные линзы), обвалованными намывными дамбами. Следовательно, палеоглубины океана во время накопления карбонатного чехла на вершине вала Эаурипик увеличивались, что согласуется с выводами [11] и кривой уровня Тихоокеанского океана в кайнозое [12].

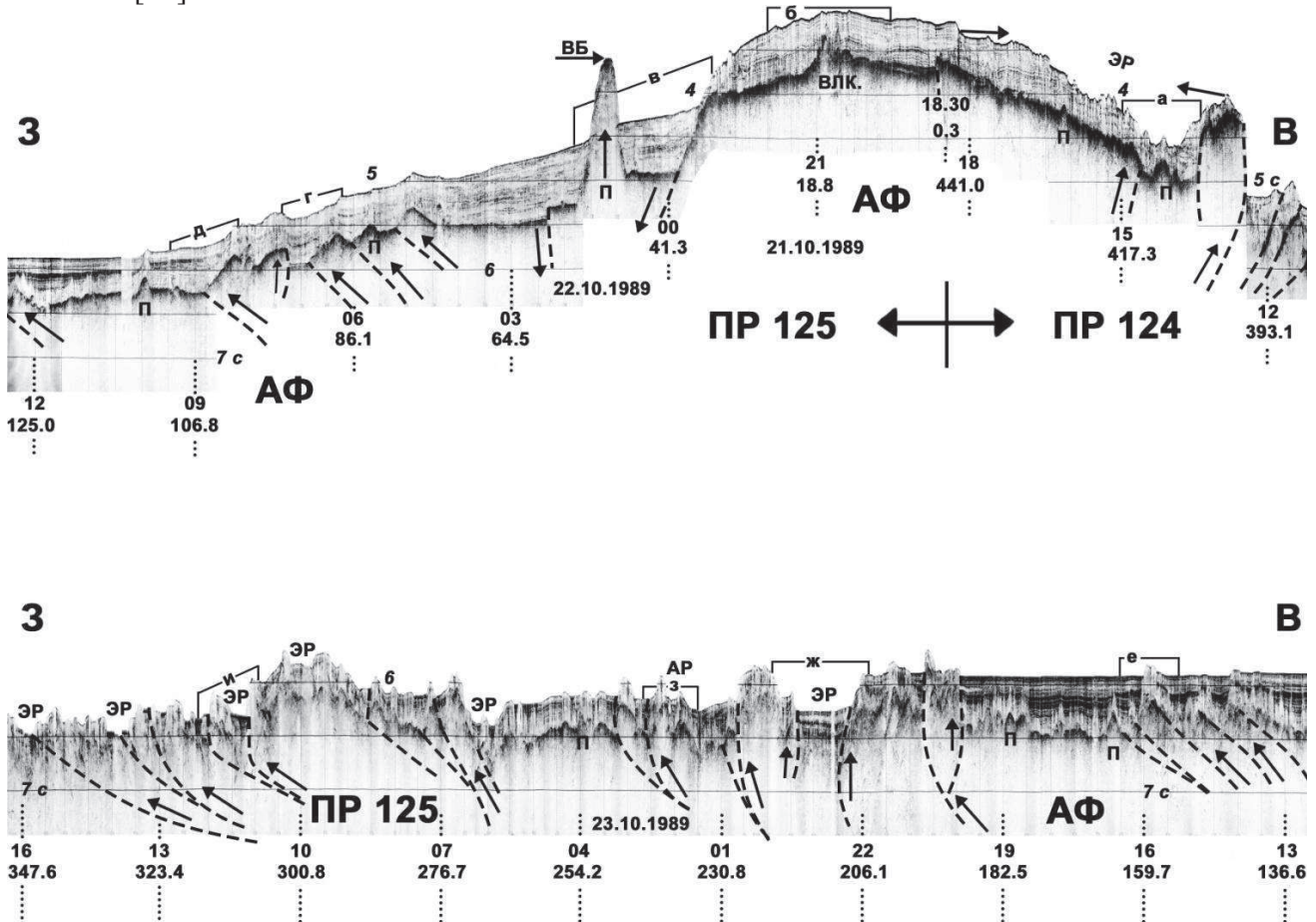


Рис. 2. Временные разрезы НСП МОВ 124 (окончание) и 125 по Каролинской океанической плите с положением их фрагментов а-и (рис. 3). Вертикальный масштаб в секундах двойного пробега здесь и на рис. 3а-и; отмечены пикеты судового времени и пройденное расстояние в морских милях из каталога координат по 5 рейсу НИС «Проф. Гагаринский»-1989 здесь и на рис. 3а-и. АФ – акустический фундамент, ВБ – вершинный бенч, ЭР – эрозионное русло, АР – абиссальное русло с намывными дамбами, П – предполагаемая протрузия гранитов [6]; влк. – палеовулкан; пунктир со стрелкой – предполагаемые разломы и смещения по ним здесь и на рис. 3а-и.

На западном склоне мощность карбонатного чехла максимальна вблизи крупного уступа и гайота с вершинным бенчем (протрузия гранитов?), но с приближением к его подошве она заметно снижается (рис. 2, 3г, д). Двухслойное строение кайнозойского чехла здесь местами намечают контрастные пачки карбонатно-вулканогенных и/или терригенных осадков в его средней части. Чехол на западном склоне вала представляет собой аккумулятивный плащ местами с обвалованными подводными руслами, деформированный взбросами и надвигами восточного падения в отличие от верхней толщи на вершине вала. У подошвы западного склона вала на рис. 2, 3д обнаружено налегание интенсивной контрастной толщи в средней части кайнозойского чехла Западно-Каролинской котловины, формирующей крупную депрессионную линзу, а также ее вклинивание в преимущественно карбонатный чехол

восточного склона вала. Особо отметим видимую вертикальную «нарезку» карбонатного чехла вала Эаурипик, которая согласно [3] обусловлена его региональной газонасыщенностью и миграцией газа по разломам и зонам трещиноватости. Следовательно, по аналогии с абиссальной котловиной Тускарора [2-5] приходим к выводу, что тонкий (0,1-0,3 с) контрастный горизонт с финальными траппами олигоцена (опаковый слой или толща **В** в кровле акустического фундамента) в его основании венчает мощный подстилающий, осадочно-трапповый разрез рифея–мезопалеозоя, в верхней части – преимущественно полупрозрачный карбонатный (толща **А** на рис. 3а-и).

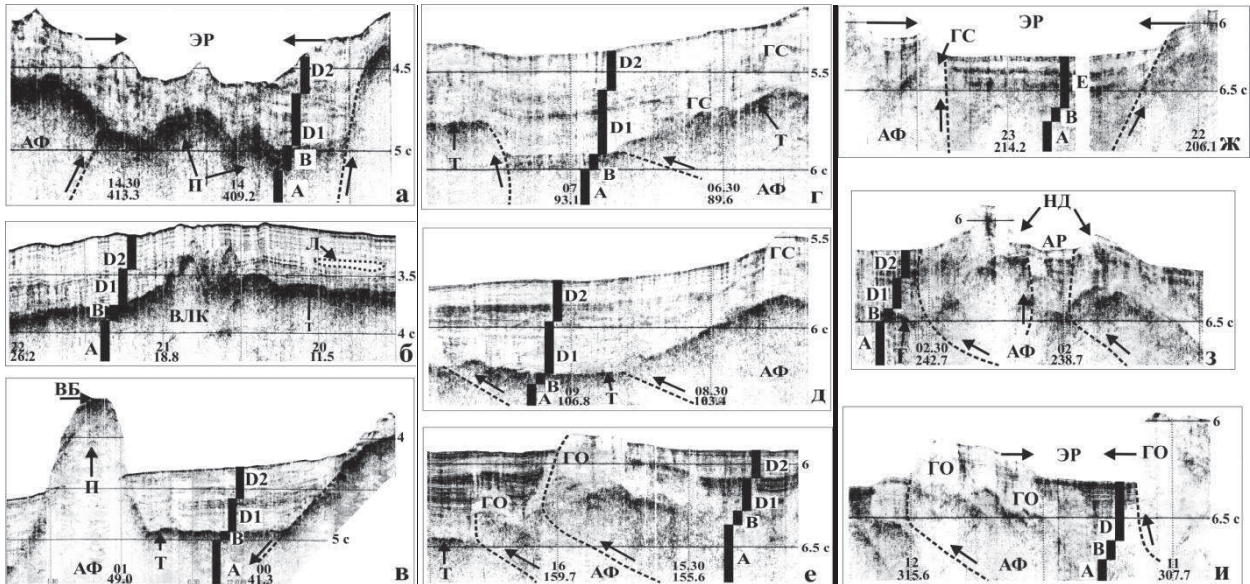


Рис. 3а-и. Фрагменты профилей НСП 124, 125. **Т** – финальные траппы, **ГО** – газовое окно, **НД** – намывная дамба. Стратиграфия придонного разреза по аналогии с абиссальной котловиной Тускарора [3, 5].

Западно-Каролинская котловина является самой мелкой (4500-5500 м) и небольшой по размерам (до 1000 км) из котловин ложа СЗ и ЮЗ Пацифики [9]. Судя по рис. 1 она является замкнутой депрессионной ячейкой, ограниченной горными системами и местами – желобами. На профиле 124 в строении ложа котловины выделим тектоническую гофрировку фундамента (контрастный горизонт) и кайнозойского чехла, нарастающую с удалением от вала Эаурипик и с одновременным углублением Западно-Каролинской котловины (рис. 2). Последнее ранее было замечено в строении внешнего, океанического склона Курильского желоба и связывалось с гравитационным сползанием слоев 1-4 с краевого вала Зенкевича [2, 8]. Поэтому наклонные контрастные границы в кровле фундамента интерпретируются как надвиги восточного падения, нередко с крутыми передовыми фасадами (взбросы и/или цилиндрические разломы, следуя Е. Хиллсу; рис. 2, 3е-и), связанные с коровым срывом к западу (вероятно гравитационным [2]). Вертикальные смещения по разломам обычно не превышают 500 м. С учетом данных скв. 62, 63 (рис. 1; [10, 11, 15]) контрастный горизонт в подошве кайнозойского чехла рассматривается как опаковый слой с финальными траппами олигоцена (толща **В**). Другой важной особенностью Западно-Каролинской котловины является неодинаковый сейсмический имидж осадочного чехла и заметные вариации его мощности (рис. 2, 3д-и). Так, вблизи вала обнаружена крупная линза горизонтально-слоистых контрастных осадков (турбидиты), залегающая на полупрозрачных осадках вероятно карбонатного состава общей мощностью до 600 м (рис. 3д, е). В грабене на рис. 3ж чехол имеет аномальное строение с толщей **Е** (переслаивание контрастных и прозрачных слоев), без корреляции с прилегающими участками ложа. К западу от грабена контрастные осадки распространены фрагментарно, в основном, в тектонических депрессиях, занятых

подводными руслами, нередко обвалованных намывными дамбами (рис. 3з, и). Следовательно, налицо недавний снос терригенных и возможно вулканогенных осадков в Западно-Каролинскую котловину, т.е. денудация палеосуши в ее горном обрамлении. В качестве таковой можно предполагать палеосушу на юге (Новогвинейская островная дуга) с учетом результатов датирования тихоокеанских желобов (средний плейстоцен [7]) и геологии смежных подводных поднятий [9, 11, 15]. Отметим отчетливую субвертикальную «нарезку» кайнозойского чехла котловины, осложненную газовыми окнами, столбами, конусами, «нитями», особенно вдоль передовых фасов тектонических чешуй. Т.о., здесь, как в котловине Тускарора [3] и вале Эаурипик, наблюдается региональная газонасыщенность видимого разреза и преимущественно вертикальная миграция газа по разломам и зонам трещиноватости. Следовательно, тонкий (0,1-0,2 с) контрастный горизонт с финальными траппами олигоцена (опаковый слой или толща **В** в кровле фундамента) венчает мощный осадочно-трапповый разрез мезопалеозоя, возможно до рифея включительно [4], в верхней части – преимущественно прозрачный, карбонатный (толща **А** на рис. 3а-и).

Итак, на западе Каролинской океанической плиты обнаружены новые черты в строении (коровый срыв к западу, региональная газонасыщенность акустического фундамента и кайнозойского чехла) и истории геологического развития, открывающие новые горизонты и объекты в геолого-геофизических исследованиях юго-запада и других регионов ложа Пацифики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карп Б.Я., Медведев С.Н. Геологическое развитие поднятия Эаурипик и желоба Муссау в кайнозое: результаты интерпретации сейсмических данных // Тихоокеанская геология. 1993. № 6. С. 3-12.
2. Ломтев В.Л. К строению ложа Северо-Западной Пацифики // Уральский геофизический вестник, г. Екатеринбург, № 1(16), 2010. С. 21-32.
3. Ломтев В.Л. Признаки газонасыщенности мезокайнозойского чехла ложа Северо-Западной Пацифики // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2013. № 3. С. 11-17.
4. Ломтев В.Л. Особенности строения Северо-Западной плиты Пацифики на профиле МОГТ 1 // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2016. № 1. С. 37-47.
5. Ломтев В.Л. Особенности строения и история формирования ложа северо-западной части Тихого океана // Геоморфология. 2016. № 2. С. 59-71.
6. Ломтев В.Л. Абиссальные холмы северо-западной части Тихого океана // Геоморфология. 2016. № 2. С. 72-84.
7. Ломтев В.Л., Патрикеев В.Н. О четвертичном возрасте тихоокеанских желобов // Геоморфология. 1988. № 4. С. 55-63.
8. Ломтев В.Л., Патрикеев В.Н. Структуры сжатия в Курильском и Японском желобах. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1985. 141 с.
9. Удинцев Г.Б. Геоморфология и тектоника дна Тихого океана. М.: Наука, 1972. 394 с.
10. Пушаровский Ю.М., Разницын Ю.Н. Тектоника Каролинской океанической ступени (юго-запад Тихого океана) // Геотектоника. 1986. № 6. С. 40-54.
11. Рудич Е.М. Расширяющиеся океаны: факты и гипотезы. М.: Недра, 1984. 251 с.
12. Хосино М. Морская геология. М.: Недра, 1986. 432 с.
13. Bracey D.R. Reconnaissance geophysical survey of the Caroline basin // Geol. Soc. Amer. Bull. 1975. Vol. 86. No 6. P. 775-784.
14. Den N., Ludwig W.J., Murauchi S. et al. Sediments and structure of the Eauripik-New Guinea rise // J. Geophys. Res. 1971. Vol. 76. No 20. P. 4711-4723.
15. Winterer E.L., Riedel W.R., Brönniman P. et al. Initial Reports of the DSDP. Vol. 7. Washington, D.C., U.S. Govt. Printing Office, 1971. 1757 p.

УДК 550.834:551.24(265)

АЛЛОХТОННАЯ КОРА ПОД ЯПОНСКИМ И ОХОТСКИМ МОРЯМИ*Ломтев Владимир Леонидович**e-mail: v.lomtev@imgg.ru**Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия*

Аннотация. По данным НСП, МОГТ, бурения и сейсмологии рассматриваются признаки аллохтонной коры под Японским и Охотским морями и ее срыв к востоку. Среди них: покровное строение тихоокеанских склонов Хонсю и Курильской островных дуг (тектонопара «региональный шарьяж–аккреционная призма»), мелкофокусная, преимущественно коровая, сейсмичность, строение северного фланга зоны Беньофа и др.

ALLOCHTHONOUS CRUST UNDER THE JAPAN AND OKHOTSK SEAS*Vladimir Lomtev**e-mail: v.lomtev@imgg.ru**Institute of marine geology and geophysics FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia*

Summary. Signs of allochthonous crust under Japan & Okhotsk seas and here glide to the east are examined from seismic (SCP, CDP), drilling and seismology data. Among them: nappe structure of Pacific slopes of the Honshu & Kuril island arcs (tectonopiar “regional nappe–accretionary prism”), shallow, mainly crustal, seismicity, structure of northern flank of Benioff zone and others.

Японское окраинное море. В плане впадина Японского моря располагается в висячем крыле глубинного надвига зоны Беньофа (рис. 1; [7]). По данным ГСЗ здесь традиционно предполагали нормальное, без срыва, залегание земной коры на мантии [9]. Однако давно накапливаются данные о мобильности коры этого региона. Среди них выделим материалы по мелкофокусной, в основном коровой, сейсмичности Японо-Сахалинской островной дуги и смежных регионов Восточной Азии (рис. 1; [1, 3, 6-8]), преднеогеновой активной окраине складчатого Сихотэ-Алиня с фронтальным взбросо-надвигом и компенсированным палеогеновым краевым прогибом [2, 7; и др.], контрастному (>5-10 км) рельефу докайнозойских пород акустического фундамента Японского моря [9], дискордантности Сахалина сейсмоизобатам курильской секции зоны Беньофа [1] и изгибу Японо-Сахалинской дуги к востоку [11], свидетельствующие о несоответствии структурных планов коры и подкоровой мантии, связанном вероятно со срывом коры к востоку. О последнем говорит и региональное смещение к востоку GPS-пунктов между Байкалом и о-вом Хонсю после мегаземлетрясения и цунами Тохоку 11.03.2011 г. [12].

Отдельно остановимся на покровном строении тихоокеанского склона СВ Хонсю на широтных глубинных разрезах МОГТ (тектонопара «региональный шарьяж–аккреционная призма»; рис. 2), поскольку оно надежно фиксирует надвигание дуги Хонсю на ложе Пацифики в среднем плейстоцене-голоцене [4, 5]. Ключевым элементом тектонопары является шарьяж Ойасио (рис. 1). Он имеет клиновидную форму и располагается на выходе зоны Беньофа (рис. 1, 2). Его слагают докайнозойские породы фундамента мощностью более 8 км. Шарьяж формирует среднюю, ступенчатую часть тихоокеанского склона дуги Хонсю и надвинут на клин низкоскоростных дислоцированных пород кайнозойского чехла (аккреционная призма), слагающий его нижнюю часть или внутренний борт Японского желоба. Его сместитель выделяется на профилях МОГТ благодаря заметному (>1-2 км/с) скачку скорости распространения продольных волн и акустической жесткости. По данным глубоководного бурения «Гл. Челленджера» опорные отражающие границы в кровле фундамента аллохтона и автохтона (СЗ плита) изохронны, т.к. сложены породами позднего

мела. Таким образом, налицо сдвигание акустического фундамента и кайнозойского чехла (тектонопара) во фронте дуги Хонсю. Предполагаемая мощность шарьяжа достигает в его корне 10-20 км. Его видимое смещение к востоку составляет 30-40 км, а с учетом покровного баланса осадков – 90 ± 5 км. Возраст тектонопары и смежного рампового желоба составляет 0.5-1 млн лет (средний плейстоцен или начало пасаденской глобальной орогении по Г. Штилле [4]). Он определен по комплексу независимых признаков, включая проградацию глубоководных конусов выноса каньонов на ложе СЗ Пацифики.

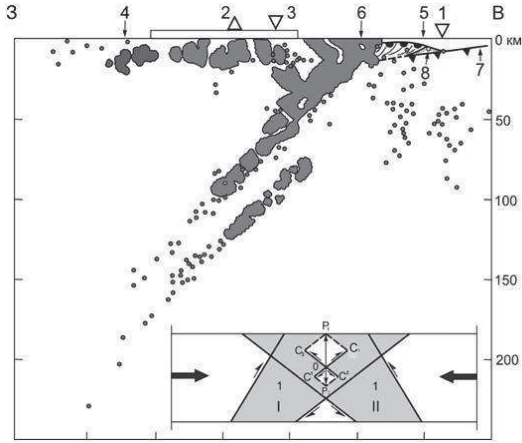


Рис. 1. Совмещенный разрез встречных фокальных зон и профиля МОГТ JNOC2: 1 - фронт аккреции, 2 - вулканический фронт, 3 - асейсмичный фронт, 4 - фронт шарьяжа Ойасио, 6 - корень шарьяжа и тепловой минимум по С. Уэда; 7 - подвижный автохтон (СЗ плита Пацифики); 8 - аккреционная призма. Черные точки и их рои: микроземлетрясения. На врезке: комбинированная модель очага землетрясения фокального ромба (O); C_1C^1 , C_2C^2 - надвиговые составляющие, ориентированные вдоль зон Беньофа (I) и Тараканова (II) соответственно. Тонкие стрелки показывают смещения в очагах землетрясений верхних фокальных плоскостей зон I и II [7], жирные стрелки - региональное боковое сжатие в коре и подстилающей мантии.

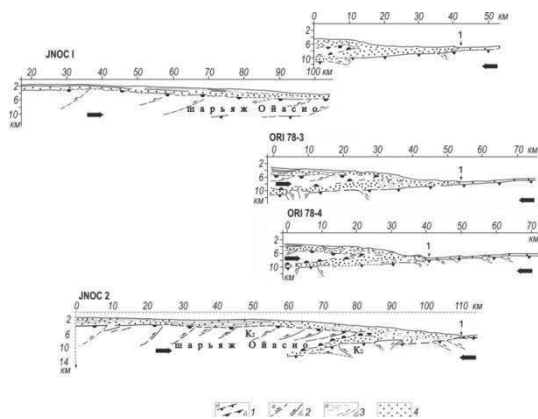


Рис. 2. Широтные глубинные разрезы МОГТ JNOC1,2 и ORI78-3,4 в полосе геотраверза «Гл. Челленджера» на севере Японского желоба [7]. Их положение и временные разрезы см. в [11]. Вертикальный и горизонтальный масштаб в км. 1 - кровля акустического фундамента автохтона (СЗ плита) и аллохтона (шарьяж Ойасио); 2 - разломы сжатия предполагаемые (а) и установленные (б); 3 - отражающие площадки, связанные с линзами турбидитов (а) или сместителями надвигов в аккреционной призме (б); 4 - аккреционная призма (сгущение точек) и кайнозойский чехол тихоокеанского склона дуги Хонсю и автохтона. Пунктиры со стрелкой - разломы акустического фундамента и направление смещения по ним; жирная стрелка - направление смещения шарьяжа Ойасио.

Надвигание дуги Хонсю по глубинному надвигу зоны Беньофа сопровождается землетрясениями, вулканизмом, цунами, иногда катастрофическими (11.03.2011 г.). Его следствия: 1) асимметричное опускание автохтона (СЗ плита) под литостатической нагрузкой тектонопары «шарьяж–призма» и формирование рампового желоба в обстановке бокового сжатия коры и верхней мантии; 2) тектонический срез и аккреция чешуй кайнозойского чехла перед и под шарьяжем Ойасио при его движении по восстанию кровли автохтона (СЗ плита); 3) земная кора под дугой Хонсю и Японским морем сорвана с основания (площадной аллохтон) к востоку в связи с отсутствием продольного компенсационного раздвига параллельного Японскому желобу и сопоставимых с ним размеров [9; и др.].

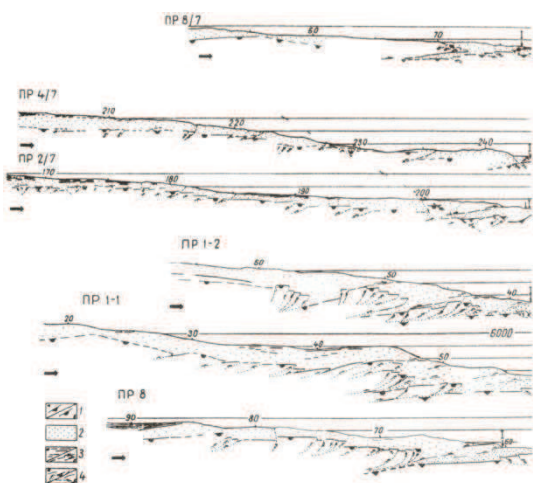


Рис. 3. Глубинные разрезы НСП (ПР 8/7, 6/7, 4/7, 2/7, 2, 3, 4, 7, 8) и МОГТ (ПР 1-1, 1-0, 1-2) через внутренний борт Курильского желоба в масштабе 1:1 [5]. Вертикальный и горизонтальный масштабы в км. 1 – кровля акустического фундамента внешнего (а) и внутреннего (б) склонов желоба; 2 – прозрачный слой (кайнозойский чехол и аккреционная призма); 3 – отражающие площадки в прозрачном слое: а - линзы слоистых осадков (турбидиты), б – разломы призмы; 4 – разломы фундамента установленные (а) и предполагаемые (б). Цифра 1 на разрезах – фронт аккреции.

Охотское окраинное море. В плане впадина Охотского моря в основном располагается в висячем крыле глубинного надвига зоны Беньофа ([1, 7]). По данным ГСЗ и КМПВ здесь традиционно фиксировали нормальное, без срыва, залегание земной коры на мантии [10; и др.]. Вместе с тем накапливаются данные о мобильности коры этого региона. Среди них выделим материалы по мелкофокусной (в основном коровой) сейсмичности Охотского моря и его горно-равнинного обрамления [1, 7; и мн. др.]), дискордантность Сахалина сейсмоизобатам курильской секции зоны Беньофа [1], вызванная несоответствием структурных планов коры и подкорковой мантии и возможно связанная со срывом коры к востоку. Отдельно остановимся на покровном строении тихоокеанского склона Курильской дуги на широтных глубинных разрезах НСП и МОГТ (тектонопара «региональный шарьяж–аккреционная призма»; рис. 3), поскольку оно надежно фиксирует надвигание Курильской дуги на ложе Пацифики в среднем плейстоцене-голоцене [4], а также на строении северного (камчатского) фланга зоны Беньофа.

Ключевым элементом тектонопары является шарьяж Пегаса (рис. 3). Он имеет клиновидную форму, но местами и более сложное строение (пакет тектонических пластин) и располагается на выходе фокальной зоны Беньофа [1, 5; и др.]. Шарьяж слагают докайнозойские породы фундамента, драпированные кайнозойским чехлом. Он формирует среднюю, ступенчатую часть тихоокеанского склона Курильской дуги и полого надвинут на клин низкоскоростных и дислоцированных кайнозойских пород аккреционной призмы мощностью 2-3 км и шириной 10-13 км (см. профили МОГТ 1700 и 1639 ОАО «Дальморнефтегеофизика» в [10]). Призма слагает нижнюю часть тихоокеанского склона или внутренний борт желоба. Она имеет надвиговую структуру и входит в покровную тектонопару «шарьяж–призма» во фронте Курильской дуги (рис. 1). Видимая мощность шарьяжа Пегаса на этих профилях достигает 5-6 км, предполагаемая мощность в его корне ~15 км. Таким образом, его видимое смещение по горизонтали на профилях МОГТ 1700 и 1639 составляет 20-25 км, а общее ~80 и 100 км соответственно. Возраст тектонопары и сопряженного с ней рампового желоба составляет 0.5–1 млн лет [4]. Он определен по ряду независимых признаков, включая разрыв единой долинной сети каньонов и абиссальных долин ложа СЗ Пацифики. Надвигание Курильской дуги по глубинному надвику зоны Беньофа сопровождаются землетрясениями, вулканизмом, цунами. Его следствия: 1) асимметричное опускание автохтона под литостатической нагрузкой тектонопары и формирование рампового желоба в обстановке бокового сжатия коры и верхней мантии; 2) тектонический срез и аккреция чешуй кайнозойского чехла перед и под шарьяжем Пегаса при движении по восстанию кровли автохтона, что актуально для аккреционных зон желобов и горно-складчатых областей Дальнего Востока; 3) срыв коры с основания под Курильской дугой и Охотским морем (площадной аллохтон) в связи с отсутствием в их структуре продольного компенсационного раздвига (рифта) сопоставимых с шарьяжем Пегаса размеров [1, 10].

Строение северного фланга зоны Беньофа. В [8] представлены новые данные по геометрии северного (камчатского) фланга зоны Беньофа. Они основаны на распределении слабых (магнитуда < 4 , $K_s = 8-10$) землетрясений, зарегистрированных в 1962-2004 гг. и определенных с точностью $\pm 5-10$ км. Всего построено 17 поперечных и 6 продольных (А-Е) разрезов. На рис. 4 представлены фрагмент схемы расположения и три продольных разреза А-В между вулканическим фронтом и тихоокеанской окраиной Камчатки. На разрезах 1-17 зона Беньофа – это наклонный ($40-50^\circ$) клин (дерево разлома) до глубин ~ 200 км, в котором местами намечается расслоение на два фокальных слоя (сравни с рис. 1).

Ключевой интерес имеет подъем зоны Беньофа к поверхности на севере Камчатки между ее вулканическим фронтом и тихоокеанской окраиной в районе мысов Камчатский и Африка. Наклон зоны на разрезах А и Б достигает 39° , что близко ее падению на самых пологих разрезах 16 и 17. На разрезе В наклон фокальной зоны достигает 29° и она сливается с коровой сейсмичностью, поэтому ее падение определяется по подошве. Подъем зоны Беньофа на севере Камчатки фиксирует северный край глубинного, сейсмо- и магмоактивного надвига Евразии на ложе Пацифики, формирующий системы дуга-желоб и их изгиб к востоку. Заметим, что отсутствие раздвигов шириной 80-100 км и глубиной 10-20 км на батиметрических картах фронтальных дуг и окраинных морей Дальнего Востока указывает на аллохтонное залегание земной коры, связанное с ее срывом по мантии к востоку в кайнозое и, следовательно, надвиговое строение тихоокеанской окраины Евразии.

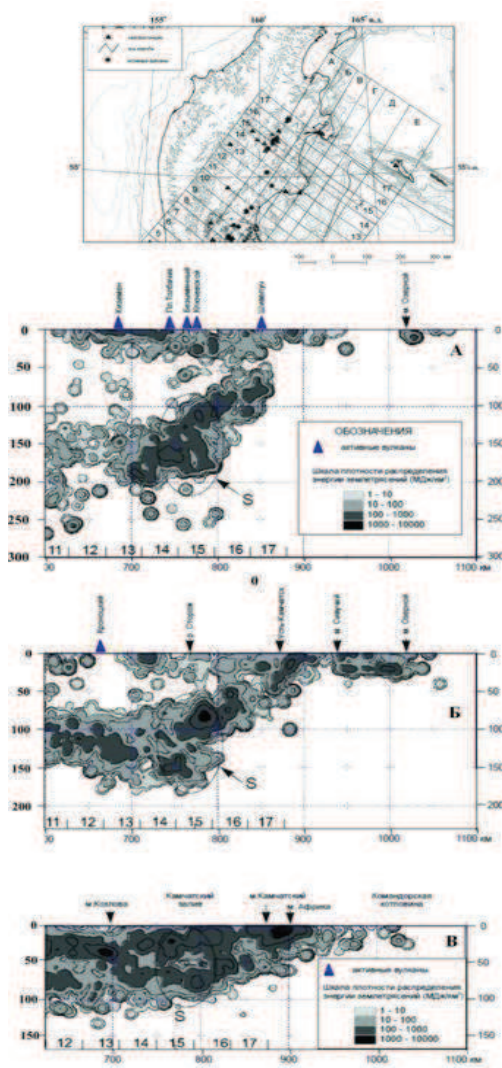


Рис. 4. Фрагмент схемы расположения и продольные разрезы А-В плотности распределения энергии слабых ($8 \leq K_s \leq 10$) землетрясений [8]. S – область повышенной сейсмичности на глубинах 120-180 км.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геолого-геофизический атлас Курильской островной системы . Л.: ВСЕГЕИ, 1987. 36 л.
2. Ломтев В.Л. Признаки газоносности и строение кайнозойского чехла на западном борту Северо-Татарского трога (Японское море) // Глубинная нефть. 2014. Т. 2, № 2. С. 220-237.
3. Ломтев В.Л., Жердева О.А. К сейсмотектонике Сахалина: новые подходы // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2015. № 3. С. 56-68.
4. Ломтев В.Л., Патрикеев В.Н. О четвертичном возрасте тихоокеанских желобов // Геоморфология. 1988. № 4. С. 55-63.
5. Ломтев В.Л., Патрикеев В.Н. Структуры сжатия в Курильском и Японском желобах. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1985. 141 с.
6. Оскорбин Л.С., Бобков А.О. Макросейсмическое проявление землетрясений на территории южной части Дальнего Востока // Проблемы сейсмической опасности Дальневосточного региона. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. С. 45-74.
7. Особенности строения и геодинамики тектоносферы северо-западной части Тихого океана и дальневосточных морей. Владивосток: Дальнаука, 2016. 148 с.
8. Селиверстов Н.И. Структура сейсмофокальной зоны Камчатки // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2007. № 1. Вып. № 9. С. 10-26.
9. Сигова К.И. Соотношение приповерхностных и глубинных структур земной коры впадины Японского моря. Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. 112 с.
10. Тектоника и углеводородный потенциал Охотского моря. Владивосток: ДВО РАН, 2004. 160 с.
11. Initial Reports of the DSDP. Washington, 1980. Vol. 56, 57. Pt. 1. 629 p.
12. Shestakov N.V., Takahashi H., Ohzono M. et al. Analysis of the far-field crustal displacements caused by the 2011 Great Tohoku earthquake inferred from continuous GPS observations // Tectonophysics. 2012, 524-525. P. 76-86. doi: 10.1016/j.tecto.2011.12.019.

УДК 551.24.; 551.432

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ НОВЕЙШИХ СТРУКТУР В ПРЕДЕЛАХ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ И НА СМЕЖНОЙ ТЕРРИТОРИИ

*Макарова Наталия Валентиновна¹, Makeev Владимир Михайлович²,
Дорожко Анастасия Леонидовна², Суханова Татьяна Владимировна¹,
Коробова Ирина Валерьевна², Бондарь Иван Владимирович¹.*

¹ e-mail: makarovanat@yandex.ru,

² e-mail: vmakeev@mail.ru,

¹МГУ им. Ломоносова, геологический ф-т; Россия, Москва,

²Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН; Россия, Москва,

Аннотация. Рассматриваются геодинамические условия формирования неотектонических структур окраинной части Восточно-Европейской платформы и Североуральского поднятия. Установлено, что образование Соликамского поднятия и его структур, расположенных в пределах ВКМКС, связано с разными по происхождению полями напряжений. В качестве регионального поля напряжений рассматривается латеральное СЗ-ЮВ сжатие (фенноскандинавское поле напряжений) и сжатие, ориентированное субвертикально (верхнекамское поле напряжений). Происхождение локального поля напряжений отвечает процессам галокинеза.

GEODYNAMIC CONDITIONS FOR THE FORMATION OF NEW STRUCTURES WITHIN THE VERKHNEKAMSK DEPOSIT OF POTASSIUM SALTS AND IN THE ADJACENT TERRITORY

*Natalia Makarova¹, Vladimir Makeev², Anastasia Dorozhko², Tatyana Sukhanova¹,
Irina Korobova², Ivan Bondar¹*

¹ e-mail: makarovanat@yandex.ru,

² e-mail: vmakeev@mail.ru,

¹MGU, Faculty of Geology, Moscow, Russia,

²Sergeev Institut of Environmental Geoscience RAS. Moscow, Russia

Summary. Geodynamic conditions for the formation of neotectonic structures of the marginal part of the East European Platform and the Severouralsk Uplift are considered. It is established that the formation of the Solikamsky uplift and its structures located within the Verkhnekamsk deposits of potassium salts is associated with different stress fields. The lateral NW-SE compression (Fennoscandian stress field) and the compression oriented subvertically (the Upper Kama stress field) are considered as a regional stress field. The origin of the local stress field corresponds to the processes of halokinesis.

Верхнекамское месторождение калийных солей (ВКМКС) находится в Пермском крае на западном склоне Среднего Урала. Внутренняя структура соляной толщи была сформирована в герцинское время в связи с орогенезом Урала. В новейшей структуре здесь выделено субмеридиональное Соликамское поднятие [3]. Согласованность его простирания, как и других неотектонических прогибов и поднятий, развитых восточнее, с новейшим поднятием Среднего Урала позволяет многим исследователям связывать его происхождение с уральским полем субширотных напряжений сжатия. Однако внутренняя структура Соликамского поднятия позволяет предположить и другие источники напряжений при его формировании [2].

В этой связи нами предпринята попытка определить геодинамические условия формирования новейших структур территории, на которой ведется добыча калийных солей,

включая возможное влияние этих условий на безопасную их разработку. В качестве таковых традиционно рассматриваются уральское поле напряжений и другие, которые могут наводиться с северо-запада со стороны Восточно-Европейской платформы. Также анализируется относительно автономная подвижность солей и ее выраженность в рельефе. В данном аспекте проблем рассматривается строение и влияние древних, главным образом, герцинских структур на формирование новейших структурных форм.

Комплексные структурно-геоморфологические и структурно-геодинамические исследования детального и регионального масштаба были проведены 1) в пределах территории ВКМКС и 2) на прилегающей к ней территории, охватывающей часть Волго-Уральской платформенной антеклизы и Уральское горно-складчатое сооружение.

1. В ходе исследований было установлено следующее.

На рассматриваемой территории выделяются три области (условно блока), отличающиеся неотектоническими структурными планами: Северная, Центральная и Южная [Макеев и др. 2016]. Границами областей являются субширотные структурные зоны: отрицательная Усолкинская, к которой приурочен широтный участок р. Усолки, и положительная Дуринская, представляющая собой валообразное поднятие. Для Северной области характерны новейшие купольные и линейные структуры. В Центральной области преобладают изометричные структуры. Это купола различных размеров, выраженные в рельефе, имеющие радиально-концентрическое строение, подчеркиваемое развитыми на их склонах разновозрастными поверхностями выравнивания и террасами. Большинство куполов образовалось в плиоцен-эоплейстоценовое время. Купола образуют кольцевой вал вокруг срединного поднятия, имеющего наклон к северу. Для Южной области характерны линейные СВ простирания относительно широкие поднятия и разделяющие их узкие прогибы. Поднятия имеют западную асимметрию, общий наклон и снижение абсолютной высоты к югу в соответствии с наклоном кровли соляной толщи. Исключением является Березовское купольное поднятие, частично наследующее древний купол. Различие типов новейших структур трех областей, предположительно, связано с мощностью соляной толщи. В Центральной области ее мощность наибольшая, в связи с этим здесь развиты купольные структуры. В Северной и Южной областях мощность линзы меньше, поэтому здесь преобладают линейные структуры.

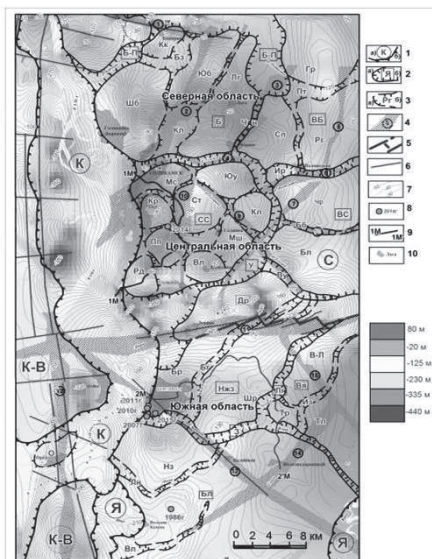


Рис. 1. Новейшие структуры территории Верхнекамского месторождения калийных солей и рельеф кровли соляных раннепермских отложений

Условные обозначения:

Новейшие структуры: 1 – региональные (буквы в кружках) а) поднятия: К-В - Камско-Вишерское, С – Соликамское; б) прогибы: К – Камский, Я – Яйвинский; 2 – субрегиональные (буквы в прямоугольниках) а) поднятия: Б - Боровское, СС – Собственно-Соликамское, ВБ - Восточно-Боровское, ВС – Восточно-Соликамское, Др – Дуринское, Нжз – Нижнезырянское, Вя – Верхнейайвинское, Бл – Балахонцевское; б) прогибы: Б-П – Боровско-Потымынский, У – Усолкинский, Ир – Иренский, Ву – Верхнеусольский, З – Зырянский, Лг – Легчимский; 3 - локальные: а) поднятия: Кк – Кокоркинское, Шб – Шубинское, Юб – Южно-Боровское, Лг – Логское, Гр – Гребешковское, Сп – Северо-Половодовское, Мс – Малосоликамское, Кр – Коркинское, Пп – Поповское, Вл – Володинское, Рд – Родниковское, Ст – Студенское, Чр – Чуриновское, Бл – Бельское, Кл – Каменнологское, Юу – Южноусольское, О – Орловское, Бр – Березниковское, Шр – Шарановское, В-Л – Восточно-Легчимское, Тр – Троцкое, Тл – Талицкое, Нз – Новозырянское; б) прогибы: Бз – Безьямный, Кл – Клестовский, Пт – Потымынский, Бб – Бубровский, Ир – Иренский, Чрн – Чернореченский, Ву – Верхнеусольский, Бг – Быгельский, Ир – Иренский, Из – Изверский, Лн – Ленвинский; ступени: Миш – Мешалкинская, Рг – Роголинская. 4 – линейные зоны (цифры в кругах): 1 – Боровская, 2 – Клестовская, 3 – Чернореченская, 4 – Усолковская, 5 – Верхнеростовицкая, 6 – Ростовицкая, 7 – Верхнеусольская, 8 – Бубровская, 9 – Селянская, 10 – Батумская, 11 – Дуринская, 12 – Красноуфимская, 13 – Камско-Зырянская, 14 – Волимско-Уньвинская, 15 – Изверско-Легчимская. 5 – новейшие разрывы, ограничивающие южное крыло Дуринского поднятия. 6 – древние разломы и разломные зоны. 7 – изолинии подошвы покровной каменной соли (ПКС). 8 – природно-техногенные провалы и год их образования. 9 – линии разрезов. 10 – населенные пункты. Цветом показаны абс. отметки подошвы ПКС.

По знаку движений и форме соотношение новейших и герцинских структур может быть обратным и прямым. Обратное соотношение относительно древней Соликамской впадины имеют субмеридиональное Соликамское поднятие и некоторые локальные структуры. Прямые соотношения с древними структурами впадины имеют Камский субмеридиональный прогиб, приуроченный к древней Красноуфимской разломной зоне, Боровская и Камско-Зырянская линеаментные зоны, согласные с простираем герцинских разломов, а также многие купольные структуры.

Особой новейшей структурой является Дуринский вал, возникший на месте древней одноименной разломной зоны. По отношению к последней, структура вала является обращенной. Для вала характерны правокулисный ряд локальных складок и разрывов С-В простираения, формирующиеся в условиях праводвиговых напряжений сжатия, что также не согласуется с древней сбросовой зоной, определенной как левый сдвиг [1].

Тип и морфология новейших структур трех областей позволяет предположить участие нескольких источников тектонических напряжений в их образовании, среди которых региональные и локальные, в т.ч. продолжающий играть важную роль галокинез. В герцинское время под действием давления с Урала образовались складки соляной толщи, имеющие западную асимметрию.

Дальнейшее развитие соляных структур могло продолжаться в платформенный этап в мезозое и раннем кайнозое, когда частично денудировалась перекрывающая их толща пород, и соль под влиянием снятия нагрузки могла испытывать восходящие движения. Процессы галокинеза особенно характерны для Центральной области, где купольные структуры формируются при вертикальных движениях, вызванных притоком солей с последующим их ростом и расширением куполов. При этом узкие прогибы, сопряженные с куполами, являются относительно пассивными с точки зрения геодинамической активности.

Строение Дуринского вала предполагает участие косо ориентированного с СЗ на ЮВ напряжения латерального сжатия. Источником его, возможно, является Коми-Пермяцкий устойчиво растущий свод. Влиянию этого же источника, возможно, соответствуют структуры Южной области, имеющие СВ ориентировку, однако, их СЗ асимметрия не совсем согласна с этим направлением. Рост поднятий в южном направлении, о чем свидетельствует морфология долины р. Яйвы (резкое изменение ее направления и огибание всей Южной области), предполагает участие и локальных источников. К ним, возможно, относятся сами изометричные структуры, развивающиеся в пределах центральной части Соликамской впадины. Это Центрально-Соликамская и более восточная структура, под действием которой Дуринский вал имеет южную асимметрию.

Среди линеаментных зон выделяются два типа: протяженные (Боровская, Красноуфимская и др.) и относительно короткие (Клестовская и др.). Первые распространяются далеко за пределы выделенных неотектонических областей и являются транзитными и глубинными. Их образование связывается с косым давлением, наведенным с северо-западной стороны. Вторые ограничиваются размерами областей. Их активность, возможно, контролируется локальными напряжениями сжатия или растяжения, которые могут быть субмеридиональными или субширотными. Менее крупные линеаменты диагонального и ортогонального простираения могут отвечать планетарной трещиноватости и закономерностям развития соляных куполов. Но все линеаменты являются проводящими каналами поверхностных вод вглубь толщи, поэтому должны приниматься во внимание при оценке устойчивости различных участков соляной залежи.

В результате структурно-геодинамических исследований создана крупномасштабная карта новейших структур территории Верхнекамского месторождения калийных солей, которая может быть основой для оценки устойчивости водозащитной толщи и калийных солей. Основной вывод - древние пермские соляные структуры ныне находятся в иных геодинамических условиях, отличных от герцинских. Эти условия определяют современную активность новейших структур, развитие которых определяет устойчивость территории.

2. В ходе региональных структурно-геодинамических исследований на рассматриваемой территории традиционно выделено Среднеуральское субмеридиональное поднятие и впервые выделено Верхнекамское обширное изометричное поднятие (рис. 2). К Центральной его часть, находящаяся в пределах водораздела рек Камы и Вятки (район пос. Рудничный), развивается над локальным изометричным верейским прогибом среднего карбона (абс. отм. -1 400 м). К нему с северо-востока заливообразно проникает мезозойский прогиб. От центра поднятия к периферии распространяются радиально-концентрические зоны, делящие его на секторальные поднятия, которые могут иметь свои центры в виде округлых возвышенностей (верховья рек Веслянки, Косы, Бел. Холуница). Граница Верхнекамского поднятия хорошо трассируется, наследующими ее отрезками рек Вычегда, Сев. Кельтма, Кама, Обва и Лысьва.



Рис. 2. Новейшее структурно-геодинамическое районирование территории краевой части Восточно-Европейской платформы и Среднеуральского поднятия (предварительный вариант).

Условные обозначения:

1 – транзитные протяженные дислокации, 2 – новейшие структуры: Нмс – Немское поднятие (в пределах Тиманского рифей-палеозойских складчатых структур), Клт – Кельтменский прогиб (локализованный в пределах древней Вычегдской впадины или Предтиманского прогиба), Соликамское поднятие (расположенное в пределах Соликамской впадины или Предуральского краевого прогиба), Кжм – Кажимское поднятие, Кдк – Кудымкарское поднятие. Врц – Верещагинское поднятие (расположено в пределах древнего поперечного Краснокамско-Полазненского вала или Пермской вершины), Дпр – Добранско-Верхнетуриинское поднятие (в западной части оно расположено в пределах древней Косьювенско-Чусовской седловины, отвечающей границе Соликамской и Сылвинской впадин). 3 – локальные тектонические линеаменты разной формы: кольцевые а), дугообразные б) и прямолинейные в). Они уточняют строение основных новейших структур их простираение и тенденцию развития. 4 – герцинские и более древние докембрийские структуры. Платформенные структуры: КП – Коми-Пермяцкий свод (поднятия), СЛ – Соликамская впадина (Юрюзанско – Соликамский прогиб), ВВ –

Верхнекамская впадина, ВЗ – Вятская зона дислокаций (Вятский вал, в основании которого находится Казанско-Сергиевский рифейский прогиб); Среднеуральские структуры: Басегско – Каменногорский (Кваркушинский) антиклинорий, Тагильский (Центрально-Уральский) синклиний (в восточной части он сопряжен с Восточно-Уральским антиклинорием, находящимся почти за пределами территории исследования). 5 – реки, 6 – район детальных исследований.

Рассматриваемая территория включает восточную половину Верхнекамского поднятия с Кажимским и Кудымкарским секторами. Последний с востока ограничивается полого выпуклым на восток Камским прогибом, сопряженным с Соликамским поднятием. По простираению вдоль рек Камы и Кельтмы Камский прогиб переходит в Кельтменский прогиб, а вдоль рек Обвы и Лысьвы – в Обвинский прогиб. Соликамское поднятие соответственно переходит в Немское и в Верещагинское поднятия. В западном направлении Соликамское поднятие согласуется по простираению с Камским прогибом и другими структурами Кудымкарского сектора. В восточном направлении это поднятие несогласно сочленяется со смежно расположенными субмеридиональными структурами Северного Урала. Таким образом, Соликамское поднятие, сопряженное с другими структурами формируется под влиянием роста и расширения Верхнекамского изометричного поднятия (см. рис. 2).

Верхнекамское и Среднеуральское крупнейшие поднятия пересекается двумя узкими транзитными протяженными дислокациями северо-восточного простираения, уходящими за пределы рассматриваемой территории. Строение этих дислокаций неоднородно. Дислокация, расположенная на северо-западе, наследуется р. Кама на отрезке от пос. Рудничный до Гайны. Дислокация, находящаяся на юго-востоке, наследуются рр. Лысьва и Обва. В пределах Немского поднятия (Тиманский кряж) и особенно западной границы Уральского поднятия эти дислокации резко переходят в зону сгущения тектонических линеаментов, косо

секущих новейшие и герцинские структуры Тиманского кряжа и Северного Урала. В зоне влияния юго-восточной дислокации находятся Верещагинское поднятие, переходящее в Соликамское поднятие, и Обвинский прогиб, переходящий в Камский прогиб. Между юго-западной и северо-восточной дислокациями в районе городов Соликамск, Березники и Кудымкар развитие получили субширотные правосдвиговые линеаменты, которые следует рассматривать как результат косога сжатия ориентированного в СЗ-ЮВ направлении. Отражением его является и Дуринская субширотная зона кулисообразных правосдвиговых разрывов.

В северо-западном направлении от рассматриваемого района устанавливаются похожие по простиранию дислокации, наследуемые отчасти долинами рек: Сысолы (г. Сыктывкар) и р. Вычегда (г. Котлас.). В юго-восточном направлении за пределы Добрянско-Верхнетуринского поднятия эти дислокации не прослеживаются. Это дает основание связать их развитие с Фенно-Скандинавскими активными деформационными зонами северо-восточного простирания, впервые выделенными В.И. Макаровым. Эти зоны в региональном отношении концентрически опоясывают новейший свод Фенно-Скандинавского щита. Рост этого свода и его смещение в юго-восточном направлении приводит к развитию напряжений сжатия, ориентированных в северо-запад – юго-восточном направлении.

Таким образом, образование Соликамского поднятия и его структур, расположенных в пределах ВКМКС, мы связываем с разными по происхождению полями напряжений. В качестве регионального поля напряжений рассматривается латеральное СЗ-ЮВ сжатие (фенноскандинавское поле напряжений) и сжатие, ориентированное субвертикально (верхнекамское поле напряжений). Происхождение локального поля напряжений связывается с соляной тектоникой, т.е. с галокинезом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей. 2-е изд. М.: Эпсилон Плюс. 2013.
2. Макеев В.М., Мамаев Ю.А., Дорожко А.Л., Макарова Н.В., Суханова Т.В., Коробова И.В. Структурно-геодинамические условия устойчивости территорий калийных рудников к опасным геологическим процессам // Сергеевские чтения. Инженерная геология и геоэкологические фундаментальные проблемы и прикладные задачи. Матер. годичной сессии Научн. Совета РАН. 2016. Вып. 18. С. 638-643.
3. Трифонов В.П. Новейшая тектоника Урала. Геология СССР. Т. 12. Ч. 1. М.: Недра, 1969. С. 205-240.

УДК 551.24.01 (571.61/.64)

СТРОЕНИЕ ЛИТОСФЕРЫ ЮЖНОГО СИХОТЭ-АЛИНЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГРАВИМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Ю.Ф. Манилов

ymanilov@itig.as.khb.ru*Институт тектоники и геофизики им.Ю.А. Косыгина ДВО РАН, Россия, Хабаровск*

Аннотация. Для Южной части Сихотэ-Алинского орогена построена 3D плотностная модель. Полученные из модели плотностные разрезы сопоставлены со скоростными и геолектрическими. Полученная геофизическая информация в сочетании с геологическими данными позволяет выявить особенности глубинного строения литосферы региона.

LITHOSPHERIC STRUCTURE OF THE SOUTHERN SIKHOTE-ALIN BASED ON GRAVITY DATA INTERPRETATION

Yu.F. Manilov

ymanilov@itig.as.khb.ru*Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Khabarovsk*

Summary. A 3D density model is generated for the southern part of the Sikhote-Alin orogen. The modelled density structure has been compared with the corresponding velocity and geoelectric profiles. The obtained geophysical information in combination with geological data allows features of the lithosphere deep structure of the region to be revealed.

Южная часть Сихотэ-Алинского орогенного пояса (САОП) сформировалась в переходной зоне от континента к океану в процессе взаимодействия континентальной литосферы Восточной Азии с Тихоокеанской океанической.

Территория сложена разновозрастными океаническими, окраинноморскими, островодужными и континентальными тектоническими комплексами [1], активные тектонические и магматические процессы внутри которых и на границах между ними происходили на протяжении второй половины палеозоя, в мезозое и первой половине кайнозоя. На северо-западе САОП примыкает к Ханкайскому террейну (фрагменту Амурской плиты) а на юго-востоке перекрывается вулканитами Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса (ВСАВП). Здесь выделяют пять крупных террейнов: позднекембрийский Матвеевско-Нахимовский с Вознесенским и Спасским субтеррейнами, юрский Самарский, меловые Журавлевский, Таухинский и Кемский. Последние два террейна почти полностью перекрыты вулканитами ВСАВП.

Развитие восточной окраины Азии в мезозое-кайнозое проходило в условиях сдвигового геодинамического режима, как следствие латерального смещения Азиатского континента и (или) Тихоокеанской океанической плиты, сформировало в зоне их сочленения Восточно-Азиатскую глобальную сдвиговую зону (ВАГСЗ) [8]. Изучение дизъюнктивной тектоника в пределах рассматриваемого региона осложнено тем, что значительная часть территории перекрыта осадочно-вулканогенными образованиями, под которыми расположение большинства разломов остается дискуссионным. Также имеются серьезные разногласия относительно строения литосферы региона и глубинности заложения основных тектонических нарушений. Часть неопределенностей призвана решить данная работа.

При изучении использованы результаты глубинных сейсмических зондирований (ГСЗ) по профилю г. Спасск-Дальний – бух. Зеркальная [2], близкий к нему по траверсу геолектрический разрез по данным МТЗ и три плотностных разреза, полученных в результате 3D моделирования гравитационного поля. Все профили исследований проходят

вкрест простирания САОП и расположены параллельно друг другу через 50 км. За основу современного положения глубинных разломов взята карта разломов территории Дальнего Востока России [3] составленная по материалам изданных и подготовленных к изданию листов Государственной геологической карты РФ масштаба 1 : 1 000 000 (3-е изд.).

Обработка гравиметрических материалов проводилась по апробированной методике [4]. Основным инструментом обработки информации геопотенциальных полей являлась компьютерная технология «КОСКАД 3D», предназначенная для анализа трехмерной цифровой геоинформации методами вероятностно-статистического подхода [6]. Путем решения обратной задачи была построена плотностная 3D модель, которая впоследствии была скорректирована с учетом сопоставления плотностных разрезов с разрезами ГСЗ и МТЗ.

Согласно полученной модели (Рис.1) литосфера региона делится на два крупных блока Ханкайский и Сихотэ-Алинский. В целом Ханкайский блок более плотный, имеет мантийные корни (около 70км). Сихотэ-Алинский блок имеет меньшую мощность и более дифференцированный. На разрезах видно, что взаимоотношения между меловыми террейнами в значительной степени условные, что демонстрируют и сложная плотностная картина, и имеющиеся геологические данные - в каждом из террейнов содержатся различные по возрасту, происхождению и структурно-формационным характеристикам блоки, глыбы и пластины в аллохтонном залегании (тектонических покровов и олистостромах).

В настоящее время превалирует мнение что границей между древним Ханкайским массивом и Сихотэ-Алинским орогеном проходит по Арсеньевскому разлому (Даубихинская зона). Полученная модель демонстрирует, что наиболее контрастной объемной границей в литосфере региона является Кокшаровская сквозькоровая зона низкой плотности. Зона погружается к востоку и имеет явную связь с мантией. К западу от зоны расположен Ханкайский блок, а к востоку террейны Сихотэ-Алинского орогена. Исходя из глубинной структуры Кокшаровской зоны и соответствующих ей пород на поверхности, она имеет важное значение для магматизма региона - по-видимому является основным, сохранившимся с мезозоя, каналом поступления магматогенного вещества.

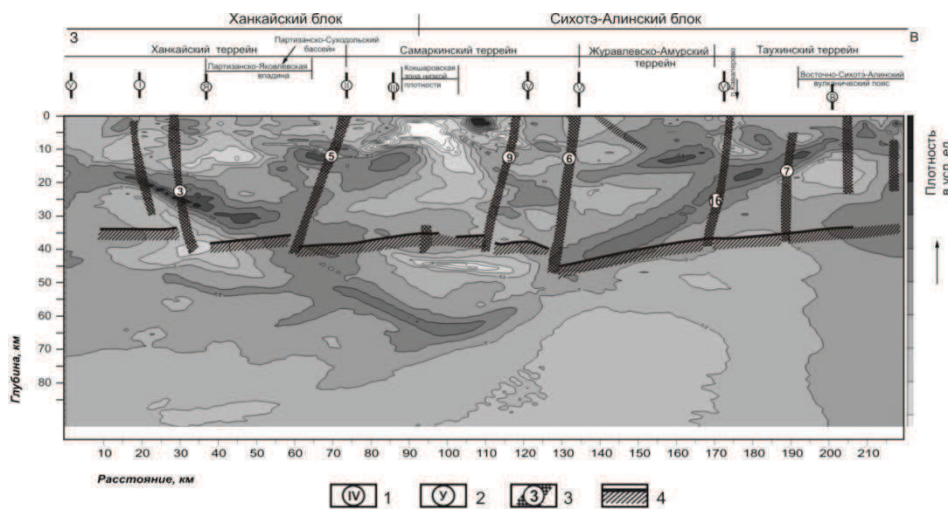


Рис.1. Плотностной разрез по профилю г. Спасск-Дальний – бух. Зеркальная, построенный по результатам 3 D моделирования

I - основные разломы: I - Среднеханкайский, II - Арсеньевский, III - Самаркинский, IV - Меридиональный, V - Центральный Сихотэ-Алинский, VI - Фурмановский, согласно [3]; 2 - второстепенные разломы: У - Уссурийский, по [7], Я - Яковлевский [1], В - Восточный [8]; 3 - зоны глубинных разломов по данным ГСЗ [2]: 3 - Западно-Сихотэ-Алинская, 5 - Даубихинская, 6 - Центральная Сихотэ-Алинская, 7 - Прибрежная, 9 - Фудзино-Иманский сдвиг, 16 – Фурмановская; 4 - поверхность Мохоровичича

В полученной модели обращает на себя внимание крупная область пониженной плотности под Сихотэ-Алинским орогеном, воздымающаяся в земную кору с приближением к границе континента. Ее наличие вполне согласуется с представлениями Мартынова с соавторами [5] о диапиризме в зонах конвергенции литосферных плит. Еще одной важной особенностью литосферы Сихотэ-Алинского орогена является наличие высокоплотной зоны, погружающейся под континент, возможно это граница меловой субдукции. Полученные результаты предварительны и требуют дальнейшего изучения.

Работа выполнена при поддержке гранта ДВО РАН №15-1-2-068

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. / Под ред. А.М. Ханчука - Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. – С.1-572.
2. Глубинное строение Приморья (по данным ГСЗ). М., «Наука», 1976. 92 с.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1 000 000 (третье поколение) L-(52),53; (К-52,53) (оз.Ханка). ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург, 2011.
4. Малышев Ю.Ф., Манилов Ю.Ф., Гурьянов В.А. Глубинное строение восточной части Северо-Азиатского кратона по результатам интерпретации данных геопотенциальных полей // Литосфера. 2014. №2. С.144-151.
5. Мартынов Ю.А., Голозубов В.В., Ханчук А.И. Мантийный диапиризм в зонах конвергенции литосферных плит // Геология и геофизика, 2016. Т.57. №5. С.947-961.
6. Никитин А.А., Петров А.В. Теоретические основы обработки геофизической информации: учебное пособие, 2-е издание. Москва: ООО «Центр информационных технологий в природопользовании», 2010. 114с.
7. Уткин В.П. Сдвиговый структурный парагенезис и его роль в континентальном рифтогенезе восточной окраины Азии // Тихоокеан. геология. 2013. Т.32. №3. С.21-43.
8. Уткин В.П. Восточно-Азиатская глобальная сдвиговая зона, вулканический пояс и окраинные моря // Докл. АН СССР. 1978. Т. 240, № 2. С. 400-403.

УДК 550.838

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ
ДЕФОРМИРОВАНИЯ НЕОДНОРОДНОГО ДИЛАТИРУЮЩЕГО ВКЛЮЧЕНИЯ**

*Мартышко Петр Сергеевич, Пьянков Валентин Александрович, Рублев Алексей Леонидович
e-mail: a.roublev@list.ru
Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия*

Аннотация. Разработаны методы краткосрочного прогнозирования землетрясений и представлены некоторые результаты моделирования процессов разрушения в литосфере. Сформулирована общая научная методология краткосрочного прогнозирования, включающая, по мнению авторов, достаточные условия, увеличивающие вероятность прогноза сейсмического события. Предложена реализация искусственных нейронных сетей для интерпретации вариаций радона.

**THE MODELING OF DYNAMIC FEATURES OF INHOMOGENEOUS DILATANT
INCLUSION DEFORMATION**

*Petr Martyshko, Valentin Pyankov, Alexey Rublev
e-mail: a.roublev@list.ru
Institute of geophysics Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia*

Summary. The connectivity of tectonic events has been introduced and on their base formulized criterion of dilatant zones neighborhood has been proposed. Methodic problems of discrimination of interconnected events with help of artificial neural networks have been considered. A set of test calculations for the earthquakes of Southern California region have been conducted. It has been demonstrated that in the matrix of artificial neural networks all the significant activation periods all of seismic activity occurred in 1984-1990 are reflected. For the California earthquakes of 1984-1990 the chains of interconnected events have been distinguished about some years long, which confirm the migration of low rank events to the site of future strong one.

Введение. Цель наших исследований – построение методологии (включающей в себя модель среды), ключевая идея которой состоит в создании алгоритма для определения вероятности возникновения сейсмического события. Для обеспечения краткосрочного прогноза землетрясений необходимо иметь адекватную модель среды. В нашем случае предлагается многофазная контрастная модель, представляющая собой пористую проницаемую влаго- и газонасыщенную среду с включениями в твердой матрице ураносодержащих минералов. Считаем, что в зоне предполагаемого сейсмического события в период его подготовки развивается неоднородное дилатирующее включение, которое представляет собой набор дилатирующих мезовключений, связанных между собой проницаемыми каналами. Динамика развития каждого дилатирующего включения зависит от соотношения скорости нарастания тектонических напряжений и коэффициентов гидравлической диффузии зоны дилатирующего включения и вмещающих пород. В зависимости от этих соотношений условия на границе дилатирующего включения могут быть как дренажными, так и недренажными. Для недренажных условий в зоне дилатирующего включения возникает участок пониженного давления поровой жидкости, что в случае радоносодержащих пород приводит к увеличению содержания радона в порах за счет явления инжекции. В качестве математической модели динамики такого неоднородного дилатирующего включения мы предлагаем нейронные сети.

Модель неоднородного дилатирующего включения. В настоящей работе предлагается модель динамики тектонических процессов в земной коре на различных

иерархических уровнях, а также взаимосвязь этих уровней между собой. Рассмотрим три взаимодополняющих иерархических уровня, позволяющих адекватно описать динамику земной коры. Первый (нижний иерархический уровень) – многофазная контрастная модель земной коры, представляющая собой пористую проницаемую влаго- и газонасыщенную среду с включениями в твердой матрице ураносодержащих минералов [1]. Третий (высший иерархический уровень) – региональное неоднородное дилатирующее включение в поле переменных тектонических напряжений, динамика которого описывается моделью Райса-Рудницки [2]. Второй иерархический уровень – неоднородное дилатирующее включение заменено кластерами мезовключений, связанных между собой проницаемыми каналами. Мезовключение представляет собой самостоятельный элемент, процесс динамики которого является единичным тектоническим актом. Благодаря взаимосвязи одно тектоническое событие может индуцировать другое или быть триггером многочисленных дальнейших событий. Задача физико-математических описаний взаимосвязи событий трудна и неоднозначна, во всяком случае, в сейсмологической практике. Описание динамики однородного дилатирующего включения по Райсу-Рудницки [2] достаточно сложно, а для неоднородного включения трудности описания его динамики в рамках обычной физической модели многократно сложнее, поскольку мы рассматриваем малые взаимодействующие включения.

Парадигма пространственно-временных точечных процессов особенно удачно подходит для нейросетевого анализа, который ранее был применен нами к вариациям радона и их связи с тектоническими процессами [3]. Этот подход доказал свою полезность при описании пространственно-временной динамики тектонических процессов в Южной Калифорнии. В нашей работе развит продуктивный подход к анализу связанности дилатирующих включений путем описания их взаимодействия при помощи нейронных сетей, которые представляют собой математическую модель динамики развития неоднородного дилатирующего включения.

В то же время в нашей работе с использованием гипотезы о связанности (в физическом смысле) дилатирующих включений осуществлено разложение тектонического процесса на множество последовательных (или параллельных) актов. Каждый из них представляет собой процесс развития дилатирующего мезовключения (модель Райса-Рудницки) с определенными пространственно-временными и энергетическими масштабами. С наших позиций возникающие физические цепочки, связывающие дилатирующие мезовключения, представляют собой пористые каналы с проницаемостью, меняющейся во времени. Таким образом, предложенная модель представляет собой кластер объединенных дилатирующих мезовключений, связанных между собой проницаемыми каналами.

Формализация динамики процессов в неоднородном дилатирующем включении и построение на этой основе нейросетей – шаг вперед к теории прогноза тектонических событий, новый инструмент для анализа нерегулярной структуры тектонического поля в сейсмоопасных регионах. Предлагаемый подход, возможно, приведет к новому объяснению таких устоявшихся понятий как форшоки и афтершоки. Так, например, будем считать как форшоками, так и афтершоками проявление динамических процессов в мезовключениях, хотя ранее считалось, что источниками как форшоков, так и афтершоков является весь объем зоны подготовки землетрясения.

Анализ экспериментальных данных. На примере анализа пространственно-временной картины вариаций концентрации радона мы рассмотрели возможность определения времени тектонических событий. Задачей любого перспективного исследования является определение динамических параметров аномальной зоны земной коры, свойства которой определяют условия возникновения тектонических событий. Интерпретация вариаций радона, как и любого другого физического поля, должна начинаться с ее деления на нормальные и аномальные составляющие.

Мы провели исследование вариаций поля эксхалляции радона из объема горных пород, полученных Чи-Ю Кингом на 12 скважинах в районе разлома Сан-Андреас (Калифорния,

США) в период с 1975 по 1980 годы [4]. В этот период было отмечено 17 сейсмических событий с магнитудой $M > 4$. Для анализа отобраны данные об эксхалации радона, полученные при еженедельном экспонировании трековых детекторов.

На основе анализа пространственно-временной картины поля вариаций концентрации радона в Южной Калифорнии нами исследовано как строение земной коры предполагаемой зоны-индикатора (пересечение разломов Сан-Андреас и Калаверас), так и вероятность определения по этим данным времени тектонического события. Задачей любого предвестникового исследования является определение динамических параметров исследуемой аномальной зоны земной коры, которые определяют условия возникновения тектонического события. Для создания системы прогноза землетрясений необходимо иметь адекватную как статическую, так и динамическую модели земной коры. С этой целью нами предложена модель неоднородного дилатирующего включения (рис. 1). Она представляет собой объем, заполненный кластерами дилатирующих мезовключений, связанных между собой каналами с меняющейся во времени проницаемостью.

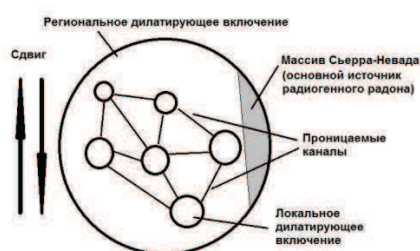


Рис. 1. Неоднородное дилатирующее включение.

Докажем разумность предложенной гипотетической модели на основе анализа экспериментального материала. На рисунке 2 представлена пространственно-временная картина вариаций концентрации радона на двух пересекающихся профилях наблюдений. Из анализа картины вариаций вытекает два очевидных заключения:

1. Зоны максимумов вариаций концентрации радона не меняют свое пространственное местоположение.
2. Амплитуды вариаций концентрации радона во времени меняются более чем на порядок.

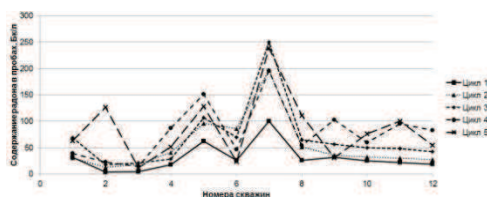


Рис. 2. Пространственно-временное распределение вариаций радона по данным King Chi-Yu, 1980.

Поскольку концентрации радиогенных элементов типа радия-226 в точках наблюдений практически неизменны (за исключением долгопериодного процесса распада), то можно предположить, что временные вариации концентрации радона связаны с процессами переноса газа в активной среде. Неизменность положения экстремумов вариаций концентрации радона в пространстве позволяет предположить, что в этих зонах в земной коре располагаются источники (стоки), контролирующие процесс перераспределения радона в пространстве. Остается подтвердить наличие еще одного элемента (элементов), который является неотъемлемой частью модели неоднородного дилатирующего включения. Это проницаемые каналы, связывающие дилатирующие мезовключения. Их наличие подтверждено в результате анализа длиннопериодных вариаций концентрации радона (рис. 3). На этом рисунке показана динамика вариаций концентрации радона за период более 4 лет. Из анализа представленного материала следует, что, по-видимому, имеет место система

взаимосвязанных источников (стоков), т.е. доказано наличие и связующих проницаемых каналов. Таким образом, по-видимому, в земной коре в зоне пересечения разломов Сан-Андреас и Калаверас в Южной Калифорнии функционирует неоднородное проницаемое дилатирующее включение, каждый элемент которого подчиняется закономерностям, описываемым моделью Райса-Рудницки [2], и реагирует на изменение динамической обстановки исследуемого региона.

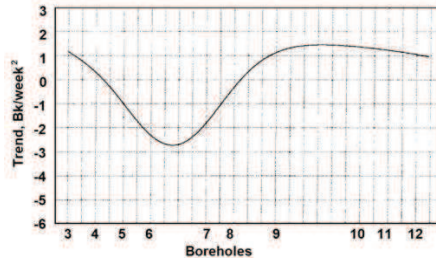


Рис. 3. Длиннопериодные вариации концентрации радона в зоне пересечения разломов Сан-Андреас и Калаверас по данным King Chi-Yu, 1980.

Мы рассматриваем как форшоки, так и афтершоки как проявление динамических процессов в мезовключениях, хотя ранее считалось, что их источниками является весь объем зоны подготовки землетрясения. Формализация динамики процессов в неоднородном дилатирующем включении и построение на этой основе искусственных нейронных сетей является шагом вперед к теории прогнозирования тектонических событий, новому инструменту для анализа нерегулярной структуры тектонического поля в сейсмически опасных регионах. Возможно, предложенный подход приведет к новому объяснению таких установленных понятий, как форшоки и афтершоки.

Ранее мы сформулировали принципы искусственного интеллекта для автоматического прогнозирования времени и места землетрясения [1, 3].

Поскольку в исследуемом массиве радий-226 (источник радона-222) распределен произвольно, то следует ожидать, что в этом случае изменения поля радона будут распределены нормально. Для анализа ситуации применяются искусственные нейронные сети. Для моделирования нейронной сети мы применили информационный интерфейс с программным обеспечением универсального анализа STATISTICA Neural Networks. Это позволяет эффективно решать проблему с помощью сетей различного типа: однослойных и многослойных персептронов.

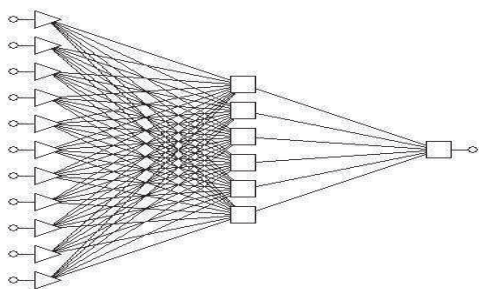


Рис. 4. Трехслойный персептрон.

Мы провели анализ связей между переменными (вариациями эксхалляции радона) с использованием искусственных нейронных сетей. В исходной матрице данных (изменяющейся в «реальном времени») строки представляют собой пространственные переменные, а столбцы вариаций изменяются во времени. Мы выбрали из множества возможных вариантов трехслойный персептрон с 6 нейронами в промежуточном слое. Анализ результатов показал высокие коэффициенты корреляции и приемлемые значения ошибок. На рисунке 4 показан типичный вид персептрона, полученный в ходе ожидаемого процесса релаксации тектонических напряжений.

При изучении матрицы переменных в «реальном времени» за неделю до землетрясения формируется перцептрон с независимыми переменными. Т.е. в это время в каждой точке наблюдения будут происходить только процессы радиоактивного распада радия-226 и эксхалиции радона-222. Поэтому в каждой точке наблюдения количество эманации зависит от содержания радия-226 и не зависит от перераспределения радона между точками наблюдения. Таким образом, с помощью нейронных сетей моделируются сложные динамические процессы, которые действуют в неоднородном дилатирующем включении.

Мы создали методику распознавания ситуации, которая возникает в любое время в непосредственной близости от изучаемого землетрясения. При приближении к тектоническим событиям наблюдаемая пространственно-временная картина изменений поля радона не должна быть связана с изменениями в структуре порового массива горных пород. Поэтому изучение матрицы переменных в «реальном времени» с помощью нейронных сетей за неделю до землетрясения привело к формированию перцептрона с измененной архитектурой, характеризующей независимость переменных друг от друга. Это, по-видимому, является краткосрочным предшественником землетрясения.

Заключение

1. На основе гипотезы о существовании в земной коре Южной Калифорнии неоднородного дилатирующего включения, представляющего собой набор кластеров дилатирующих мезовключений, связанных между собой проницаемыми каналами, построена оригинальная модель блока земной коры на стыке разломов Сан-Андреас и Калаверас.
2. В результате анализа экспериментальных данных по изучению пространственно-временного распределения вариаций концентрации радона показано, что динамические зоны экстремумов, по-видимому, пространственно совпадают с мезовключениями, формирующими основной дилатирующий объем.
3. Динамическая связь этих мезовключений установлена из анализа пространственно-временных характеристик региональных длинопериодных вариаций концентрации радона.
4. Выдвинуто предположение о том, что источником как форшоков, так и афтершоков является не весь объем зоны подготовки землетрясения, а только локальные участки объема (мезовключения).
5. На основе моделирования нейронных сетей сформулированы основные принципы искусственного интеллекта для автоматического прогнозирования времени возможного землетрясения. В нашем случае первый ранг опасности - начало и конец процесса релаксации напряжений. Второй ранг опасности - фиксация времени независимого процесса эксхалиции радона в каждой точке наблюдения методами моделирования нейронной сети (максимальная вероятность землетрясения).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Martyshko P., Pyankov V., Rublev A. The new method of short-term earthquake prediction (radon anomaly on San-Andreas fault) // 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7105-33-9 / ISSN 1314-2704, Albena. Bulgaria. 2015. Book1 Vol. 3, 1059-1066 pp. DOI: 10.5593/SGEM2015/B13/S5.137
2. Rice G.R. and Rudnicki J.W. Earthquake precursory effects due to pore fluid stabilization of weakening fault zone, Journal of Geophysical Research, USA, 1979. Vol.84/issue5, pp 2177-2193.
3. Martyshko P.S., Pyankov V.A., Rublev A.L. The interpretation of spatial and temporal distribution of radon high-amplitude variations based on Goldin's model // XVth International Conference – Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects. Kiev, Ukraine. 2016. DOI: 10.3997/2214-4609.201600545
4. King Chi-Yu. Episodic radon changes in subsurface soil gas along active fault and possible relation to earthquake, Journal of Geophysical Research, USA, 1980. Vol.85/issue 6, pp 3065-3078.

УДК: 550.360; 550.361

**ИЗУЧЕНИЕ СВОБОДНОЙ ТЕПЛОВОЙ КОНВЕКЦИИ В БУРОВЫХ СКВАЖИНАХ.
РЕЗУЛЬТАТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.**¹Миндубаев Мансур Габдрахимович., ²Демежко Дмитрий Юрьевич,³Хацкевич Богдан Дмитриевич.¹e-mail: mansur_mg@mail.ru,²e-mail: ddem54@inbox.ru,³e-mail: disaybl@yandex.ru

Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Аннотация. Приводятся результаты численного моделирования свободной тепловой конвекции, возникающие в вертикальном канале, заполненном водой. Статистические соотношения для оценки характеристик тепловых эффектов и скоростей конвекционных потоков хорошо согласуются с данными, записанными в реальных скважинах.

**STUDY OF FREE THERMAL CONVECTION IN BOREHOLES.
RESULTS OF MATHEMATICAL MODELING.**

Mindubaev M.G., Demezhko D.Yu., Khatskevich B.D.

mansur_mg@mail.ru, ddem54@inbox.ru, disaybl@yandex.ru

Institute of Geophysics UB of RAS, Yekaterinburg

Abstract. The results of numerical modeling of free thermal convection occurring in a water filled vertical channel are presented. Statistical relations for estimation the characteristics of thermal effects and convection flow velocities agree well with the data recorded in real boreholes.

Рассмотрена модель, в которой вертикальный канал квадратного сечения со стороной $2r$, наполненный флюидом (водой), окружен массивом горной породы, температуропроводность a_m которого отлична от температуропроводности флюида a_w . На внешних границах массива поддерживается постоянный температурный градиент. В качестве единиц измерения были выбраны: для длины – полуширина горизонтального сечения r ; времени – r^2/a_w ; скорости – a_w/r ; температуры – Gr , где G – градиент температуры. Система уравнений описывающих конвективное течение в канале решалась в переменных $(\mathbf{u}, \boldsymbol{\omega}, \psi, T)$ [1].

$$\frac{\partial \boldsymbol{\omega}}{\partial t} + \nabla \times (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{u}) = Pr \nabla^2 \boldsymbol{\omega} - Pr Ra (\nabla \times T \mathbf{e}_z), \quad (1.1)$$

$$\nabla^2 \psi = -\boldsymbol{\omega}, \quad (1.2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + (\mathbf{u} \times \nabla) T = \nabla^2 T, \quad (1.3)$$

Скорость \mathbf{u} связана с потенциалом скорости ψ и вектором завихренности $\boldsymbol{\omega}$ следующими соотношениями: $\mathbf{u} = \nabla \times \psi$, $\boldsymbol{\omega} = \nabla \times \mathbf{u}$. $Ra = \frac{\alpha g Gr^4}{a \nu}$ – число Рэлея; $Pr = \frac{\nu}{a}$ – число Прандтля (для воды $Pr=7$), \mathbf{e}_z – единичный вектор. где T – температура; g – ускорение силы тяжести; ν – кинематическая вязкость; α – коэффициент теплового расширения.

Во вмещающем массиве после обезразмеривания уравнение теплопроводности записывается в следующем виде:

$$\partial T / \partial t = b \nabla^2 T, \quad (2)$$

где $b=a_m/a_w$. Горизонтальные границы принимаются изотермическими: $T=0$, $z=\lambda_z$, $T=\lambda_z$, $z=0$, где $\lambda_z=L_z/r$ – аспектное отношение, характеризующие отношение вертикального размера области L_z к полуширине горизонтального сечения r . На боковых вертикальных границах массива поддерживается линейное распределение температуры: $T(z)=\lambda_x - z$, $x=-\lambda_x/2$ и $x=\lambda_x/2$, $y=-\lambda_y/2$ и $y=\lambda_y/2$, где λ_x и λ_y – отношения соответствующих горизонтальных размеров массива L_x и L_y к r .

Уравнения (1.1) и (1.2) являются векторными, что требует решения уравнения для каждой компоненты. Следовательно, при численном моделировании системы нестационарных уравнений (1) необходимо решать систему семи скалярных уравнений. Для численного совместного решения уравнений (1.3) и (2) использовался метод сквозного счета с применением дистанционной функции, учитывающей отношение температуропроводностей b [3] $a(\phi)=b+(1-b)H(\phi)$, где $H(\phi)$ – функция Хевисайда:

$$H(\phi) = \begin{cases} 0, & \phi < -\varepsilon, \\ \frac{1}{2} \left[1 + \frac{\phi}{\varepsilon} + \frac{1}{\pi} \sin(\pi\phi) \right], & |\phi| \leq \varepsilon, \\ 1, & \phi > \varepsilon, \end{cases}$$

где ε – полутолщина переходного слоя.

Для решения этих уравнений и (1.1) использовался локально однородный подход, позволяющий свести трехмерную задачу к системе одномерных задач [4]. Для решения трех уравнений (1.2) использовалась схема последовательной верхней релаксации. Пространственный шаг дискретизации составлял 1/10 от единицы полуширины горизонтального сечения. В наших расчетах полуширина переходного слоя ε составляла пять шагов пространственной сетки. Расчеты проводились для $\lambda_x = \lambda_y = 6$ и $\lambda_z = 200$, т.е. использовалась равномерная пространственная сетка $61 \times 61 \times 2001$.

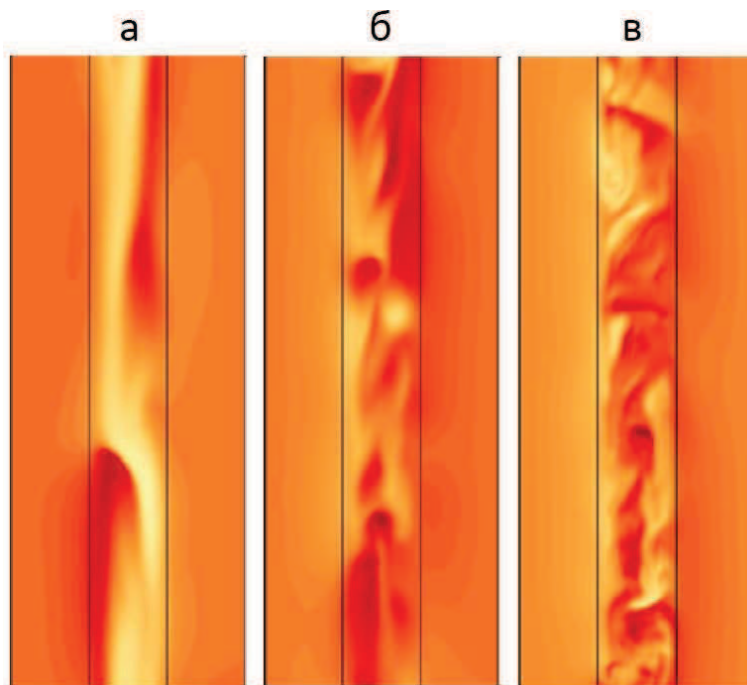


Рис.1. Отклонение температуры от линейного распределения на середине слоя в зависимости от числа Рэлея: а – $Ra=800$, б – $Ra=2000$, в – $Ra=10000$. В середине выделен канал наполненный флюидом, в котором реализуется конвекция. По бокам – окружающий массив. Отношение температуропроводностей массива и флюида $a_m/a_w=6$.

Красным цветом выделены положительные аномалии температуры, соответственно желтым – отрицательные.

Изменение температуры качественно отражает структуру течений. Из рис.1 видно, что с увеличением числа Рэлея масштаб течений становится меньше, а вклад горизонтальной составляющей скорости увеличивается. Кроме того, для значений числа Рэлея 2000 и 10000 заметно, что левая сторона преимущественно охлаждается, а правая наоборот прогревается. Это свидетельствует о том, что по одной стороне идет преимущественно подъем, а по другой опускание жидкости. Возможно, это связано с геометрией сечения (квадрат). Таким образом, течения, связанные со свободной тепловой конвекцией, вызывают долговременный тепловой эффект. Количественно значения и отношение скоростей показано на рис.2.

Средний температурный градиент равен отношению разности температур на концах канала к его длине. При проведении численного моделирования длина канала принималась равной 200. Отношение аномального G_{an} градиента к невозмущенному G равно $G_{an}/G = \Delta T'_{an}/200$. При $Ra \sim 10^4$ безразмерная разность температур для всех участков канала почти одинакова $\Delta T'_{an} \approx 15$. Соответственно искажение невозмущенного градиента в этом случае составляет $G_{an}/G = 15/200 = 0.075$.

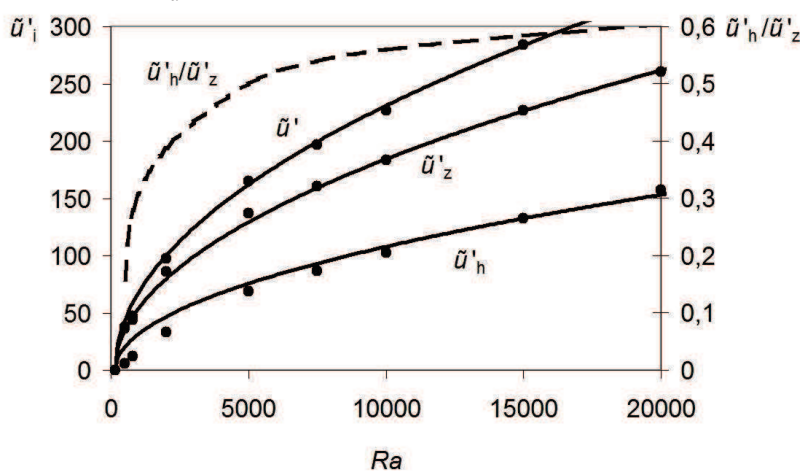


Рис.2. Результаты численного моделирования компонент скорости конвективных течений (точки) и аппроксимирующие их зависимости (сплошные линии. Пунктир – отношение компонент скорости $\tilde{u}'_h/\tilde{u}'_z$

Для оценки температурных колебаний относительно среднего из каждого температурного ряда были вычтены температурные тренды, аппроксимированные полиномами третьей степени, и рассчитаны стандартные отклонения остатков σ'_T . Переходя к размерным температурным колебаниям, для развитой конвекции можем записать:

$$\sigma_T \approx 3Gr.$$

Амплитудные спектры температурных колебаний как функции безразмерной длины приведены на рис. 3а. С ростом числа Рэлея растет вклад в температурные колебания аномалий, вертикальный размер которых менее 3 (в размерном выражении - $3r$). В то же время амплитуды температурных колебаний с периодами $(10 - 100)r$ остаются неизменными.

Временную изменчивость температур вблизи стенки канала ($x=0, y=\pm 0.8$) на середине ее длины также иллюстрируют амплитудные спектры, но уже рассчитанные как функции характерного времени $\tau=r^2/a$ (рис.3б). С ростом числа Рэлея растет и вклад высокочастотных колебаний с периодом $(0.02 - 0.1) \tau$. Амплитуда низкочастотных $(0.2 - 1.0) \tau$ колебаний при этом даже немного уменьшается. Таким образом, при $Ra > 10^4$ спектр колебаний становится подобен «белому шуму».

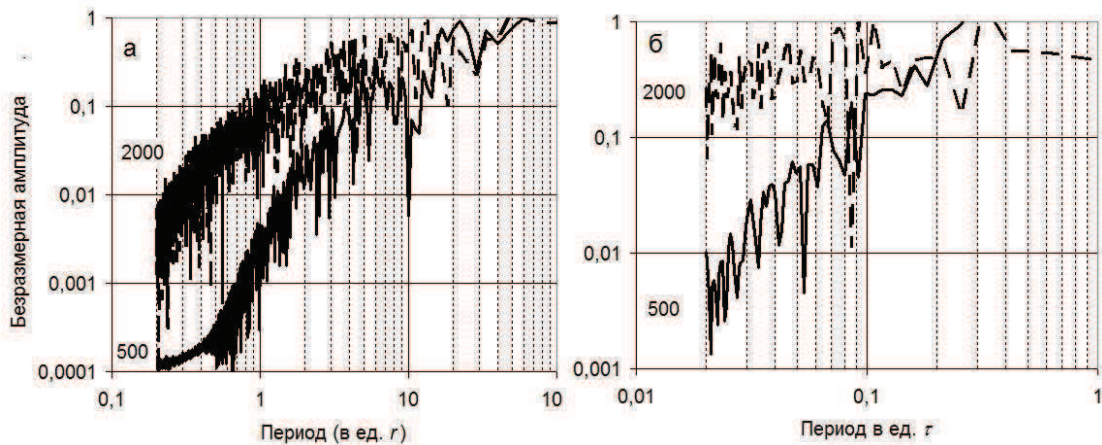


Рис. 3. Амплитудные спектры температурных колебаний вблизи стенок канала ($x=0$, $y=\pm 0.8$) как функции длины (а) и времени (б) для значений числа Рэлея $Ra=500$ и 20000 (шифр кривых).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mallinson G.D., de Vahl Davis G. Three-dimensional natural convection in box: a numerical study. //J. fluid mechanics, 1977, v.83, part1, p.1-31.
2. Миндубаев М.Г., Демежко Д.Ю. Свободная тепловая конвекция в буровых скважинах: численное моделирование и экспериментальные данные. //Мониторинг. Наука и технологии, 2012, №4(13), с.12-18.
3. Любимов Д.В., Любимова Т.П., Иванцов А.О., Черепанова А.А. Использование метода сквозного счёта для моделирования динамики систем с поверхностями раздела //Вычислительная механика сплошных сред, 2008, т. 1, № 2, с. 53-62.
4. Самарский А.А. Теория разностных схем. М., Наука. 1989, 616 с.

УДК 550.83

**МНОГОМЕРНЫЙ АНАЛИЗ АТРИБУТОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ ЗАПИСЕЙ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ***Митюнина Ирина Юрьевна*[*bsg-home@mail.ru*](mailto:bsg-home@mail.ru)*Пермский государственный национальный исследовательский университет, Россия, Пермь*

Аннотация. Рассмотрены возможности мультиатрибутного анализа сейсмических данных методом главных компонент. Представлена технология, основанная на комплексной оценке статистических характеристик набора данных, классификационном и факторном анализе многомерного пространства атрибутов сейсмической записи. Технология реализована на базе многомерного анализа растровых моделей пространственных данных в геоинформационной системе ArcGIS. Приведены практические примеры успешного применения технологии для прогноза эффективных толщин коллекторов в межскважинном пространстве.

**MULTIVARIATE ANALYSIS OF SEISMIC ATTRIBUTES WITH THE USE OF
GEOINFORMATION TECHNOLOGIES***Irina Mityunina*[*bsg-home@mail.ru*](mailto:bsg-home@mail.ru)*Perm State University, Russia, Perm*

Summary. The possibilities of multiattribute analysis of seismic data by the principal component method are considered. A technology based on a comprehensive assessment of the statistical characteristics of a data set, classification and factor analysis of a multidimensional space of seismic attributes is presented. The technology is implemented on the basis of multivariate analysis of raster spatial data models in the geographic information system ArcGIS. Practical examples of the successful application of technology for forecasting effective reservoir thicknesses in the interwell space are given.

Атрибуты сейсмических записей широко используются при интерпретации данных сейсморазведки МОВ-ОГТ в целях прогнозирования геологического разреза. Физическая основа атрибутного анализа заключается в том, что характер изменения волновой картины на временных разрезах связана со свойствами пород: амплитуды отражений отражают контраст акустических жёсткостей на границе слоёв, частоты связаны с мощностями пластов и их литологическим составом, фазы реагируют на характер изменения тонкой слоистости разреза. Поэтому анализ изменений атрибутов волнового поля в межскважинном пространстве позволяет осуществлять прогноз свойств резервуара на основании связей, установленных между скважинными характеристиками пород (пористость, эффективная толщина, песчаность и т.д.) и свойствами записей упругих волн (амплитуда, частота, фаза) в точках расположения скважин.

Многолетний опыт использования атрибутного анализа при интерпретации сейсмических данных показал, что ни один геофизический параметр не имеет прямого соответствия с каким-либо геологическим признаком или фактором [1]. В каждом из них в большей или меньшей степени могут только проявляться их отдельные черты. В этой связи упрощенные методы прогнозирования, основанные на использовании отдельных сейсмических параметров, эффективны лишь в очень ограниченном числе случаев [7]. В то же время на практике показано, что наиболее характерные закономерности геологического строения, вещественного состава, коллекторских свойств и т.п. могут отражаться в некой

комбинации параметров, т.е. в многомерном пространстве атрибутов сейсмической записи [1, 7, 11].

В настоящее время разработаны различные методы мультиатрибутного анализа сейсмических данных [1, 7, 9, 10, 12], предназначенные как для качественной, так и для количественной оценки физических свойств разреза. К ним относятся метод главных компонент и факторный анализ, иерархический кластерный анализ без обучения и кластерный анализ с обучением, многофакторный регрессионный анализ, нейросетевой анализ и т.д.

Наибольшее распространение в практике динамической интерпретации сейсмических материалов получили технологии многомерного регрессионного и нейросетевого анализа, которые в сочетании с сейсмофациальным районированием территории по скважинным данным позволяют с приемлемой точностью осуществлять прогноз коллекторских свойств продуктивных отложений [2, 3], особенно в условиях высокой плотности скважин.

Менее востребованным в отечественной практике является метод главных компонент (Principal component analysis), хотя в зарубежной литературе приводятся примеры его эффективного применения при прогнозировании углеводородов [7, 8, 11]. В методе главных компонент осуществляется преобразование данных из входного многомерного атрибутного пространства в новое пространство, оси которого не коррелированы между собой [6]. В результате анализа получаем новый набор переменных (главных компонент), являющихся линейными комбинациями исходных атрибутов, которые выбираются таким образом, что среди всех возможных линейных нормированных комбинаций исходных признаков первая главная компонента обладала наибольшей дисперсией. Геометрически координатная ось первой главной компоненты (PC1) ориентируется вдоль направления наибольшей вытянутости эллипсоида рассеивания атрибутов (A, B) входного координатного пространства (рис. 1,а). Вторая главная компонента (PC2) интерпретируется как направление наибольшей вытянутости эллипсоида рассеивания, перпендикулярное первой главной компоненте (рис. 1,б), и имеет максимальную дисперсию среди всех оставшихся линейных преобразований, некоррелированных с первой главной компонентой. Следующие главные компоненты определяются по аналогичной схеме.

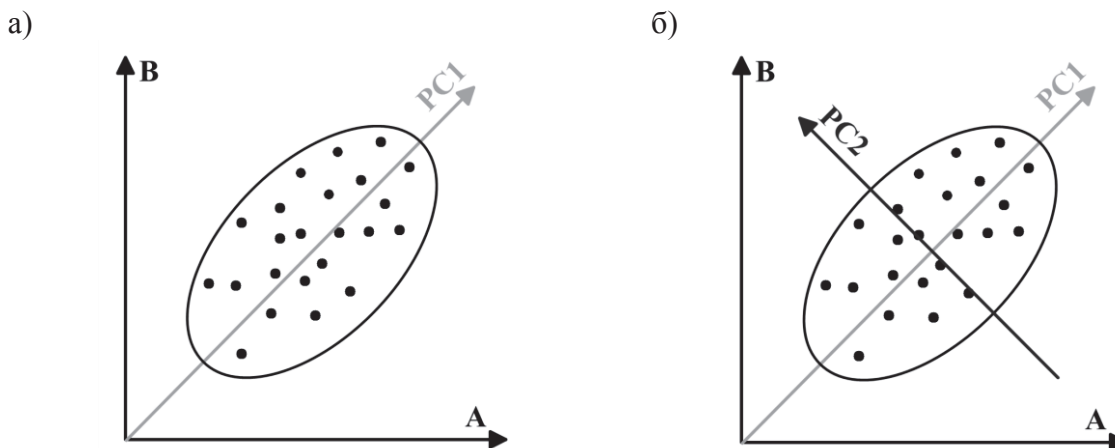


Рис. 1. Определение первой (а) и второй (б) главной компоненты

Таким образом, достигается переход от анализа большого числа взаимозависимых атрибутов сейсмических записей к конечному небольшому числу независимых переменных, каждая из которых через простейшие регрессионные зависимости может быть связана с целевыми физико-геологическими параметрами среды.

Факторный анализ методом главных компонент реализован в геоинформационной системы ArcGIS (ESRI Inc.) на базе многомерной обработки растровых (грид) моделей пространственных данных [13]. Учитывая, что геоинформационные системы (ГИС) широко

используются в геофизике как универсальные базы пространственных данных и оптимальные средства представления результативных картографических материалов, целесообразно оценить возможности ГИС для мультиатрибутного анализа сейсмических данных.

Для опробования технологии было выбрано одно из месторождений нефти в Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции [5]. Залежи углеводородов здесь приурочены к рифогенным структурам ассельско-сакмарского возраста. В целом, мощность нижнепермских отложений по данным 11 скважин, имеющих на месторождении, варьирует в широких пределах: от 63 м до 114 м. В разрезе по данным каротажа скважин выделяется 4 пласта коллекторов $См_1$, $См_2$, $Ас_1$, $Ас_2$, суммарные толщины которых колеблются от 0 м до 53.2 м в местах расположения скважин.

На изучаемой территории были проведены сейсмические наблюдения 3D по системе многократных перекрытий типа «крест», обеспечивающей обработку материала и получение кубов информации с размером бина 25×25 м.

Для прогноза эффективных толщин коллекторов в межскважинном пространстве использовался кинематический параметр Delta, представляющий собой разность времен ΔT_0 между кровлей и подошвой целевых отложений ассельско-сакмарского возраста, а также наиболее информативные динамические атрибуты сейсмических записей: мгновенная частота записи и мгновенный Q-фактор, характеризующий относительные поглощающие свойства среды. Результаты многомерного статистического анализа атрибутов сейсмических записей, выполненного в геоинформационной системе ArcGIS, представлены на рис. 2.

На первом этапе по комплексу атрибутивных данных выполнен классификационный анализ без обучения. Для определения параметров однородных групп ячеек растра (классов) использовался инструмент Iso Cluster, реализующий модифицированную процедуру кластеризации с итеративной оптимизацией, известную как методика мигрирующего среднего [13]. На основе полученного ASCII-файла сигнатур осуществлялось построение зонального растра методом максимального подобия (Maximum Likelihood Classification), позволяющего учесть как дисперсии, так и ковариации сигнатур классов.

В результате были выделены 3 класса (рис. 2,а), которые, как показал анализ, во многом контролируют характер пространственного распределения коллекторов и, можно предположить, находятся в тесной связи с особенностями фациальных обстановок накопления нижнепермских отложений. В пределах класса 3 находятся скважины, в которых зарегистрированы повышенные значения эффективных толщин пластов-коллекторов (28-54 м), образовавшихся в центральных частях крупных рифогенных массивов. Класс 2 соответствует зоне относительно небольшой мощности продуктивных отложений (10-15 м), которые, согласно геологическим представлениям, формировались в пределах склоновых частей крупных рифов и серии мелких линзовидных карбонатных тел. В пределах класса 1 отсутствуют скважины, вскрывшие коллекторы. Можно предположить, что эта зона соответствует области развития плотных карбонатных межрифовых образований.

Затем с помощью метода главных компонент (инструмент Principal Components) проведен факторный анализ многомерного пространства атрибутов сейсмической записи, позволивший выделить не коррелируемые между собой составляющие поля (главные компоненты). На композитном растре первых главных компонент (PC1-PC3) четко прослеживаются зональность распределения атрибутов сейсмической записи (рис. 2,б). В целом, выявленные закономерности не противоречат результатам классификации методом максимального подобия (рис. 2,а), более того, позволяют детализировать положение рифогенного массива в центральной части территории.

Для оценки возможной обусловленности одной из компонент характером изменения мощности коллекторов выполнен корреляционный анализ между значениями эффективных толщин коллекторов и главных компонент комплекса атрибутов в местах расположения скважин. Установлено, что первая главная компонента (PC1) находится в тесной корреляционной зависимости с мощностью продуктивного пласта (рис. 3). При этом

отчетливо видно, что характер зависимости существенно отличается на участках повышенных значений толщин коллекторов (класс 3) и в зонах, где мощности целевого интервала разреза не превышают 20 м (класс 2).

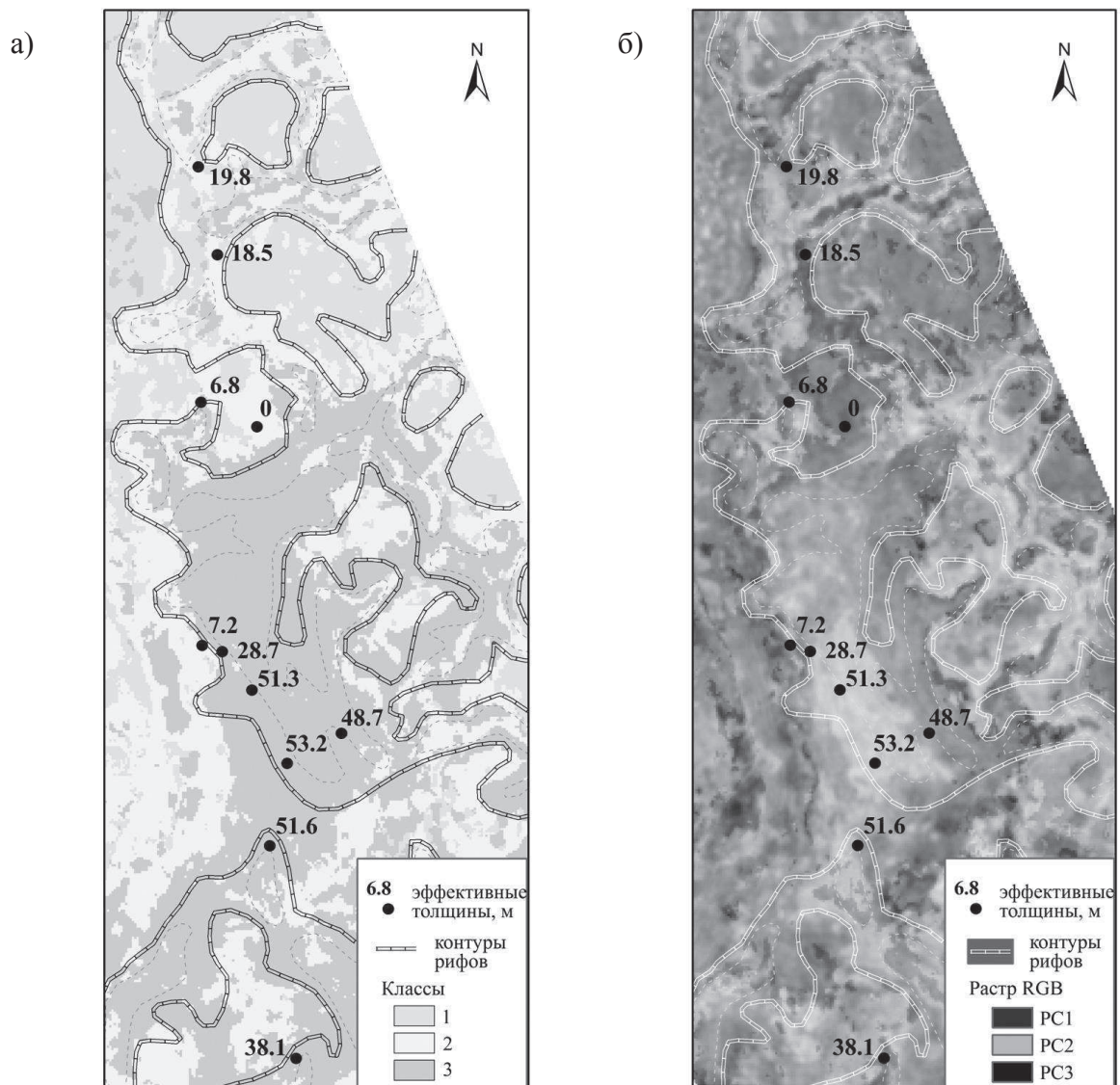


Рис. 2. Схема районирования территории по комплексу атрибутов сейсмической записи (а) и композитный растр главных компонент (б)

Для объектов класса 3 эта зависимость может быть аппроксимирована уравнением линейной регрессии с коэффициентом корреляции $r_{кор}=0.91$. На основе уравнения был осуществлен расчет прогнозных оценок эффективных толщин коллекторов. В местах расположения скважин погрешность определения составила лишь ± 4 м, что примерно в 2 раза ниже полученных ранее [4].

Таким образом, мультиатрибутный анализ сейсмических данных методом главных компонент, реализованный в геоинформационной системе ArcGIS на базе многомерного анализа растровых моделей пространственных данных, может быть успешно использован для изучения коллекторских свойств продуктивных отложений в межскважинном пространстве.

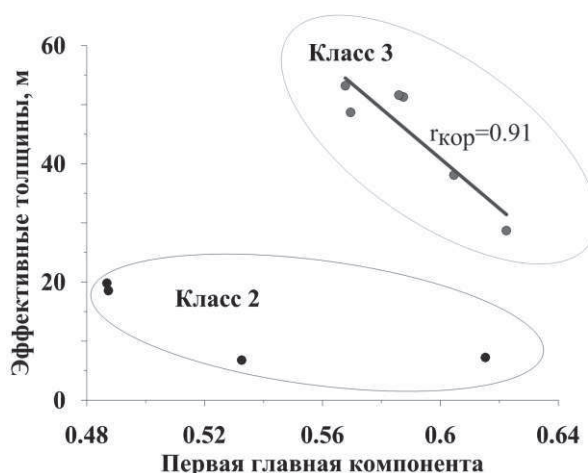


Рис. 3. Кросс-плот зависимости толщин коллектора от первой главной компоненты

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ампилов Ю.П. От сейсмической интерпретации к моделированию и оценке месторождений нефти и газа. М., ООО «Издательство «Спектр», 2008. 384с.
2. Вилесов А.П., Путилов И.С. Комплексное использование литолого-фациального анализа и сейсмофациального моделирования для изучения строения терригенной толщи девона Кустовского месторождения // Нефтяное хозяйство. 2009. № 4. С. 23–27.
3. Екименко Ф.В. Прогноз эффективных толщин неокомских отложений на основании сейсмических данных и фациальной модели // Геофизика, 2016. № 4. С.22-26.
4. Заключение И.С. Использование комплекса атрибутов сейсмической записи для повышения эффективности прогноза коллекторских свойств // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. 2016. С. 110-113.
5. Митюнина И.Ю. Комплексный анализ геофизических полей в геоинформационной системе ArcGIS / Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: Материалы 44-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского. М: ИФЗ РАН. 2017. С. 252-256.
6. Никитин А.А., Петров А.В. Теоретические основы обработки геофизической информации: учебное пособие. 3-е изд., дополненное. М.: ВНИИГеосистем, 2013. 118 с.
7. Barnes A. E. Handbook of Poststack Seismic Attributes // Geophysical References Series. 2016. No. 21. 254 p.
8. Chopra S., Marfurt K.J. Churning seismic attributes with principal component analysis [электронный ресурс], <http://dx.doi.org/10.1190/segam2014-0235.1>
9. Hampson D. P., Schuelke J. S., Quirein J. A. Use of multiattribute transforms to predict log properties from seismic data // Geophysics. 2001. V. 66, No. 1. P. 220–236.
10. Linari V., Santiago M., Pastore C., Azbel K., Poupon M. 2003, Seismic facies analysis based on 3D multiattribute volume classification, La Palma Field, Maracaibo, Venezuela // The Leading Edge. V. 22, No. 1. P. 32–36.
11. Roden R., Smith T., Sacrey D. Geologic pattern recognition from seismic attributes: Principal component analysis and self-organizing maps // Interpretation. 2015. No. 3. P. SAE59-SAE83.
12. Roden R., Chen C. Interpretation of DHI characteristics with machine learning // First Break. 2017. V. 35, No. 5. P 55-63.
13. <http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/an-overview-of-the-multivariate-tools.htm>

УДК 523.6; 550.3; 551.5

**МИФ О ТУНГУССКОМ МЕТЕОРИТЕ
(ДЕГАЗАЦИОННАЯ ПРИРОДА ТУНГУССКОГО ВЗРЫВА 1908г.)**

Натяганов Владимир Леонидович

tenzor-home@yandex.ru

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия, г.Москва

Аннотация. Рассмотрены геофизические характеристики в районе Тунгусского взрыва и особенности астрономической обстановки в 1908г. В рамках геофизического сценария проведены ретроспективный анализ известных парадоксов Тунгусского феномена, а также проверка соответствия места и времени Тунгусского события геофизическим закономерностям эмпирической схемы краткосрочного прогноза землетрясений. Обсуждается опасность возможных повторов типа Тунгусского взрыва в арктических районах добычи и переработки газа.

**MYTH ABOUT THE TUNGUS METEORITE
(DEGASATION NATURE OF THE TUNGUS EXPLOSION 1908)**

Natyaganov Vladimir

tenzor-home@yandex.ru

Moscow State University, Russia, Moscow

Summary. The geophysical characteristics in the region of the Tunguska explosion and features of the astronomical situation in 1908 are considered. Within the framework of the geophysical scenario, a retrospective analysis of the known paradoxes of the Tunguska phenomenon was carried out, as well as a verification of the correspondence of the place and time of the Tunguska event to the geophysical regularities of the empirical scheme of a short-term earthquake prediction. The danger of possible repetitions of the Tunguska explosion type in the Arctic regions of gas production and processing is discussed.

1. Введение в проблему. На русском языке есть две широко известные монографии [1,7], авторы которых придерживаются противоположных точек зрения на природу Тунгусского высотного взрыва 1908г. В [1] приводятся доводы в пользу лишь космических (метеоритной или кометной) версий, а в [7] представлены аргументы в пользу сеймотектонической природы Тунгусского феномена (ТФ) и анализируется ряд известных противоречий в рамках космической версии, которые в литературе по ТФ часто называют парадоксами [2,3,5-8]. В обзорной работе [5] разработан геофизический сценарий и подробно проанализированы десять основных парадоксов ТФ, которые в рамках этого сценария получили непротиворечивое теоретическое обоснование как взаимообусловленные литосферно-атмосферно-ионосферные (ЛАИ) признаки [4] вулканогенного землетрясения с развитой газовой фазой – дегазационным выбросом из жерла древнего палеовулкана мощной водородно-метановой струи.

2. Характеристика геофизической обстановки (краткая справка). Эпицентр ТФ (60°53'N и 101°53'E) фактически совпал с

- 1) жерлом древнего палеовулкана (диаметром около 10км), к которому сходятся многочисленные литосферные разломы трансрегионального и регионального масштаба;
- 2) перекрестием одной из главных критических широт планеты в 62°N и одного из всего двух особых меридианов: поясом 100°-105°E;
- 3) локальным центром кольцевой гравитационной аномалии;
- 4) центральной зоной глобальной Восточно-Сибирской магнитной аномалии, где напряженность поля уступает лишь рекордному значению на южном полюсе;

5) одной из сухопутных “горячих точек” планеты, не связанной с действующими вулканами, что свидетельствует о близком расположении магмы к земной поверхности в виде горячего плюма.

Один лишь факт совпадения эпицентра ТФ с подобной пятикратной аномальной точкой на поверхности Земли должен привести любого непредвзятого исследователя к выводу о возможной геофизической природе ТФ.

Более того, в 1908г. наблюдался ряд аномальных астрономических и гелиофизических факторов: максимум геомагнитной активности в 14-ом солнечном цикле был двухгорбым и растянулся на 3 года, скорость вращения Земли проходила через абсолютный минимум за 3 столетия, а Тунгусское событие произошло не только в новолуние, когда приливно-гравитационные воздействия на Землю со стороны Луны и Солнца складываются и происходят различные аномальные (теоретически необъяснимые) явления на макро-, мезо- и микроуровнях (см. в [8] работу Р.Г. Големинова), но и во время неполного “парада планет” с так называемыми последовательными соединениями [7] Земли и Луны сначала с Меркурием и Венерой, а спустя несколько часов после ТФ и с Марсом, который приближался по месту и времени к очередному Великому противостоянию с Землей, когда расстояние между планетами уменьшается почти на порядок. Обычно подобные астрономические конфигурации приводят к серьезным изменениям скорости вращения Земли (что и было [7] на самом деле) и сильным деформациям в литосфере. В свою очередь это вызывает активизацию сейсмотектонических процессов: повышению частоты и силы землетрясений, вулканических извержений и усилению импульсной дегазации Земли [4-7,9].

Таким образом, ТФ произошел в специфической обстановке, причем не только во времени, но и в пространстве. Подобное пространственно-временное перекрестие («двойной крест» [1] по Г.Ф. Плеханову) является весомым аргументом о сопричастности этих космо-геофизических обстоятельств с ТФ [1,5].

3. Основные парадоксы Тунгусского феномена в рамках геофизического сценария. Если придерживаться космических версий, то в междисциплинарной проблеме о природе ТФ существует более полусотни нестыкровок и противоречий (см. в [8] анкету для авторов), главные из них называют парадоксами [2], которых не более десятка [5]. Считается, что взаимосогласованное обоснование без противоречий этих основных парадоксов является необходимым условием для выяснения истинной природы ТФ.

Основными по [2,5,6] парадоксами ТФ считаются:

N1. Неопределенность азимутов (в пределах почти прямого угла) и многовариантность возможных траекторий пролета (включая и пресловутый зигзаг или маневр) Тунгусского аэролита.

N2. Противоречивость свидетельств о наблюдаемых форме, цвете и временах пролета аэролита.

N3. Многовариантность и противоречивость сообщений о звуковых и/или электрофонных явлениях, сопутствующих и предшествующих (!) пролету аэролита.

N4. Противоречия о типах и временах наблюдения сейсмических эффектов по сравнению с инструментальными данными, световыми и звуковыми явлениями.

N5. Странности барических возмущений от Тунгусского взрыва и противоречия (в сравнении с сейсмическими возмущениями) со временем их прихода в разные пункты.

N6. Нестыковки выводов из модельных экспериментов и расчетов, основанных на космических гипотезах высотного взрыва, с натурными следами вывала леса, тонкой структурой эпицентральной зоны “лучистого” ожога, пожара и термолюминесценции почвы в районе эпицентра.

N7. Неубедительность объяснений геомагнитного эффекта – явного следа локальной магнитной бури, инструментально зафиксированной в Иркутске.

N8. Оптические аномалии (в том числе предсвечение неба в северо-западной части Европы и массовое наблюдение низких серебристых облаков с различными цветовыми оттенками) пока не находят разумных объяснений.

№9. Отсутствие доказанных следов космического вещества при серьезных изотопных и элементных геохимических аномалиях в эпицентральной зоне.

№10. Загадочное “светлое пятно” неизвестной природы в районе эпицентра ТФ, выявленное спектрофотометрическим методом при аэрокосмической съемке в 1988 году.

В работах [5,6] предложен подробный геофизический сценарий ТФ, развивающий сейсмостектоническую гипотезу А.Ю. Ольховатова [7]. Суть этого сценария заключается в том, что в условиях аномальной геофизической и астрономической обстановки палеовулкан и сходящиеся к нему литосферные разломы стали усиленно газить в результате глобальной активизации сейсмостектонических процессов [7] и локального усиления глубинной дегазации Земли [9]. Восходящие водородно-метановые струи, содержащие повышенную концентрацию субмикронных заряженных аэрозольных частиц, отклонились в результате вращения Земли и глобальных атмосферных ветров к западу, что вызвало за счет эффекта гигантского комбинационного рассеяния света на этих аэрозолях предсвечение сумеречного неба и другие оптические аномалии вплоть до Атлантики. А кульминацией ТФ был атмосферный взрыв этих дегазационно-конвективных струй типа квазистационарного термика.

Высотный подрыв центральной струи из жерла Куликовского палеовулкана (возможно разрядом молнии) вызвал вдоль этой мощной струи нисходящую волну горения, удар фронта сжатия от которой о земную поверхность и привел к радиальному вывалу леса [1,3,5] на огромной площади более 2000 км² в форме известной “бабочки” Фаста [1,2], но с выемкой “телеграфного” леса в голове “бабочки” на западе вывала по Анфиногенову [3].

В рамках геофизического сценария ТФ [5,6] были взаимосогласованным способом без внутренних противоречий теоретически обоснованы большинство из этой десятки основных парадоксов Тунгусского взрыва как яркие проявления различных ЛАИ признаков [4] своеобразного вулканогенного землетрясения. Эти ЛАИ признаки выглядели взаимоисключающими парадоксами лишь в рамках космических версий о природе ТФ.

Единственным бесспорным прямым и специфическим следом Тунгусского взрыва является огромный вывал леса со странными следами ожога и других аномалий в эпицентральной зоне ТФ. Как подчеркивается в [1] именно этот район катастрофических разрушений представляет собой не расшифрованный до конца “черный ящик”. Эту расшифровку как решение обратной задачи, когда по следствиям надо восстановить причину, необходимо завершить хотя бы в целях повышения безопасности на расширяющихся объектах нефте- и газодобычи в Арктике.

В работе [3] был проведен теоретический анализ возможных форм пятен вывала леса в зависимости от угла наклона α нисходящей цилиндрической струи к подстилающей земной поверхности. Полученные формы пятен при $\alpha < \pi/3$ варьировались от кардиоиды и деформированных окружностей до “рыбьих хвостов” (рис. 1а,б).

В [3,5] было получено хорошее соответствие реального вывала леса при ТФ с теоретической моделью при $\alpha \approx 59^\circ$, когда на западе вывала в районе “головы бабочки” Фаста должен быть “телеграфный” лес в секторе порядка 15° (рис. 1), что соответствует более поздним исследованиям Д. Анфиногенова [1,5].

После работы [5] была проведена лабораторная верификация теоретической модели [3], где в результате физических экспериментов при варьировании угла наклона α были получены различные формы пятен от многоруких “осьминогов” ($\alpha > \pi/3$) до “кленовых листьев”, “рыбьих хвостов”, “гусиных лапок” (рис. 2) и полос в виде “елочки”.

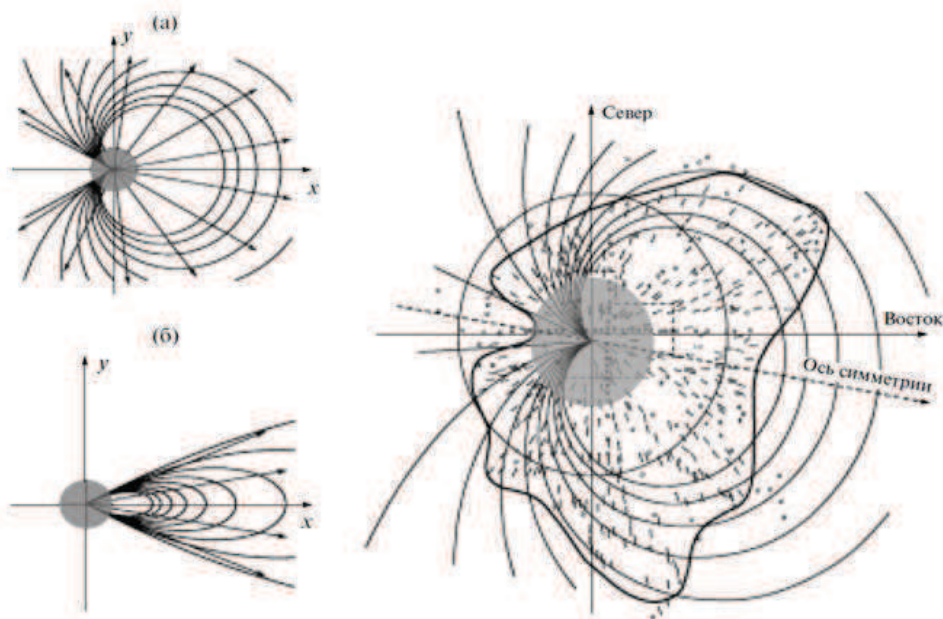


Рис. 1. Теоретические формы пятен (а,б) и наложение следа косога удара струи на карту вывала леса Тунгусским взрывом.



Рис. 2. Экспериментальные следы удара струи воздуха о подстилающую поверхность

В работе [5] проведена ретроспективная проверка соответствия места и времени ТФ как вулканического землетрясения основным геофизическим закономерностям эмпирической схемы краткосрочного прогноза [4], результаты которой представлены на рис. 3, где на карту нанесены основные сейсмомагнитные меридианы, определяющие запуск цепочек возможных землетрясений (подробности см. в [4,5]).

Результаты этой ретроспективной проверки вместе с обоснованием основных парадоксов ТФ убедительно свидетельствуют о геофизической природе Тунгусской катастрофы.

Опасность повтора подобных катастроф необходимо предусмотреть в свете возобновившегося освоения Арктики с ее богатейшими природными ресурсами. Быстро растущая нефте- и газодобыча, плотность инфраструктуры и сложность эксплуатации потенциально опасных производств в условиях вечной мерзлоты и потепления климата в северных регионах России чреваты плохо предсказуемыми природными-техногенными катастрофами по типу Тунгусского взрыва, но с более существенными последствиями. Признаками возрастания неустойчивости геофизической среды в северных регионах служат участвовавшие случаи образования провально-взрывных воронок на Ямале, которые (как считают некоторые геофизики) образуются за счет разложения газогидратов и выброса из земных недр больших объемов взрывоопасного метана. Если это произойдет вблизи пожароопасных производств, то последствия могут быть катастрофическими. Пока подобные воронки возникали вдали от населенных пунктов и опасных производств и поэтому не приносили существенного ущерба.

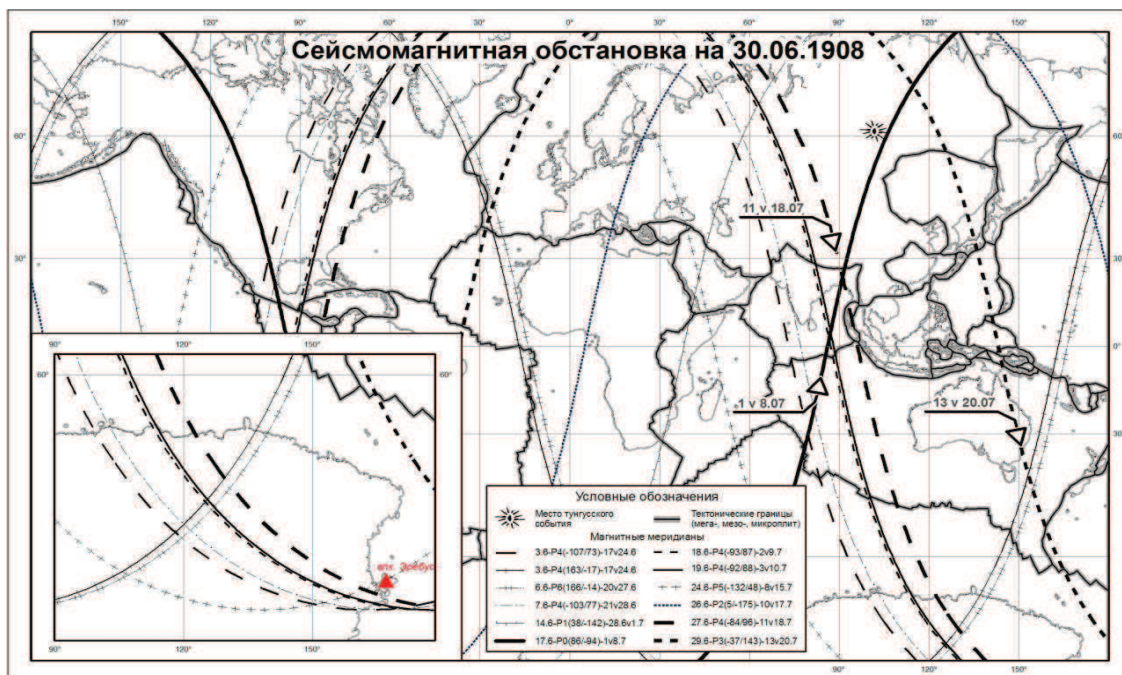


Рис. 3. Сейсмомангнитные меридианы в июне 1908г.

Это нельзя сказать о явлении мини-Тунгуски в виде Сасовского взрыва 12.04.1991г. у г. Сасово Рязанской области [7] и его предшествующем аналоге 15.09.1841г. в 90 км к западу от Сасово. Тогда после 5 подземных ударов из земли вырвалось пламя, образовав огненный вертящийся столб по типу торнадо, который сжег более 2 гектаров кустарника. Подчеркнем, что в “Каталоге землетрясений Российской империи” И.В. Мушкетова это необычное явление было однозначно отнесено к разряду землетрясений, хотя и сопровождалось проявлением неординарных ЛАИ признаков, как и при Тунгусском высотном подрыве дегазационной струи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев Н.В. Тунгусский метеорит. Космический феномен лета 1908г.–М.: НП ИД Русская панорама, 2004.
2. Васильев Н.В. Парадоксы проблемы Тунгусского метеорита.//Изв. высш. уч. завед. Физика, 1992. №3. С. 111-119.
3. Гендугов В.М., Натяганов В.Л., Чайка А.А. Косой удар цилиндрической струи о плоскость // Доклады Академии Наук. 2010. Т. 433. № 4. С. 481-484.
4. Дода Л.Н., Натяганов В.Л., Степанов И.В. Эмпирическая схема краткосрочного прогноза землетрясений.// Доклад Академии Наук, 2013. Т. 453. N 5. С. 551-557.
5. Натяганов В.Л. Тунгусская катастрофа как вулканогенное землетрясение. //Современные глобальные изменения природной среды. Т. 3. Факторы глобальных изменений.-М.: Научный мир, 2012. С. 350-396.
6. Натяганов В.Л., Ольховатов А.Ю., Шивринская Е.В. Тунгусский феномен: факты и мифы, гипотезы и фантазии, модели и реальность // Математика. Компьютер. Образование. Сб. научных трудов.-М-Ижевск: R&C Dynamics, 2010. Вып. 17. Т. 1. С. 173-183.
7. Ольховатов А.Ю. Тунгусский феномен 1908 года.–М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008.
8. Сто лет Тунгусской проблеме. Новые подходы: сб. статей./Под ред. В.К.Журавлева и Б.У.Родионова.–М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008.
9. Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы.–М.: Геоинформцентр, 2002.

УДК 530.1; 532.5; 550.3; 550.4; 551.5

**ПРЕДВЕСТНИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ
ДЕГАЗАЦИОННО-ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ПРИРОДЫ**

*Натяганов Владимир Леонидович¹, Скибицкий Артем Никитич¹,
Шопин Сергей Александрович²*

¹tensor-home@yandex.ru

²sshopin@mail.ru

¹*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия, г.Москва*

²*Тульский государственный университет, Россия, г.Тула*

Аннотация. Рассмотрены физические механизмы и теоретические подходы к моделированию световых предвестников землетрясений различных геометрических форм, а также облачных сейсмотектонических индикаторов линейной формы над подводными литосферными разломами на основе специального выбора решений системы уравнений гидродинамики в различных приближениях.

EARTHQUAKE PRECURSORS OF DEGASSING-ELECTROMAGNETIC NATURE

Natyaganov Vladimir¹, Skibitskii Artem¹, Shopin Sergey²

¹tensor-home@yandex.ru

²sshopin@mail.ru

1 – Moscow State University, Russia, Moscow

2 – Tula State University, Russia, Tula

Summary. Physical mechanisms and theoretical approaches to the modeling of earthquake lights of various geometric forms as well as linear seismotectonic cloud indicators over underwater lithospheric faults are considered on the basis of a special choice of solutions of the system of hydrodynamic equations in various approximations.

1. Введение. Несмотря на тот факт, что о разных видах загадочных свечений и геометрических формах “предупреждающих огней” или световых предвестников землетрясений (ПЗТ) было известно из исторических хроник еще со времен до начала нашей эры [10], но адекватных теоретических моделей этих парадоксальных природных явлений с физически ясными механизмами до недавнего времени создано не было. В [6] приведена краткая, но информативная сводка о разных типах и геометрических формах световых ПЗТ, наблюдавшихся перед рядом сильных землетрясений в различных сейсмоопасных регионах планеты, а также цветные фото наземных светящихся полусфер большого (до 200м) диаметра, о наблюдениях которых ранее в геофизической литературе не упоминалось.

2. Геометрические формы и физический механизм световых предвестников землетрясений. В работе [4] был предложен физически адекватный механизм возникновения световых ПЗТ на основе явления гигантского комбинационного рассеяния света (ГКРС) на микроаэрозольных частицах, взвешенных в дегазационных потоках, восходящих из земных недр перед сильными землетрясениями. На основе специального выбора решений системы уравнений гидродинамики в [4] были разработаны теоретические модели световых ПЗТ в виде наземных полусфер, вертикальных цилиндрических столбов и квазиплоских занавесей; в [3] – прямых и наклонных конусов, парашютов типа булав и воздушных полусфер; а возможные подходы к моделированию спиралевидных, грибовидных и тороидальных световых ПЗТ предложены в [5].

В монографии [2] приведены наглядные иллюстрации проявления эффекта ГКС и плазмонных резонансов (рис. 1) на примере серебряных наносфер.

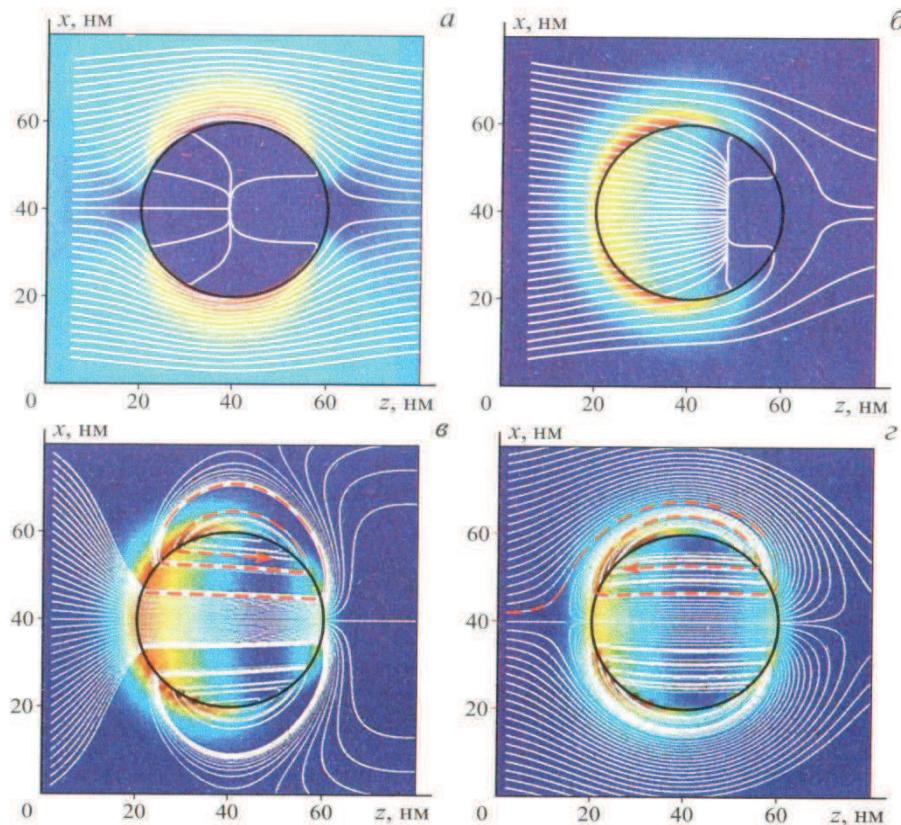


Рис.1. Распределение потока ЭМ-энергии (белые линии) вблизи серебряной наносферы при длинах волн $350 < \lambda < 400$ нм, когда действительная часть диэлектрической проницаемости сферы $\varepsilon < 0$:

- а) $\varepsilon = -2 + 10i$ (частица практически невидима);
- б) $\varepsilon = -2 + i$ (сечения поглощения и рассеяния увеличились за счет уменьшения потерь);
- в) $\varepsilon = -2 + 0.28i$ и г) $\varepsilon = -2.71 + 0.25i$ (частица вблизи плазмонного резонанса и хорошо видна, т.к. вихреподобные линии потока ЭМ-энергии проходят через нее несколько раз и выходят далеко за ее геометрические размеры).

В геофизической проблеме краткосрочного прогноза землетрясений [1] важным фактором является наличие взвешенных в дегазационных потоках фракталоподобных микрочастиц произвольных форм с острыми гранями и углами. В этом случае дополнительно работают еще механизмы локального усиления напряженности (эффект “громоотвода” на микроуровне) и потока энергии электромагнитного поля, а также существует возможность генерации удвоенной гармоника [3] падающего электромагнитного излучения (ЭМИ), что повышает вероятность визуального наблюдения световых ПЗТ за счет сдвига ЭМИ из инфракрасного диапазона в видимый спектр.

Эмпирическим доказательством адекватности предложенных в [3-5] теоретических моделей световых ПЗТ перечисленных выше геометрических форм являются инструментально наблюдавшиеся в Байкальской рифтовой зоне [7] при ночном мониторинге в течении 1.5 лет V-плазмоиды (видимый диапазон) и F-плазмоиды (инфракрасный диапазон и ближний ультрафиолет) различных размеров и геометрических форм. В большинстве случаев удалось локализовать и затем исследовать места их “старта” с земной поверхности, которые обычно были представлены газовыделяющими грязевулканическими структурами или в зимний период проталинами в снежно-ледовом покрове [7].

Косвенным подтверждением дегазационной природы таких V- и F-плазмоидов (по определению из [7]) служат многочисленные метановые пузыри, большие темные кольца и круги на льду Байкала, быстро превращающиеся затем в огромные (до 35 км²) проталины, а также загадочные 5- и 6-гранные светящиеся структуры, впервые обнаруженные на космоснимках спутника TERRA за 22.04.2008г. на льду около полуострова Святой Нос, где достаточно регулярно появляются кольца, круги и затем проталины у мысов Крестовского и Нижнее Изголовье [5].

3. Дегазационная природа ОСТИ – облачных сейсмотектонических индикаторов.

Относительно новым и самым информативным типом краткосрочных ПЗТ дегазационной природы [1] являются ОСТИ – специфические облачные структуры, трассирующие энергетически возбужденные литосферные разломы в областях подготовки землетрясений. ОСТИ хорошо видны на космоснимках, что дает дополнительную локализацию возможных эпицентров сильных землетрясений с магнитудой $M > 6$, но и позволяет оценить их потенциальную магнитуду M по простой формуле [1]: $M = \ln L/L_0$, где $L_0 = 1$ км, L – максимальный линейный размер ОСТИ. ОСТИ являются одним из основных компонентов эмпирической схемы [1], позволяющей определять как возможные зоны, так и наиболее вероятные даты будущих землетрясений, т.е. заложенные в ее основу геофизические закономерности позволяют дистанционным образом получить ответы на главную триаду вопросов прогноза: "Когда? Где? Какой силы?" произойдет землетрясение.

На рис.2а и 2б представлены космоснимки линейных ОСТИ, трассирующие подводные литосферные разломы соответственно южнее Сахалина перед Невельским землетрясением 02.08.2007г. с $M = 6.8$ и в районе Хоккайдо перед мощным землетрясением 25.09.2003г. с $M = 8.3$, где ОСТИ имел вид "хоккейной клюшки" с указанием на Саппоро.

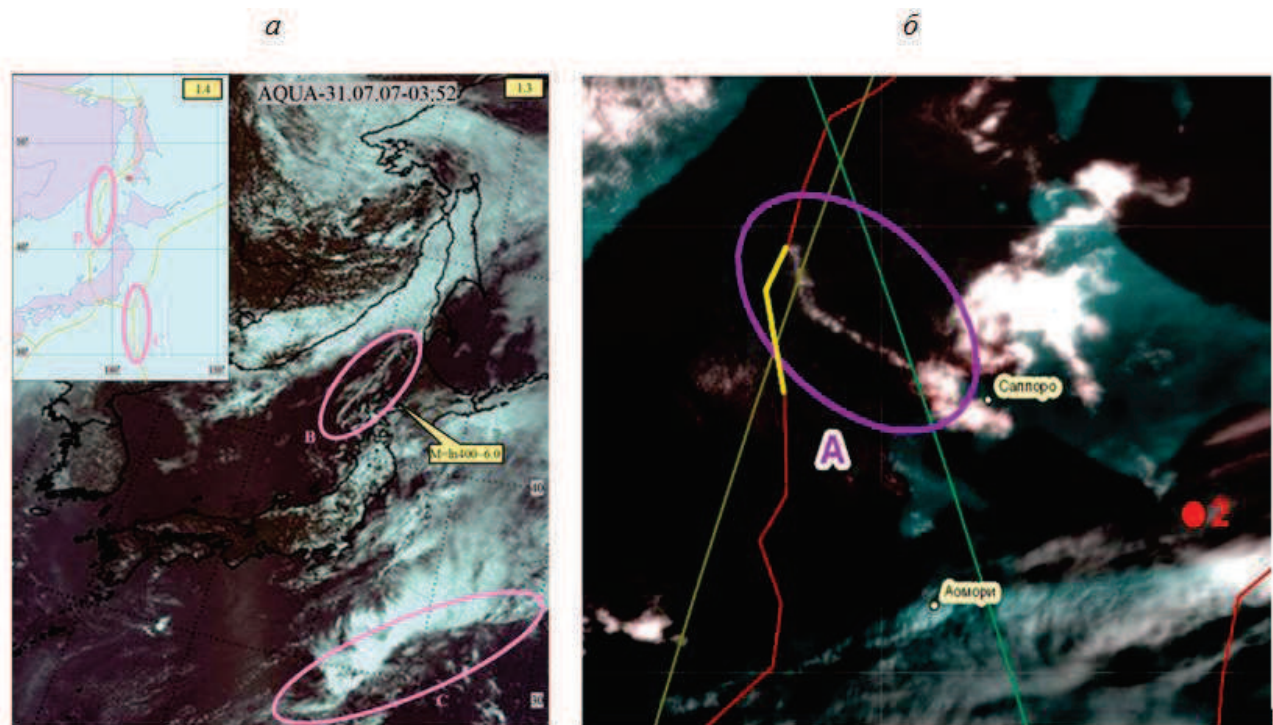


Рис.2. ОСТИ на космоснимках: (а) - перед Невельским землетрясением; (б) - перед мощным землетрясением вблизи Хоккайдо

Дегазационная модель формирования линейных ОСТИ над протяженными подводными литосферными разломами может быть построена с использованием приближения пограничного слоя [8] для плоских затопленных струй на основе МГД-уравнений [9].

Задача при этом распадается на две части: подводную и надводную. Для подводной части считается, что электропроводность морской воды $\sigma = \sigma_0 u$ линейно связана с

продольной скоростью в зоне затопленной дегазационной струи. При выходе этой струи в атмосферу проводимость считается постоянной и рассматривается схема типа струйного течения из сопла конечной ширины при наличии спутного потока с морской поверхности, обусловленного процессами испарения и брызгообразования.

Геометрия подводной части задачи (затопленная струя распространяется вертикально вверх вдоль оси x , геомагнитное поле направлено горизонтально вдоль оси y , а литосферный разлом – вдоль оси z) и уравнения МГД-погранслоя с граничными условиями имеют вид:

$$\begin{cases} u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = v \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - \frac{\sigma B_0^2}{\rho} u, \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \\ y = 0 : v = \frac{\partial u}{\partial y} = 0; \quad y \rightarrow \pm\infty : u = \frac{\partial u}{\partial y} \rightarrow 0. \end{cases} \quad (1)$$

Задача (1) при $\sigma = \sigma_0 u$ замыкается интегральным условием $\frac{d}{dx} \int_{-\infty}^{\infty} u^2 dy = -N x \int_0^{\infty} u^2 dy$, где

$N = 2\sigma_0 B_0^2 / \rho$. Это условие является обобщением закона сохранения импульса [8] в поперечных сечениях струи. Автомодельное решение задачи (1) при $N = const$ и функции тока $\psi = v h(x) f(\eta)$, где $\eta = y / \delta x$ и степенных зависимостях $h(x)$ и $\delta(x)$ описывается системой

$$\begin{cases} f''' + \alpha f f' - \beta f'^2 = 0, \\ \rho h^2(x) = I_0 \delta(x) \exp(-Nx), \\ f(0) = f'(0) = 0, \quad f'(\pm\infty) = 0, \end{cases} \quad (2)$$

где $f' = df/d\eta = u/u_{max}$, а коэффициенты α и β должны быть постоянными и удовлетворять условию $\alpha + \beta = 0$. При $\alpha = -\beta = 1/3$ из (2) получаем классическое уравнение Шлихтинга [8]

$$f''' + \frac{1}{3} f f' + f'^2 = 0 \Rightarrow f \eta = f_* \cdot \text{th} \left(\frac{\eta f_*}{6} \right), \quad (3)$$

где $f_* = f(\infty)$, а без учета геомагнитного поля ($N \rightarrow 0$) имеем следующие асимптотики

$$\psi = v h(x) \cdot f \left(\frac{y}{\delta(x)} \right) \rightarrow 2ax^{1/3} \text{th} \left(\frac{ay}{x^{2/3}} \right), \quad u \rightarrow \frac{2a^2}{3x^{1/3}} \text{sch}^2 \left(\frac{ay}{x^{2/3}} \right),$$

что совпадает с классическим результатом [8], а параметр $a \propto f_*^3$ характеризует угол раствора струи.

Для надводной части задачи при постоянном спутном потоке итоговый результат (3) дает и начально-граничное условие (при выборе конкретных значений f_* и u_{max}) теперь уже для уравнения атмосферного погранслоя, которое заменой переменных сводится к уравнению типа теплопроводности с переменной x вместо времени.

При выполнении ряда дополнительных условий атмосферная струя может достигнуть высот с температурой точки росы, где и начнется процесс конденсации. При ясном небе это приводит к образованию линейных ОСТИ, а при сильной облачности могут возникать ОСТИ в виде “щелей” ясного неба по типу провалов в облачности.

Полученные теоретические формулы и выводы сравниваются с результатами прямого численного моделирования водородной дегазации (рис. 3) из наземных литосферных разломов на основе системы уравнений Эйлера и конвективной диффузии, выполненных в ходе работ по госконтракту Минобрнауки (№ 14.577.21.0109, УИП RFMEFI57714X0109).

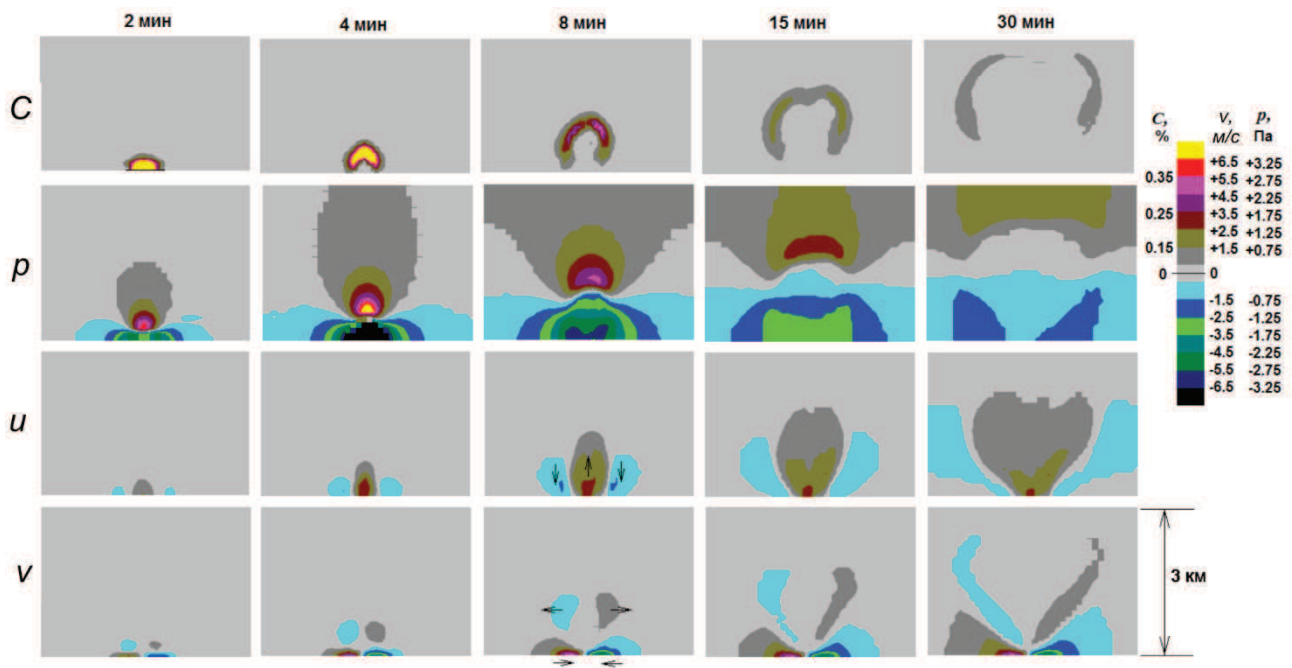


Рис. 3. Результаты численного моделирования: распределения во времени концентрации водорода (C), избыточного давления (p) и скоростей движения воздуха после прекращения выброса водорода из разлома в течение 10 мин (удельная плотность выброса $0.001 \text{ м}^3/\text{мин с } 1\text{м}^2$)

Сравнение теоретических и численных результатов при соответствующем выборе определяющих параметров дает качественно похожие результаты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дода Л.Н., Натяганов В.Л., Степанов И.В. Эмпирическая схема краткосрочного прогноза землетрясений // Доклады Академии Наук. 2013. Т.453, № 5. С. 551-557.
2. Климов В.В. Наноплазмоника. М.: ФИЗМАЛИТ, 2010.
3. Маслов А.К., Натяганов В.Л., Чайка А.А. Плавающие дегазационные струи и световые предвестники землетрясений // Доклады Академии Наук. 2011. Т. 439, №4. С. 534-538.
4. Натяганов В.Л. Ломоносов и загадки природного электричества. Часть 3. Электромагнитная природа световых предвестников землетрясений // Вест. Моск. ун-та, сер. 1, Математика, Механика. 2010. № 3. С. 24-31.
5. Натяганов В.Л., Скибицкий А.Н. Гидроэлектромагнитные механизмы световых предвестников землетрясений // Волны и вихри в сложных средах: 4-я Международная научная школа молодых ученых; 26-29 ноября 2013 г., Москва: Сборник материалов школы. М.: МАКС Пресс, 2013. С. 116-118.
6. Ольховатов А.Ю. Тунгусский феномен 1908 года. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008.
7. Татаринов А.В., Яловик Л.И. Плазмоиды над структурами дегазации Байкальского рифта // Тизетта. 2010. № 3 (13). С.16-22.
8. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1969.
9. Щербинин Э.В. Струйные течения вязкой жидкости в магнитном поле. Рига: Зинатне, 1973.
10. Электромагнитные предвестники землетрясений / Под ред. М.А. Садовского. М.: Наука, 1982.

УДК 550.31

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОСАДОЧНОГО
ЧЕХЛА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВОМОРСКОГО ШЕЛЬФА**

*Никитин Дмитрий Сергеевич
e-mail: ndsnomination@mail.ru
Геологический институт РАН, Москва,*

Аннотация. В последнее десятилетие получены новые данные о строении осадочного чехла северной части Баренцевоморского шельфа. Одним из перспективных методов исследования структурно-геологических особенностей является пространственное моделирование. На основании полученной информации в работе предложена пространственная модель осадочного чехла северо-восточной части Баренцевоморского шельфа.

**VOLUMETRIC GEOLOGICAL MODEL OF NORTH EAST PART BARENTS SEA
SHELF SEDIMENTARY COVER**

*Nikitin Dmitry
e-mail: ndsnomination@mail.ru
Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow*

Summary. During the last decade new data on a structure of Barents Sea shelf Northern part sedimentary cover are obtained. One of the most promising methods for studying structural-geological features is volumetric modeling. Based on the information received, volumetric model of Barents Sea shelf Northern part sedimentary cover was proposed.

В настоящее время арктический шельф России становится самостоятельным объектом государственной политики в области недропользования.

Потребности экономики страны и истощение запасов природных ресурсов в освоенных районах объективно предопределяют увеличение интенсивности поисково-разведочных работ в арктической зоне РФ. В этом регионе сосредоточены основные запасы ряда важнейших полезных ископаемых, которые являются определяющими для развития экономики России.

В течение последних 20 лет ОАО «Морская арктическая геологоразведочная экспедиция» по заказу Федерального агентства по недропользованию «Роснедра» МПР РФ с применением самых современных технологий системно и комплексно выполнила большой объем геологоразведочных работ в северной части Баренцева моря [3]. Полученный массив информации (в виде временных, глубинных и скоростных разрезов, данных гравиметрических и магнитометрических съемок) позволил выполнить комплексную геологическую интерпретацию, направленную на обоснованную оценку углеводородного потенциала [4]. Тем не менее, многие процессы, позволяющие понять природу структурно-геологических неоднородностей, обуславливавших локализацию залежей углеводородов, остаются неясными. Одним из перспективных методов исследования структурно-геологических особенностей является пространственное моделирование [5].

В работе предложена пространственная модель строения осадочного чехла северо-восточной части Баренцевоморского шельфа. Модель позволяет наиболее полно реализовывать привлекаемую информацию, и существенно облегчает выявление важнейших особенностей регионального и локального геологического строения осадочного чехла.

Изучаемая акватория расположена в северо-восточной части Баренцева моря между архипелагами Новая Земля и Земля Франца-Иосифа (Рис. 1). По характеру сейсмических записей и распределению потенциальных геофизических полей изучаемую площадь можно

разделить на две части: северо-западную и юго-восточную. К северо-западной части относится структура Восточно-Баренцевского мегапрогиба. Юго-восточная часть представлена Предновоземельской структурной областью, формируемой поднятиями Адмиралтейства, Панкратьева и Мыса Желания, а также прогибами Седова, Мака, Гольфстрим и Карпова (Рис. 2). Восточно-Баренцевский мегапрогиб, выполненный породами среднепалеозойско-мезозойского возраста, имеет мощность осадочного чехла от 18 до 20 км. Мощность консолидированной части земной коры составляет от 10 до 15 км, граница Мохо находится на глубине от 27 до 33 км. Кора утонена за счет гранитогнейсового слоя [8]. Основные тектонические нарушения фундамента Восточно-Баренцевского мегапрогиба имеют северо-восточное и северо-западное простирания, которые характеризуются как трансформные с правосторонней сдвиговой составляющей.

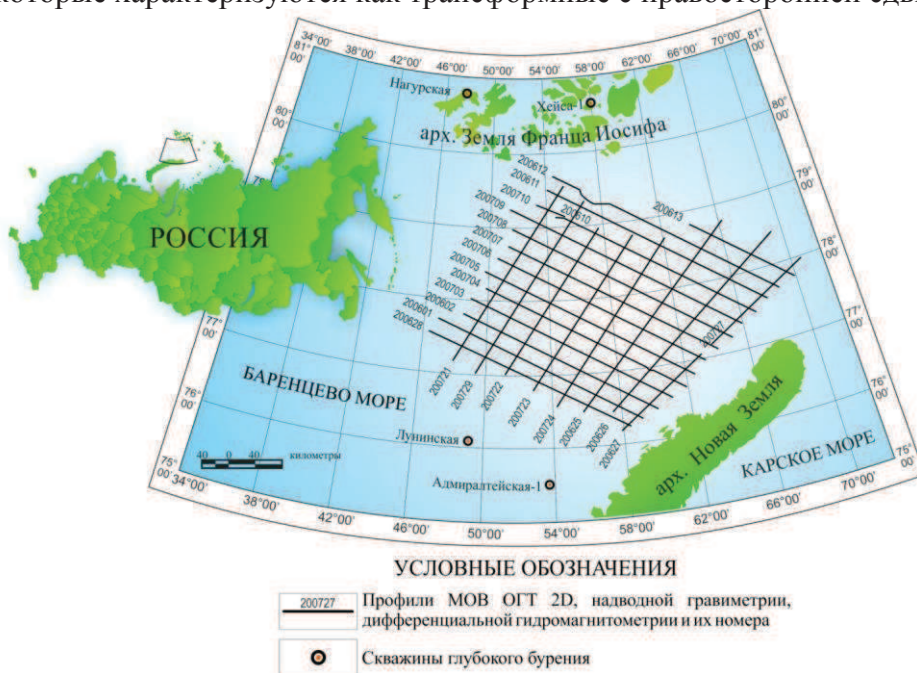


Рис.1 Обзорная карта северной части Баренцево-морского шельфа с расположением сети комплексных геофизических профилей.

При переходе от Восточно-Баренцевского мегапрогиба к Предновоземельской структурной области строение земной коры, форма аномалий потенциальных полей и характер магматизма резко меняются. Поверхность фундамента ступенчато воздымается в юго-восточном направлении и сформирована разноуровневыми блоками, дезинтегрированными и надвинутыми на кристаллическое основание Восточно-Баренцевского мегапрогиба. Мощность земной коры увеличивается до 36–38 км, но при этом наблюдаются значительные колебания мощности осадочного чехла и гранитно-метаморфического слоя.

Граница между Восточно-Баренцево-морским мегапрогибом и Предновоземельской структурной областью прослеживается по зонам глубинных разломов. В центральной части исследуемого района она выражена в магнитном поле широкой, линейной, северо-восточного простирания отрицательной аномалией. Аномальная зона имеет ширину от 40 до 80 км (см. рис. 2). В ее пределах северо-восточные и субмеридиональные надвиги, прослеживаемые от Новоземельского орогена, сменяются сбросами северо-восточного направления. На восточном борту мегапрогиба наблюдается погружение блоков Предновоземельской структурной области. На временных разрезах данной структурной области отмечается внедрение крупных интрузий, верхние кромки которых находятся на глубинах от 8 до 10 км.

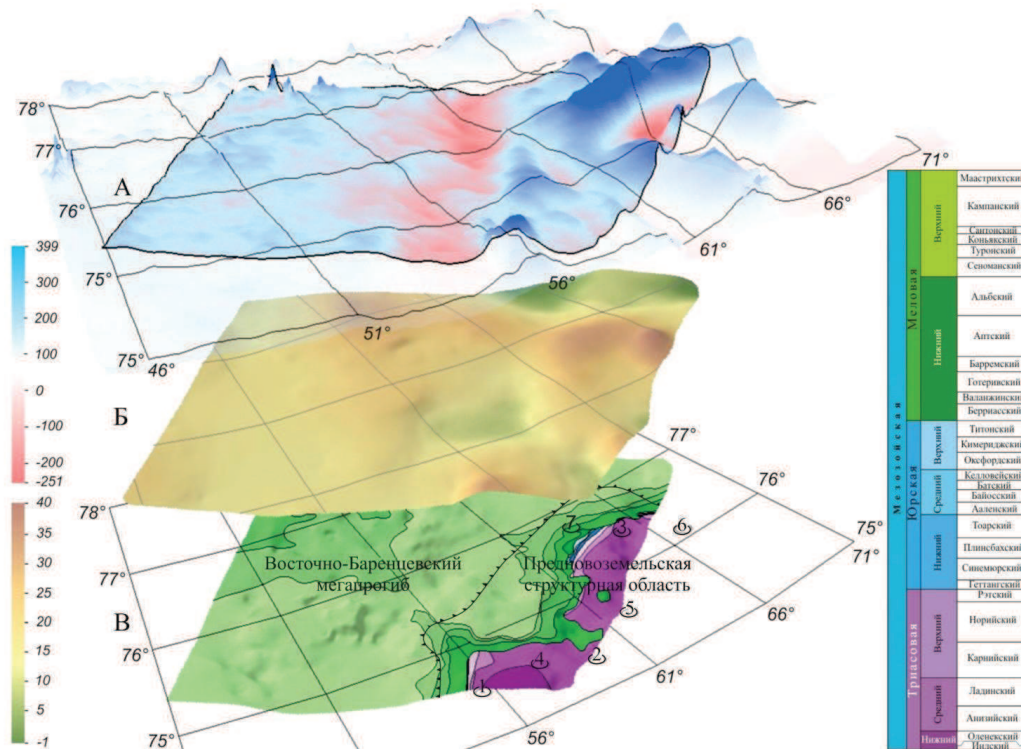


Рис. Карта аномального магнитного поля (А), карта аномального гравитационного поля (Б), геологическая карта дочетвертичных образований (В).

1–3 – приподнятые блоки земной коры: 1-Адмиралтейства, 2-Панкратьева, 3-Мыс Желания; 4–7 – опущенные блоки земной коры: 4-Седова, 5-Мака, 6-Гольфстрим, 7-Карпова

Пространственное моделирование производилось на основе результатов геолого-геофизических исследований (сейсмогеологические разрезы, временные разрезы МОВ ОГТ 2D), выполненных на акватории северной части Баренцевоморского шельфа [1, 6, 7].

Реализация технологии пространственного моделирования включала в себя четыре основных этапа:

- создание геологической модели;
- моделирование геологических процессов;
- оценка перспектив нефтегазаносности;
- моделирование потенциальных полей.

Технология пространственного моделирования реализована с использованием на различных этапах работы различного программного обеспечения (EasyTrace, RockWorks software, Surfer, ArcView/ArcGIS, Micromine, Voxler, Statistica, Geosoft Software, Oasis montaj, COSCAD-3D).

Уровень адекватности и степень приближения пространственной модели к реальной геологической ситуации во многом определялся качеством и достоверностью полученных данных. При этом следует отчетливо понимать, что пространственная модель реального геологического объекта всегда ограничена. Это связано с множеством факторов, главными из которых являются недостаточный уровень информационной обеспеченности о геологическом строении района работ.

По результатам пространственного моделирования получены следующие научные результаты, использование которых в совокупности может служить основой для изучения строения осадочного чехла и современной геодинамики арктического региона. Эти результаты сводятся к следующему:

- На основе созданной пространственной модели северо-восточной части Баренцевоморского шельфа выполнен раздельный прогноз нефтегазаносности.

Модель позволила определить пространственное расположение основных структурно-формационных зон, в том числе и тех, которые контролируют расположение залежей углеводородов.

- На основе разработанной пространственной модели разрывных нарушений, на изучаемой территории выделено три уровня разрывных нарушений (имеющих различное время заложения и структурообразующее влияние: субмеридиональная, северо-восточная и северо-западная). Определены местоположение, геометрические характеристики, количество и пространственное взаимоотношение тектонических нарушений. Исследована роль разрывных нарушений в формировании флюидо-динамических систем.

- На основе построенной пространственной модели распределения глубинных температур и тепловых потоков определены глубины катагенетического преобразования углеводородов в осадочном чехле северо-восточной части Баренцевоморского шельфа, а также проведена пространственная и количественная корреляция геотермического поля и локализации нефтегазоносности. Геотермическое моделирование показало совпадение областей возможного развития ловушек неструктурного типа с зонами катагенетической преобразованности органического вещества.

- На основе выполненного комплексного анализа и численного моделирования потенциальных полей обосновывается наличие в осадочном чехле северо-восточной части Баренцевоморского шельфа сложно построенных интрузивных комплексов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Величко Б.М., Шлыкова В.В., Дьяченко А.Б. и др. Отчет по объекту «Комплексное геолого-геофизическое исследование северо-восточной части Баренцевоморского шельфа». ОАО «МАГЭ». Мурманск. 2010.
2. Журавлев В.С., Раабен М.Е. Гипотеза Баренции в свете современных данных // Тектоника
3. Иванов Г.И. Морская геофизика на самом современном уровне // Нефть. Газ. Новации. – 2014. - № 1. – С. 28-30
4. Казанин Г.С., Шлыкова В.В, Павлов С.П., Шкарубо С.И. // Геологическое строение и нефтегазоносность северной части Баренцева моря // Нефть. Газ. Новации. – 2016. - № 1. – С. 26-29
5. Никитин Д.С., Иванов Д.А. Структурно-тектонические условия нефтегазоносности Северо-Восточной части Баренцевоморского шельфа //Мониторинг. Наука и технологии. 2016. №2 С. 48-54.
6. Павлов С.П. и др. Изучение геологического строения и оценка перспектив нефтегазоносности Пинегинской площади Баренцева моря. Книга 1, 46 граф.прил., 227 с., Мурманск, 2009. Фонды ОАО МАГЭ
7. Павлов С.П. и др. Уточнить геологическое строение и перспективы нефтегазоносности восточного борта Северо-Баренцевской впадины. Книга 1, 26 граф.прил., 249 с., Мурманск, 2008. Фонды ОАО МАГЭ
8. Сакулина Т.С., Верба М.Л., Иванова Н.М., Рослов Ю.В., Беляев И.В. Глубинное строение северной части Баренцево-Карского региона вдоль профиля 4-АР // Сборник материалов 7-го форума Топливо-энергетический комплекс России. С-Пб.: 2007. С. 371–374.

УДК 550.348

**ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 23 ИЮНЯ 2016 Г.
В ПРЕДЕЛАХ МОСКОВСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ**

*Носкова Наталья Николаевна
noskova@geo.komisc.ru*

Институт геологии имени академика Н.П. Юшкина Коми НЦ УрО РАН, Россия, Сыктывкар

Аннотация. Приводятся результаты инструментальной обработки записей землетрясения 23 июня 2016 г., произошедшего в Тотемском районе Вологодской области. В тектоническом отношении событие приурочено к Среднерусскому авлакогену Московской синеклизы Русской плиты, территория которой характеризуется слабой сейсмичностью.

JUNE 23, 2016 EARTHQUAKE IN THE MOSCOW SYNECLISE

*Nataliya Noskova
noskova@geo.komisc.ru*

*Institute of Geology of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy
of Sciences, Russia, Syktyvkar*

Summary. We present the results of instrumental data processing of the earthquake records of June 23, 2016, in the Vologda region. Tectonically the seismic event is confined to Mid-Russian aulacogen of the Moscow syncline of the Russian plate, which territory is characterized by low-magnitude seismicity.

23 июня сейсмостанциями Института геологии (ИГ) Коми НЦ УрО РАН в г. Сыктывкаре (SYK), с. Грива (GRV) Койгородского района и с. Пожег Усть-Куломского района (PZG) зарегистрировано региональное событие. Станции оснащены регистраторами SDAS и UGRA (ООО «НПП Геотех+», Обнинск совместно с Федеральным исследовательским центром «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (ФИЦ ЕГС РАН)) и короткопериодными сейсмометрами (0.1–20 Гц) СМЗ-КВ с 16-разрядным (SDAS) и 24-разрядным (UGRA) АЦП.

Были также получены сейсмические записи (рисунок) станций «Климовская» (KLM), «Пермогорье» (PRG), «Андозеро» (ADZ) Архангельской сейсмической сети (FCIAR), «Киров» (KIRV) и «Арти» (ARU) ФИЦ ЕГС РАН и IMS СТВТО (Вена), «Апатиты» (APA0) Кольского филиала ФИЦ ЕГС РАН (КоФ ФИЦ ЕГС РАН) и сейсмической группы «ARCESS Array» (ARCES) норвежского сейсмологического центра *NORSAR*. Эпицентральные расстояния составили от 260 (KLM) до 1400 км (ARCES), азимутальное окружение 12.3–337.3°, максимальная азимутальная брешь – 235°.

Определение параметров гипоцентра землетрясения 23 июня выполнялось в программных комплексах WSG [3] и NAS, которая в свою очередь, является подпрограммой системы NSDL [10], предназначенной для организации автоматического мониторинга сейсмической активности. Использовался годограф для Восточно-Европейского кратона [16], дополненный глубокими слоями модели АК-135.

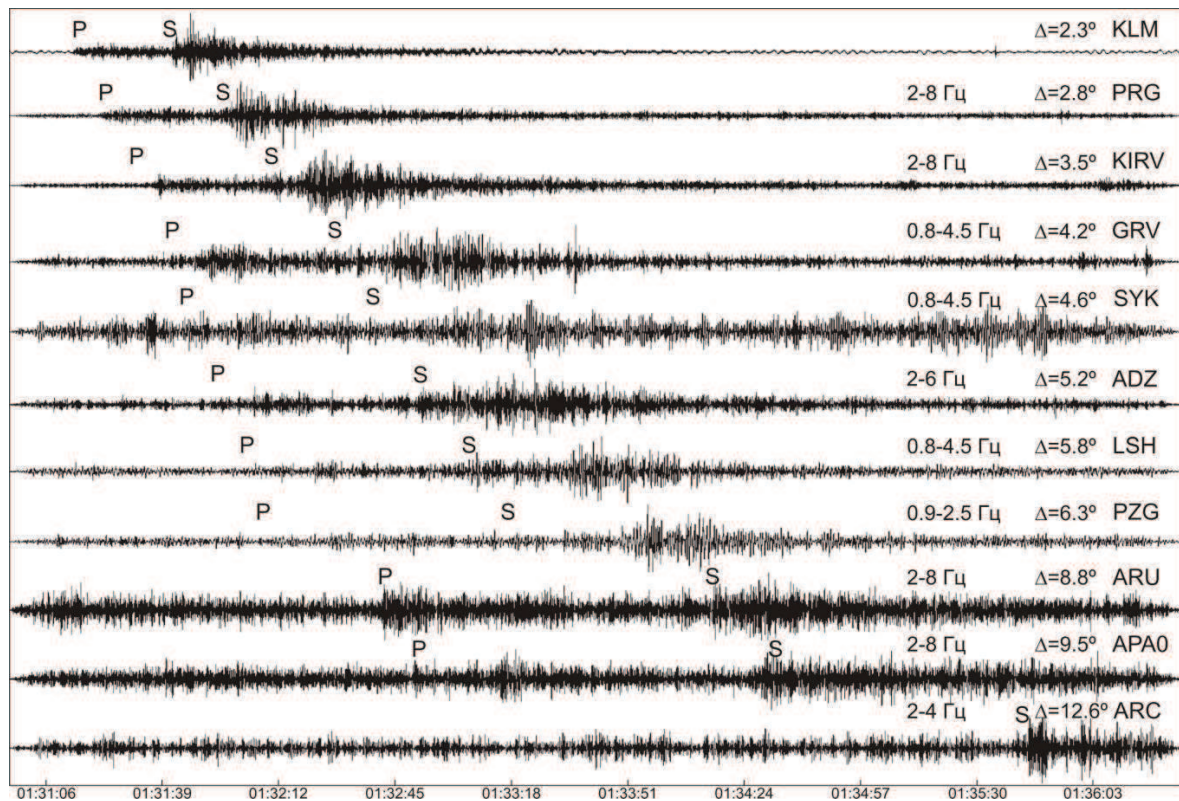


Рисунок. Фрагменты записей вертикальной компоненты землетрясения 23 июня 2016 г., расположенные по времени прихода первой фазы

Параметры сейсмического события 23 июня 2016 г. рассчитанные в WSG: время в очаге $t_0 = 01^{\text{h}}30^{\text{m}}34^{\text{s}}$ (UTC), координаты – 59.214N, 42.821E при фиксированной глубине 5 км, энергетический класс по Т. Г. Раутиан $K_r = 10$, локальная магнитуда $M_L = 3.4/3$. В программе NAS добавлены времена вступлений P- и S-волн станции «FINESS Array» из бюллетеня NORSAR. В результате уточнения в программе NAS получено близкое решение: $t_0 = 01^{\text{h}}30^{\text{m}}33.9^{\text{s}}$, 59.2216N, 42.8391E, эллипсы ошибок $R_{\text{minor}} = 7.1$ км, $R_{\text{major}} = 14.8$ км. Информация о сейсмическом событии имеется в бюллетене сейсмологического центра NORSAR $t_0 = 01^{\text{h}}30^{\text{m}}40^{\text{s}}$, 59.32N, 42.35E, $M = 2.97/4$ [15]. Разброс координат эпицентра с данными NORSAR составляет 30 км.

Эпицентр землетрясения, по нашим расчетам, располагался в Тотемском районе Вологодской области, в 4 км севернее границы с Костромской областью. Данная территория характеризуется низким уровнем сейсмичности. Однако в истории все же есть упоминания о том, что и на территории Вологодской области случались толчки, которые ощущали местные жители. Об одном из них есть упоминание в летописи. Так, в 13 веке под Тотьмой на берегах Северной Двины «был сильный тряс» [1]. В интернете также фигурирует землетрясение Вологодской области 1829 г., от которого даже падали с церковью кресты и в стенах и фундаментах зданий появлялись трещины [1, 4]. Запись о нем мы нашли в Карточном каталоге землетрясений Восточно-Европейской платформы и сопредельных областей [2]. Данное событие зафиксировано 1 сентября 1829 г. в 2 часа дня на территории Вологодского удельного имения Черевковской волости на протяжении 30 верст, Сольвычегодского уезда и Архангельского имения Шенкурского уезда. Однако выше обозначенное землетрясение приурочено не к территории современной Вологодской области, а к Архангельской области.

На сайте консорциума IRIS [12] представлена информация о землетрясении 10 июня 1996 г. на территории Вологодской области в 88 км северо-восточнее от эпицентра 23 июня 2016 г. Данные об этом событии имеются также в Международном сейсмологическом центре (ISC) [13] и норвежском центре NORSAR [14]. Параметры события 10 июня 1996 г. по данным различных сейсмологических центров представлены в таблице.

Таблица. Параметры события 10.06.1996 г. по данным различных сейсмологических центров

Источник	Время в очаге, t_0 , чч:мм:сс	φ , °N	λ , °E	Эллипс ошибок, км		Магнитуда, M	Глубина
				R_{minor}	R_{major}		
NAS, уточнение	17:16:46.7	59.828	43.675	13.71	19.61		
ISC http://www.isc.ac.uk/ IRIS http://ds.iris.edu	17:16:45.68	60.004 9	43.628 9	24.4	83		33.0f
EIDC http://www.isc.ac.uk/	17:16:47.0	59.74	43.11			$ML=4.1/4$	0
BER http://www.isc.ac.uk/	17:16:42.9	59.767	44.081				
AAA http://www.isc.ac.uk/	17:16:47.7	59.869	43.81			3.6	10
HEL http://www.isc.ac.uk/	17:16:52.0	59.94	43.22			$ML=4$	
NORSAR http://www.norsardata.no	17:16:49.0	60.05	43.43	9.29	11.2	3.28/6	

Землетрясение 10 июня 1996 г. было переложено нами в программе NAS по бюллетеням ISC, NORSAR и ЕГС РАН [7]. Уточнение выполнено по 30 фазам Р, S-волн 20 станций, с эпицентрными расстояниями от 580 («Москва») до 2290 км («Норильск»). Полученные в NAS координаты 59.828N, 43.675E согласуются с решениями различных сейсмологических центров (см. табл.). Расхождения составляют от 20 до 33 км. Землетрясение произошло в Бабушкинском районе Вологодской области, в 30 км северо-восточнее с. им. Бабушкина.

В тектоническом отношении события 1996 и 2016 гг. приурочены к Среднерусскому авлакогену Московской синеклизы. Авлакоген выражен цепочками кулисно-сопряженных сдвиго-сбросовых грабенов, протягивающихся на расстояние свыше 1000 км [8]. Северные и южные борты грабенов на всем протяжении ограничены крупными разломами, достаточно четко выделяемыми по данным сейсморазведки. Поверхность фундамента имеет общий региональный наклон в северо-восточном направлении от 2500–3000 м в Валдайской до 4500–5500 м в Московской и Солигаличской впадинах [9]. Среднерусская система палеорифтов относится к главным сутурам и зонам сочленения крупных сегментов раннепротерозойского фундамента Восточно-Европейского кратона: Фенноскандии, Сарматии и Волго-Уралии, образовавших единую литосферную плиту в раннем протерозое [11].

Для северо-востока Русской плиты характерны проявления слабой сейсмичности. Известны исторические землетрясения, а также зафиксированы инструментальные. Так, например, 3 и 5 июля 2015 г. произошли сейсмические события на границе Московской синеклизы и Волго-Уральской антеклизы [6]. 6 апреля 2016 г. было зафиксировано событие в пределах Волго-Уральской антеклизы [5]. Регистрация сейсмических событий в северо-восточной части Русской плиты свидетельствует о ее неотектонической и сейсмической активизации на современном этапе.

Автор глубоко признателен к.ф.-м.н. В. Э. Асмингу (Коф ЕГС РАН, Апатиты) за содействие в освоении программы NAS, а также коллегам из ЕГС РАН гг. Архангельска и Перми за предоставленные записи сейсмических событий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Землетрясение еще возможно // Газета «Речь» 13.01.2016. URL: <http://www.35media.ru/articles/2016/01/13/zemletryasenie-eshhe-vozmozhno> (дата обращения 01.06.2017).

2. Карточный каталог землетрясений Восточно-Европейской платформы и сопредельных областей // Белорусский сейсмологический бюллетень. 1991. Вып. 1. С. 21–85.
3. Красилов С. А., Коломиец М. В., Акимов А. П. Организация процесса обработки цифровых сейсмических данных с использованием программного комплекса WSG // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Материалы международной сейсмологической школы, посвященной 100-летию открытия сейсмических станций «Пулково» и «Екатеринбург». Обнинск: ГС РАН, 2006. С. 77–83.
4. Могло ли произойти землетрясение... // Московский комсомолец 19.01.2016. URL: <http://vologda.mk.ru/articles/2016/01/19/moglo-li-proizoyti-zemletryasenie-na-vologodchine-otvety-ekspertov.html> (дата обращения 01.06.2017).
5. Носкова Н.Н. Землетрясение 6 апреля 2016 года в Кировской области // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XI Международной сейсмологической школы / Отв. редактор А.А. Маловичко. Обнинск: ГС РАН, 2016. С. 236–238.
6. Носкова Н.Н. Землетрясения 3 и 5 июля 2015 года на западе Волго-Уральской антеклизы // Глубинное строение, минерагения, современная геодинамика и сейсмичность Восточно-европейской платформы и сопредельных регионов: материалы XX Всероссийской конференции с международным участием / под ред. Н.М.Чернышова, Л.И. Надежка. Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2016. С. 271–273.
7. Французова В. И. Анализ результатов сейсмического мониторинга // Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы Кн.1. Землетрясения / Под ред. Н. В. Шарова, А. А. Маловичко, Ю. К. Щукина. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. С. 242–254.
8. Чамов Н. П. Влияние локальных источников кластики на состав тяжелой фракции песчаников Среднерусского авлакогена (Восточно-Европейская платформа) // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2015. №1. С. 153–156.
9. Шахновский И. М. Строение и нефтегазоносность авлакогенов Восточно-Европейской платформы. Изв.АН СССР, сер.геол.,1988. № 12. С. 99–109.
10. Asming V., Prokudina A. System for automatic detection and location of seismic events for arbitrary seismic station configuration NSDL // ESC 2016-373, 35th General Assembly of the European Seismological Commission, 4–10 September, 2016.
11. Bogdanova S. V., Pashkevich I. K., Gorbatshev R., Orlyuk M. I. Riphean rifting and major Palaeoproterozoic crustal boundaries in the basement of the East European Craton: geology and geophysics // Tectonophysics. 1996. Vol. 268. P. 1–21.
12. Incorporated Research Institutions for Seismology. URL:<http://ds.iris.edu> (дата обращения 25.05.2017).
13. International Seismological Centre. On-Line Bulletin. URL:http://www.isc.ac.uk/cgi-bin/web-db-v4?event_id=605287631&out_format=IMS1.0&request=COMPREHENSIVE (дата обращения 25.05.2017).
14. NORSAR GBF Bulletins. URL:<http://www.norsardata.no/NDC/bulletins/gbf/1996/GBF96162.html> (дата обращения 25.05.2017).
15. NORSAR. On-Line Bulletin. URL:<http://www.norsardata.no/NDC/bulletins/gbf/2016/GBF16175.html> (дата обращения 01.06.2017).
16. Schueller, W., I. B. Morozov, and S. B. Smithson (1997), Crustal and uppermost mantle velocity structure of northern Eurasia along the profile Quartz, Bull. Seismol. Soc. Am. 87: 414–426.

УДК 553.7.031.5, 550.389.1

**МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ЮЖНОЙ КАМЧАТКИ**

Нуждаев Иван Алексеевич, Феофилактов Сергей Олегович, Денисов Денис Константинович

e-mail: ivandf@kscnet.ru

e-mail: serg415@kscnet.ru

e-mail: fitzlikefitz@gmail.com

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия

Аннотация. На Нижне-Кошелевском и Паужетском геотермальных месторождениях (Южная Камчатка) проведена магнитная съемка современными магнитометрами GSM-19W на эффекте Оверхаузера по оригинальной методике. По полученным материалам построены карты аномалий магнитного поля ΔT_a . Интерпретация карт позволяет выделить: систему субширотных тектонических нарушений; области распространения интенсивно аргиллизированных горных пород; участки, перспективные для поиска сухого пара или перегретых гидротерм.

**MAGNETOMETRIC RESEARCH ON GEOTHERMAL DEPOSITS OF SOUTH
KAMCHATKA**

Nuzhdaev Ivan Alekseevich, Feofilaktov Sergei Olegovich, Denisov Denis Konstantinovich

e-mail: ivandf@kscnet.ru

e-mail: serg415@kscnet.ru

e-mail: fitzlikefitz@gmail.com

Institute of volcanology and seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

Summary. At the Nuzhne-Koshelevskoye and Pauzhetsky geothermal deposits (South Kamchatka), a magnetic survey was carried out with modern magnetometers GSM-19W on the Overhauser effect using an original technique. Based on the data obtained, maps of the magnetic field anomalies ΔT_a are constructed. Interpretation of the maps allows us to distinguish: a system of sublatitudinal tectonic disturbances; areas of intensively argillated rocks; areas that are promising for the search for dry steam or superheated fluids.

В 1958-1964 гг. на юге Камчатки было разведано Паужетское геотермальное месторождение, с которого и началось развитие геотермальной энергетики на полуострове. В 1966 г. введена в эксплуатацию первая в СССР и России Паужетская опытно-промышленная геотермальная станция. В настоящее время наблюдается снижение параметров (температуры, объем вырабатываемого сухого пара) эксплуатационных участков Паужетского месторождения. Последнее, помимо возможных технических причин, связано с недостаточной геологической изученностью месторождения. В частности, требуется существенная корректировка геолого-гидрогеологической модели, сформулированной В.В. Аверьевым с коллегами [7], на которой до настоящего времени основана эксплуатация месторождения. Очевидна необходимость проведения дополнительных комплексных геолого-геофизических работ, в том числе и магнитометрии.

В 18 км юго-западнее от Паужетского месторождения, на склоне действующего вулкана Кошелева, расположено Нижне-Кошелевское геотермальное месторождение. В период разведки в 1970-80-ые годы было проведено бурение скважин, в районе Нижне-Кошелевской термоаномалии оконтурена зона перегретого (сухого) пара, распространяющаяся на глубину более 1.5 км. Установлено пародоминирующее

геотермальное месторождение электрической мощностью ≥ 90 МВт [3]. Но остается не решенными ряд вопросов: о границах месторождения, об источнике и переносе тепла, о физической природе геологических структур. Это послужило основанием для проведения дополнительных геофизических исследований на площади месторождения, в том числе магнитометрической съемки.

Нижне-Кошелёвское месторождение

На объекте исследования магнитная съемка выполнялась в два этапа. На первом в 2010-2011 г.г. магнитометрические исследования проводились в центральной части месторождения магнитометрами ММП-203 [5]. На втором этапе в марте 2015 г. площадная магнитометрическая съемка выполнялась по нерегулярной сети с использованием современных магнитометров на эффекте Оверхаузера GSM-19W v7.0, что повысило точность съемки и производительность работ. Один прибор использовался для проведения рядовых измерений на площади, а другой в качестве магнитовариационной станции. Интервал между измерениями на магнитовариационной станции составлял 20 с, что позволило детально охарактеризовать суточные вариации магнитного поля. Для увеличения скорости съёмки и как следствие площади измерений оператор с магнитометром буксировался за снегоходом на лыжах. Измерения выполнялись в ручном режиме, с временным интервалом 6 с, средняя скорость движения снегохода составила 5-10 км/ч. Высота магниточувствительного датчика составляла 2.2 м, что снизило влияние содержащегося металла в лыжах и ботинках до $\pm 2-3$ нТл. Буксировка осуществлялась капроновым канатом на расстоянии 10 м, тем самым, исключая влияние помех, создаваемых снегоходом. Перед проведением площадных работ был проведен азимутальный ход, погрешность измерений составила ± 1 нТл. Мощность снегового покрова составляла от 1 до 5 м и при построении карты аномального магнитного поля не учитывалась. Было выполнено 15500 рядовых замеров магнитного поля на территории 13 км², среднеквадратическая погрешность съемки составила ± 19 нТл. По материалам магнитной съемки построена карта аномалий магнитного поля ΔT_a (рис. 1).

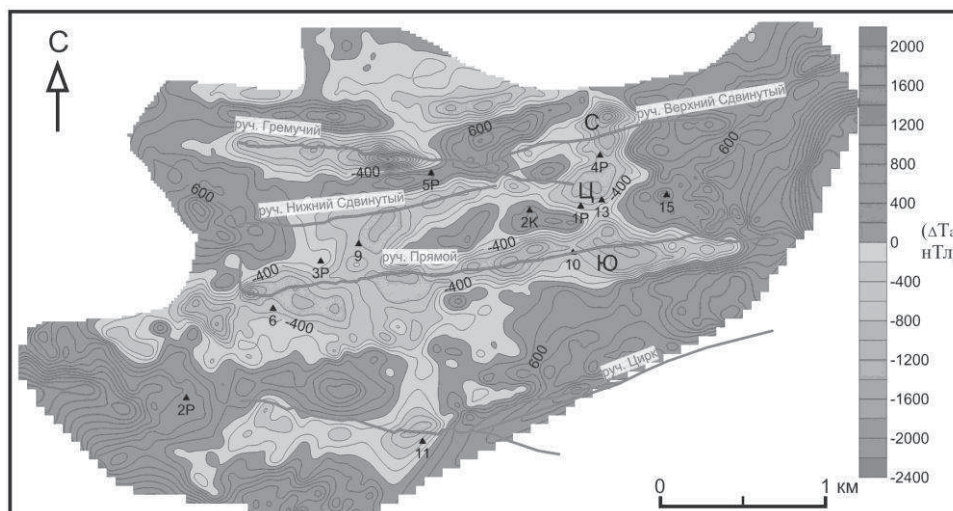


Рис.1 Карта аномалий магнитного поля ΔT_a в районе Нижне-Кошелёвского геотермального месторождения.

Основным объектом, выделяемым по карте ΔT_a , являются области и зоны измененных пород, которые непосредственно отображают современную и древнюю гидротермальную деятельность. Как известно, гидротермально измененные породы отличаются практически нулевой магнитной восприимчивостью. На этом основании с измененными породами связываются отрицательные аномалии ΔT_a - как линейные, так и площадные. Области с положительными значениями ΔT_a приурочены к неизменным и слабо гидротермально измененным высокомагнитным породам Кошелёвского вулканического массива. На исследуемой площади выделены вытянутые в широтном направлении отрицательные

аномалии ΔT_a : Северная (С), Центральная (Ц) и Южная (Ю). Образование Южной аномалии связано с субширотной тектонической зоной, которая трассируется долиной руч. Прямого [5]. Сопряженная с этой зоной отрицательная магнитная аномалия интерпретируется выщелачиванием из пород ферромагнитных минералов в процессе палеогидротермальной деятельности: здесь по данным бурения установлены пропилиты и вторичные кварциты в широком интервале глубин [6]. Центральная аномалия распространяется в области разгрузки современных парогидротерм, где происходит активная аргиллизация пород и окисление магнитных фракций. Продолжение этой аномалии в западном направлении связано с тектоническим нарушением (руч. Нижний Сдвинутый). Северная область отрицательных значений ΔT_a пространственно тяготеет к зоне разрывного тектонического нарушения (руч. Верхний Сдвинутый) и, возможно, связана с геотермальной структурой на глубине [5]. Эта область может быть перспективной для поиска сухого пара или перегретых гидротерм. Крупная отрицательная аномалия в районе скв. 5Р (руч. Гремучий) приурочена к участку интенсивно аргиллизированных пород.

Паужетское месторождение

Современная площадная магнитная съемка на Паужетском месторождении выполнялась на площади 11 км² в марте 2014 года [4]. Контрольные измерения выполнены в объеме 9 % от общего количества точек – 10784, среднеквадратическая погрешность съемки составила ± 18 нТл.

На основании полученных материалов была построена площадная карта распределения аномального магнитного поля ΔT_a для основной части Паужетского месторождения (рис. 2). В сравнении с картой аномалий магнитного поля ΔT_a для Нижне-Кошелевского месторождения, на Паужетском геотермальном месторождении мы видим другую картину распределения магнитного поля. На фоне положительных значений выделяются две крупные области отрицательного магнитного поля. Спокойное слабо отрицательное магнитное поле в СЗ области, большое количество мелких, локальных изометричной формы аномалий в ЮВ части.

СЗ область включает в себя обширное поле налевой террасе р. Паужетка, а также все известные разгрузки гидротерм на дневной поверхности. К ним относятся Южно-Паужетское, Нижне-Паужетское и Верхне-Паужетское (участок 1 на рис. 2) термальные поля. В целом, эта область относится к зоне латерального растека гидротермальных растворов Паужетской гидротермальной системы, чем, видимо, и объясняется слабо дифференцированное отрицательное магнитное поле.

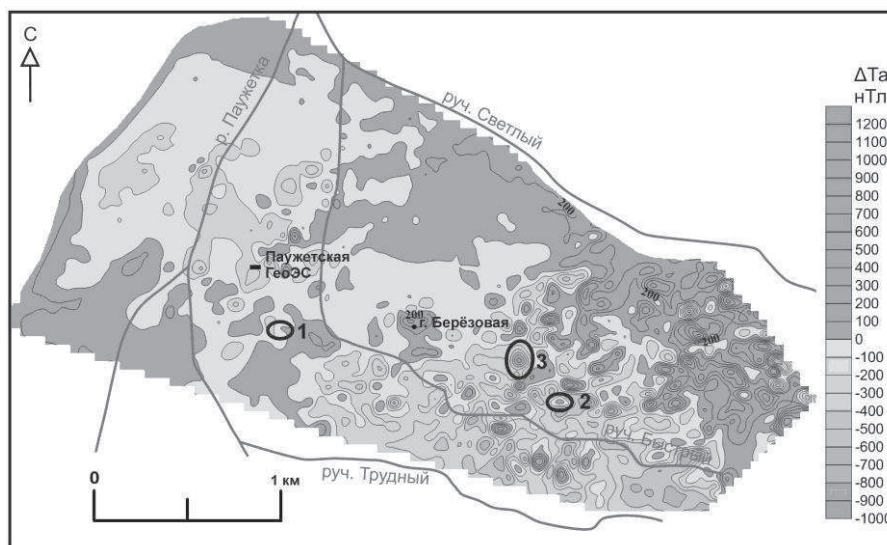


Рис. 2 Карта аномального магнитного поля ΔT_a для Паужетского геотермального месторождения.

ЮВ область отличается от СЗ области отрицательных значений ΔT_a наличием большого числа разно знаковых локальных аномалий ΔT_a . По результатам зимних магнитометрических исследований выделена крупная отрицательная магнитная аномалия (участок 3 на рис. 2). В последующий летний полевой сезон (август 2014 г.) ее границы были локализованы, выделены два центра со значениями ΔT_a до -2000 нТл. Этот участок может быть перспективным для поиска перегретого пара или гидротерм. Крупная относительно изометричная аномалия положительных значений ΔT_a выделяется в районе горы Березовая, которая ранее по косвенным данным описывалась как экструзия дацитового состава [1]. Наши данные подтверждают наличие здесь крупного, по-видимому, экстрезивно-субвулканического тела, но имеющего основной или средний состав.

Особый интерес вызывает результат магнитной съемки в районе Восточно-Паужетского термального поля (участок 2 на рис. 2). На общем фоне отрицательных значений ΔT_a в центральной части термального поля выделяется положительная магнитная аномалия со значениями ΔT_a до $+505$ нТл. Этот результат подтверждает данные микромагнитной съемки, проведенной ранее в летний полевой период (август 2013 г.) (рис.3). Мы полагаем, что положительная магнитная аномалия в центре термального поля может свидетельствовать в пользу внедрения субвертикального интрузивного тела основного-среднего состава, кровля которого приближена к дневной поверхности и с которым собственно связано образование тектоно-магматического поднятия Восточно-Паужетского термального поля [8].

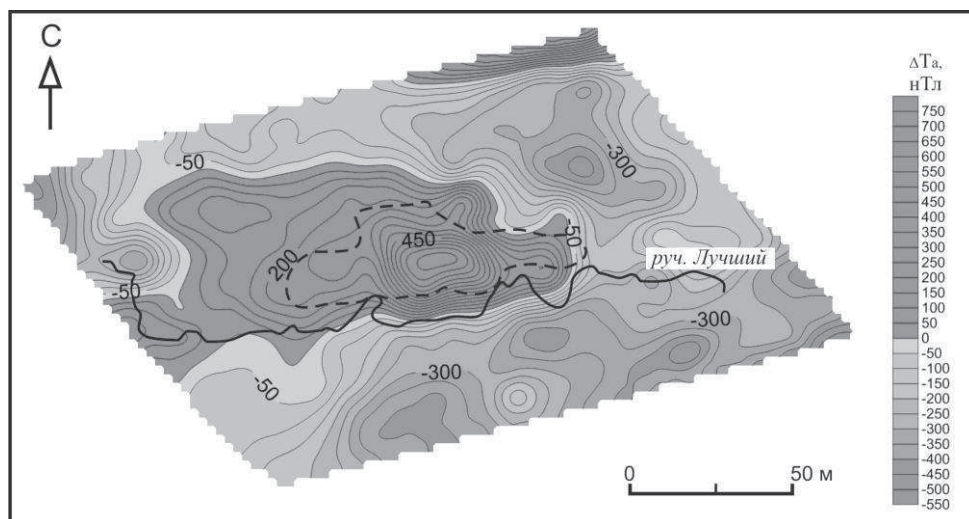


Рис. 3 Карта аномалий магнитного поля ΔT_a в районе Восточно-Паужетского термального поля.

Для интерпретации положительной магнитной аномалии были построены графики по профилям С–Ю. Обратная задача решалась методом касательных и характерных точек [2]. Асимметрия графиков свидетельствует о наклонном залегании аномалообразующего объекта (субинтрузивного тела) шириной около 30-40 м, с резкой границей на юге и более плавной в северной части. Глубина верхней кромки тела, создающего аномалию, находится в интервале глубин 13-23 м, а мощность по нашим представлениям не превышает 200 м. Породы таких тел, обладающие кристаллической структурой, менее подвержены гидротермальным изменениям, чем вмещающие их лавы или туфы. Вероятно, с внедрением этого тела может быть связано и образование самого Восточно-Паужетского термального поля. Обширная область отрицательных значений ΔT_a вокруг этой аномалии может указывать на наличие скрытой разгрузки гидротермальных растворов, приуроченной к эндо-экзоконтактной зоне субинтрузивного тела [8].

В целом, вся ЮВ область представляет повышенный интерес на предмет выделения здесь локальных геологических структур (тектонических или тектоно-магматических блоков), которые могут контролировать потоки геотермального теплоносителя.

Таким образом, по результатам магнитометрических исследований получены следующие данные. На площади Нижне-Кошелевского геотермального месторождения выделены: 1) группа связанных между собой субширотных тектонических нарушений; 2) области распространения интенсивно аргиллизированных пород; 3) участки, перспективные для поиска сухого пара или перегретых гидротерм. На площади Паужетского геотермального месторождения прослеживается: 1) слабо дифференцированное отрицательное магнитное поле в зоне латерального растека гидротерм; 2) локальные положительные магнитные аномалии на общем фоне отрицательных значений, которые интерпретируются нами как близповерхностные субинтрузивные тела основного-среднего состава. Такие тела были вскрыты некоторыми скважинами (R-102, R-111, R-123,) в структуре Паужетского геотермального месторождения (архивные данные).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-05-00007) и Дальневосточного отделения РАН (проект 15-1-2-065).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоусов В.И. Геология геотермальных полей в современных вулканических областях. М.: Наука, 1978. 178 с.
2. Гершанок Л.А. Магниторазведка. Перм. ун-т. – Пермь, 2006. 364 с.
3. Писарева М.В. Зона природного пара Нижнекошелевского геотермального месторождения // Вулканология и сейсмология. 1987. № 2. С. 52-63.
4. Нуждаев И.А., Феофилактов С.О. Зимние магнитометрические исследования на Паужетском геотермальном месторождении: методика, краткие результаты // Материалы XII Региональной молодёжной научной конференции « Исследования в области наук о Земле». Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2014. С. 75-84.
5. Нуждаев И.А., Феофилактов С.О. Современное состояние изученности строения центральной части Нижне-Кошелевского геотермального месторождения (Южная Камчатка) и результаты магнитной съемки // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2013. № 2. Выпуск № 22. С. 231-241.
6. Поздеев А.И., Нажалова И.Н. Геология, гидродинамика и нефтегазоносность Кошелевского месторождения парогидротерм // Вулканология и сейсмология. 2008. № 3. С. 32-45.
7. Паужетские горячие воды на Камчатке. М.: Наука, 1965. 208 с.
8. Феофилактов С.О., Рычагов С.Н., Букатов Ю.Ю и др. Новые данные о строении зоны разгрузки гидротерм в районе Восточно-Паужетского термального поля (Южная Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2017 (в печати).

УДК:528.2: 550.34

ОБРАБОТКА, АНАЛИЗ И ПРИМЕНЕНИЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ GPS/ГЛОНАСС ОБСЕРВАТОРИИ «АРТИ»

*Овчаренко Аркадий Васильевич¹, Кусонский Олег Александрович²,
Русинова Валентина Викторовна³*

¹Ark-ovcharenko@yandex.ru

²zavlab@arudaemon.gsras.ru

³valya@arudaemon.gsras.ru

^{1,2,3}Институт геофизики УрО РАН, г., Россия, Екатеринбург

Аннотация. Описаны обработка, анализ и использование временных рядов GPS/ГЛОНАСС обсерватории Арти, длительность которых составляет 18 лет. Кроме традиционного вычисления скорости движений, анализируются периодические годовые смещения, скорость накопления широтных и долготных деформаций. Временные ряды используются, вместе с другими геодинамическими данными, при создании 4D-модели деформационного процесса Уральского региона.

PROCESSING, ANALYSIS AND APPLICATION OF TIME SERIES OF GPS/GLONASS OF ARTI OBSERVATORY

*Ovcharenko Arkadi Vasilevich¹, Kusonsky Oleg Aleksandrovich²,
Rusinova Valentina Viktorovna³*

¹Ark-ovcharenko@yandex.ru

²zavlab@arudaemon.gsras.ru

³valya@arudaemon.gsras.ru

^{1,2,3}Institute of geophysics Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Russia, Ekaterinburg

Summary. Processing, the analysis and use of time series GPS/GLONASS of observatory of Arti which duration makes 18 years are described. Except traditional calculation of speed of movements, periodic annual shifts, speed of accumulation latitudinal/longitudinal deformations are analyzed. Time series are used, together with other geodynamic data, during creation of 4D-model of deformation process of the Ural region.

Введение. Традиционное использование рядов GPS/ГЛОНАСС состоит в вычислении скоростей горизонтальных смещений реперов и построении карт векторов горизонтальных движений. Достижение необходимой миллиметровой точности возможно только при длительных непрерывных наблюдениях. Новые применения рядов GPS/ГЛОНАСС могут заключаться в анализе изменчивости скоростей смещений, вычислении скорости накопления деформаций, использовании при деформационном 4D-моделировании, а также совместном анализе с данными гравиметрического мониторинга.

Аппаратура приема спутников ГЛОНАСС позволяет также принимать сигналы GPS спутников. Для учета изменчивости ионосферной задержки используется метеодатчик WXT510, установленной на крыше технического здания обсерватории «Арти» (рис.1). Для приема используется навигационная антенна GNSS-750 (типа NOVATEL с кольцами подавления многолучевости) и приемник TRE-G3TAJ (типа Javad).

Общий вывод из данных площадного мониторинга (рис.2) состоит в том, что Русская платформа, складчатый Урал и Западно-Сибирская плита движутся почти синхронно не вызывая накопления значительных напряжений в пределах региона. Эллипсы у векторов показывают доверительную область направления векторов. Обработка 36-часовых рядов мониторинга выполнена по программе Gamit, а построение карты с применением Glob/Key. Мониторинг на каждом репере проводился ежегодно сессиями по 36 часов протяжении 3-4

лет в соответствии с [2]. Использовались геодезические реперы площадок Уральской Гидрометеослужбы [3, 4, 5].

Для подтверждения этого рассмотрим детально временные ряды GPS/ГЛОНАСС обсерватории Арти. На обсерватории использовалась аппаратура AshtechZ-12 с антенной Thales Navigation. Регистрация ведется с дискретностью 15 сек.



Рис.1. Антенны и метеодатчики станции ARTU. Расположены на крыше устойчивого кирпичного одноэтажного здания с открытым небосводом. GPS-антенна справа, ГЛОНАСС - слева

Результаты и их обсуждение. Вычисляются среднесуточные ряды смещений. На рис. 3 представлены ряды за 1999-2016 гг. Стратегия анализа этих рядов состоит в постепенном выявлении тех медленных смещений, которые ведут к накоплению упругих деформаций, приводящих в итоге к разрушению среды и землетрясению.

Обработка этих рядов состояла в изучении и удалении тренда, вычислении гистограмм и спектров распределения остаточных смещений. Выявлена годовая периодичность смещений во всех трех компонентах (Lon., Lat., Rad.).

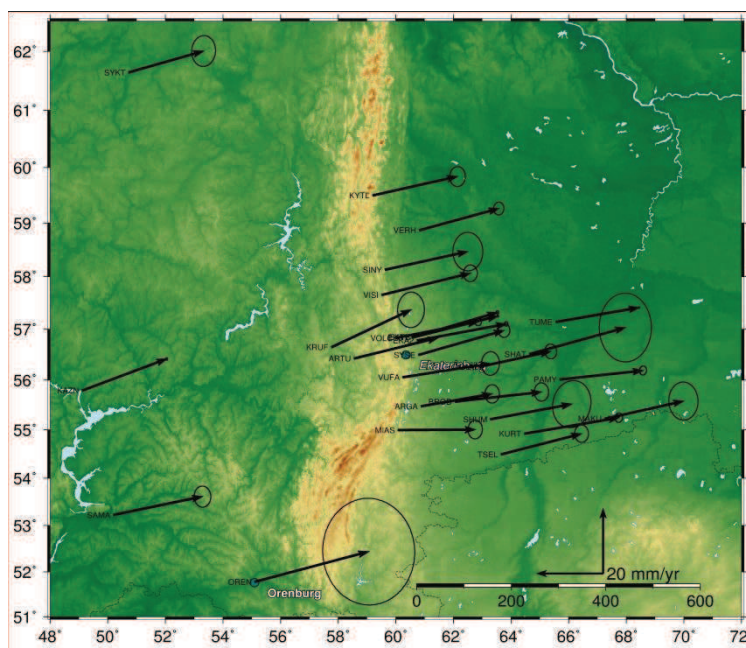


Рис.2 Карта векторов горизонтальных движений Уральского региона [9]

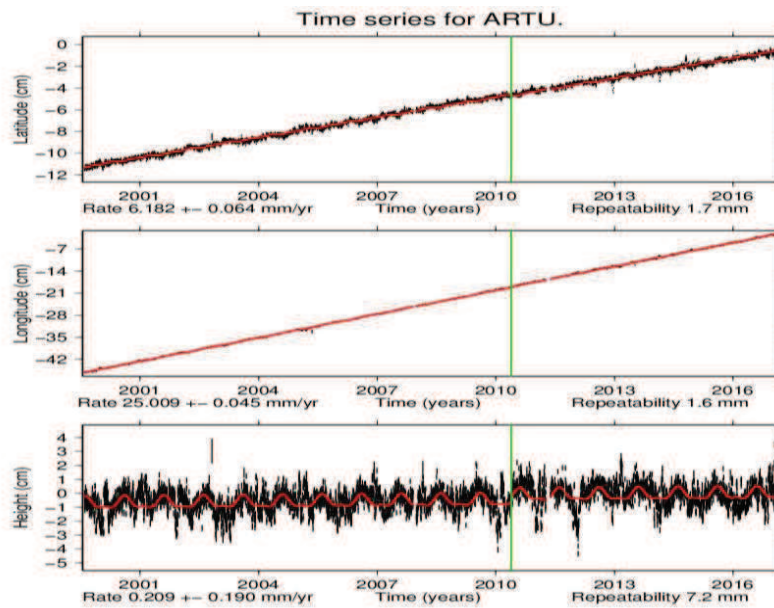


Рис. 3. Временные ряды смещений по данным GPS станции Арти за 1999-2016 гг. [1]

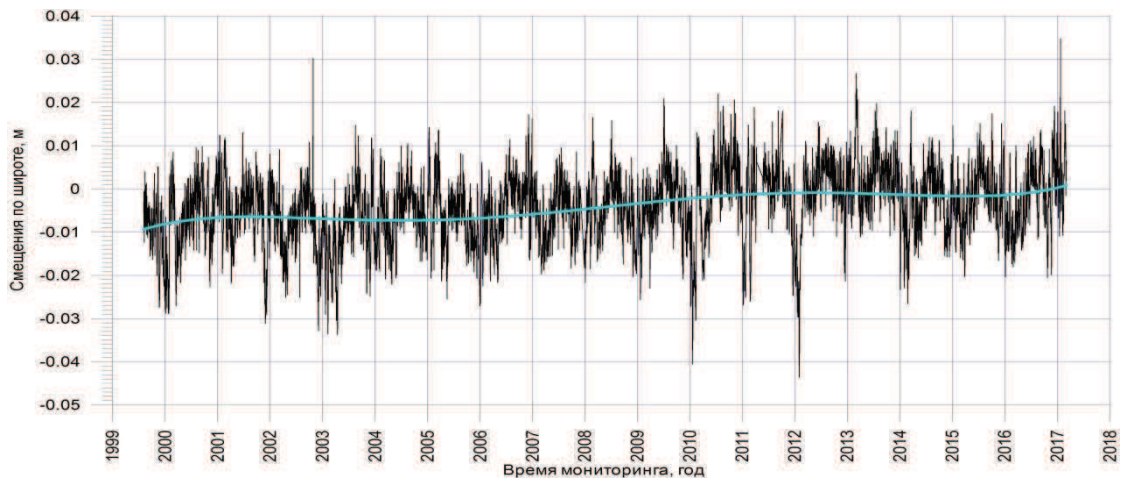


Рис. 4. Остаточные смещения по широте после устранения линейного тренда

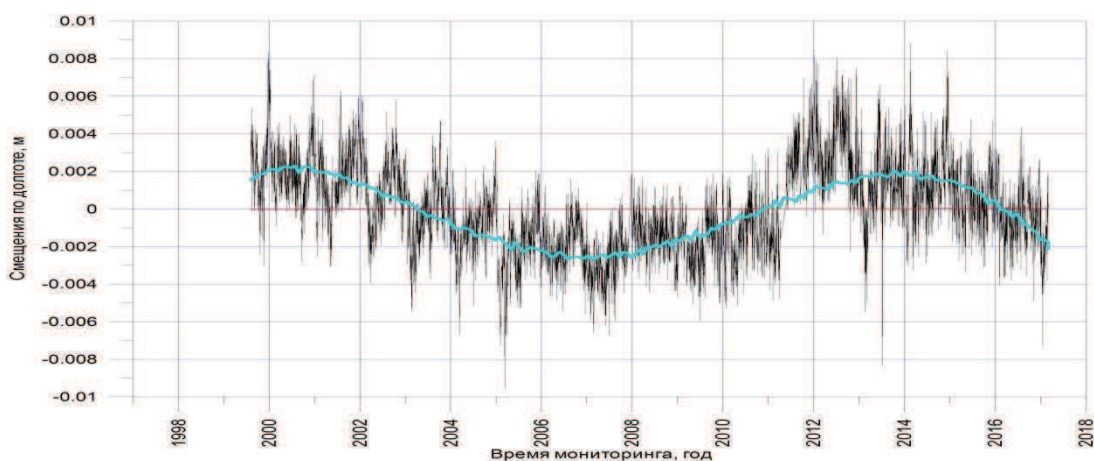


Рис. 5. Остаточные смещения по долготе после устранения линейного тренда

После устранения линейного тренда стал выявляться нелинейный характер смещений с периодом 12 лет и амплитудой около 2 см.

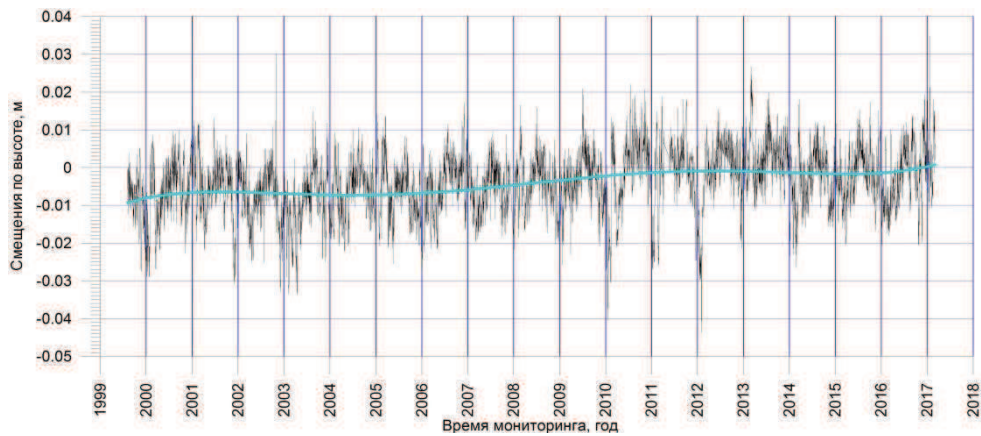


Рис. 6. Смещения по высоте без устранения линейного тренда

На рис. 6 видно, что стал выявляться нелинейный характер смещений с амплитудой около 1 см. Монотонный характер изменения тренда ведет к медленному накоплению упругих деформаций с темпом менее 0.5 мм/год.

Анализ других многочисленных рядов, число которых по всему миру в настоящее время превысило 1500, показывает повсеместный нелинейный характер смещений и четко выраженную годовую периодичность с амплитудой 2-4 см. Годовая периодичность наиболее ярко проявляется в высотных смещениях. Станция ARTU не является исключением

Обработка среднесуточных рядов ГЛОНАСС мало отличается от обработки GPS, поэтому ниже рассмотрим обработку только среднечасовых рядов. Среднечасовые ряды ГЛОНАСС были обработаны с применением программы сайта обработки ГЛОНАСС [6]. После обработки первичных данных применялась схема анализа:

- устранение линейного тренда;
- выявление нелинейного годового тренда;
- частотный анализ для выявления скрытой годовой и суточной периодичности;
- построение гистограмм распределения амплитуд смещений. На рис. 8-10 показаны первичные ряды и нелинейный тренд (аппроксимации полиномом 8 степени).

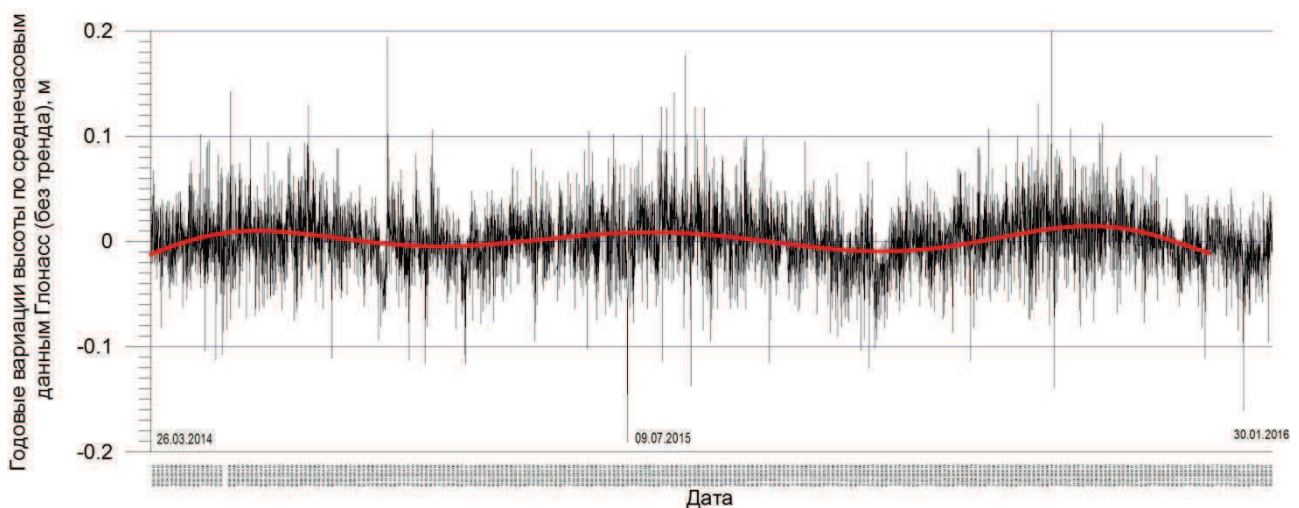


Рис. 7. Вариации смещений высоты по среднечасовым данным Глонасс за период 2014-2016 гг.

Для всех трех компонент смещений в трендах выделяются характерные годовые циклы с амплитудой 1-2 см (рис.7). Высказана гипотеза о происхождении таких вариаций формы геоида. Менее уверенно выявляются суточные вариации смещений с амплитудой 1.6 см и более.

Выводы. Во всех случаях анализа рядов GPS/ГЛОНАСС проявляется, с ростом длительности рядов и повышением их точности, все более отчетливо годовая и суточная периодичности, наиболее отчетливо на рядах с часовой дискретностью. Годовая периодичность, осложнена влиянием климатических факторов и вариациями времени прохождения радиосигналов через ионосферу. Годовая периодичность не вызывает накопления деформаций на длительном отрезке времени. На фоне линейного тренда и годовой периодичности выявлена сложная нелинейная система смещений вызванная, вероятнее всего, современной тектоникой региона. Темп накопления этих нелинейных деформаций в регионе не превышает $10E-08$, что соответствует примерно одному землетрясению за сто лет. Этим объясняется умеренная, и даже слабая, сейсмичность Уральского региона. Накопленные длительные ряды смещений позволяют проводить, кроме приведенного выше анализа, амплитудную калибровку динамической деформационной модели.

Работа выполнена по плану НИР ИГФ УрО РАН, темы № 01201263779 и № 01201263782.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <https://sideshow.jpl.nasa.gov/post/series.html>- GPS Time Series, JPS NASA.
2. Электронный ресурс: Zubovich A. V., G. G. Schelochkov, O. I. Mosienko, P. V. Eremeev, B. N. Bakka. Geodynamic GPS network of central Asia. Proceedings of the international seminar «On the Use of Space Techniques for Asia-Pacific Regional Crustal Movements Studies». APSG-Irkutsk 2002, *Irkutsk, Russia, 5-10, August, 2002*, 8p. Режим доступа свободный: http://www.inasan.rssi.ru/eng/publications/APSG_2002/index.html.
3. Овчаренко А.В., Баландин Д.В. Высокоточный GPS-мониторинг на Среднем Урале. // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей. Матер. XXXVI сессии Межд. Семинара. Казань, 26-31 января 2009 г, изд. КазГУ, 2009. С.402-405.
4. Овчаренко А.В., Баландин Д.В. Первые результаты площадного высокоточного GPS-мониторинга на Среднем Урале // Геодинамика, глубинное строение, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. Матер. Пярых научных чтений Ю.П. Булашевича, 6-10 июля 2009 г. Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2009. С. 375-378.
5. Электронный ресурс: http://www.kirovgiprozem.ru/REPORT_KIROV_v3_md.pdf
6. Электронный ресурс: http://apps.gdgps.net/apps_file_upload.php - The Global Differential GPS System, программы ВМСДКМ и GDGPS.

УДК 528.2: 550.831: 530.12

ОБНАРУЖЕНИЕ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭФФЕКТОВ ВО ВРЕМЕННЫХ РЯДАХ
ГРАВИМЕТРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Овчаренко Аркадий Васильевич
Ark-ovcharenko@yandex.ru

Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН, Россия, Екатеринбург

Аннотация. Предложена и реализована методика выявления по экспериментальным данным слабых (до 4 мкГл) квазипериодических аномалий, обусловленных релятивистскими эффектами движения Земли.

DETECTION OF RELATIVISTIC EFFECTS
IN GRAVIMETRIC MONITORING TIME SERIES

Ovcharenko Arkadiy Vasilievich
Ark-ovcharenko@yandex.ru

³*The Federal State Budgetary Institute of Science GI Geophysics Institute Yu.P. Bulashevich Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia, Ekaterinburg*

Abstract. The identification technique on experimental data weak (to 4 μ Gl) the quasiperiodic anomalies caused by relativistic effects of the movement of Earth is offered and realized.

Введение. В работе (Овчаренко, 2016) высказана идея, что существенная часть амплитуды неприливных аномалий гравитационного поля Земли вызвана релятивистскими эффектами движения Земли. В настоящей работе предложена и реализована методика выявления этого эффекта в экспериментальных данных гравиметрического и GPS-мониторинга. Используются данные собственных наблюдений, гравиметрический и спутниковый GPS/Глонасс мониторинг обсерватории Арти и опубликованные данные ряда европейских обсерваторий.

Аппаратура и методика обработки. Использовался гравиметр CG5-Autograph (S/N: 40471) фирмы Scientrex в режиме непрерывной записи с дискретностью 256 сек, с включенным фильтром сейсмических помех и выключенным фильтром лунно-солнечного прилива. В этом режиме достигается предельная для данного гравиметра точность измерений, которая ограничена разрядностью выводимого файла данных. Гравиметрический мониторинг ведется в институте геофизики УрО РАН, в удаленном корпусе с минимальной производственной деятельностью. Гравиметр установлен на бетонном полу в помещении без отопления. Перезапись данных ведется без выключения прибора. Коррекция уровней выполняется только в крайнем случае при достижении максимальных значений превышающих 20 единиц. Накоплены временные ряды значений за 2014-2017 гг. В постобработке выполняются ввод поправки за лунно-солнечный прилив (Лонгман, 1959) и устранение квазилинейного тренда вызванного сползанием (дрейфом) нуля прибора.

В обсерватории Арти ведется гравиметрический мониторинг с помощью прибора Geophon с дискретностью 1 сек и 5 мин. Вводятся все стандартные поправки за лунно-солнечный прилив, давление, температуру, океанскую нагрузку (Ocean Load), дрейф нуля.

Опубликованные данные европейских обсерваторий использовались в основном для анализа годовых вариаций. Для выполнения дополнительной собственной обработки выполнялась дигитализация опубликованных рядов суточной и месячной дискретности.

Методика целевой обработки. После устранения линейного тренда из рядов наблюдений проявляется сложный нелинейный характер остаточных аномалий (рис. 1-а,б,в).

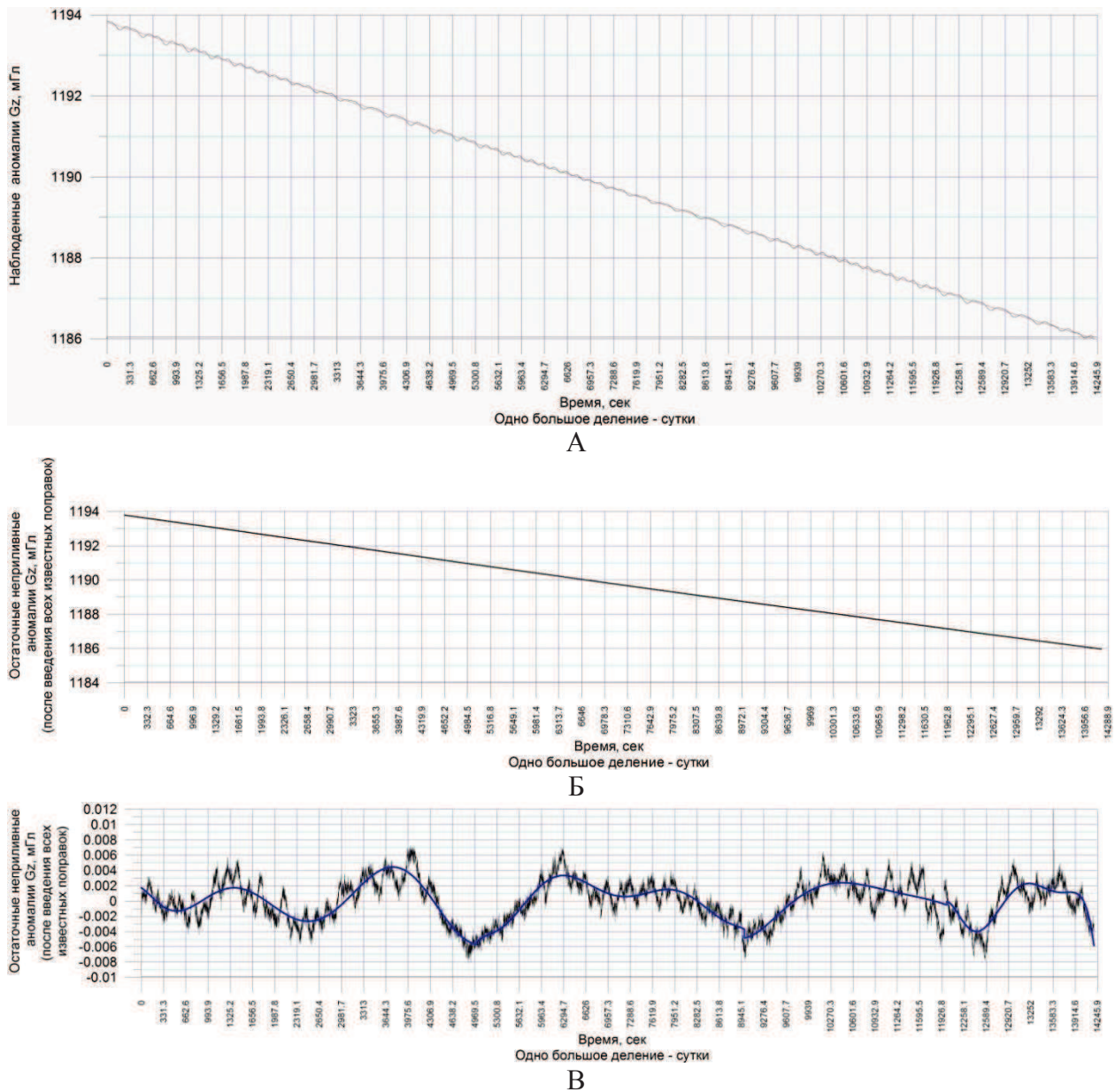


Рис. 1. Наблюденные данные за период 22.02.2017-07.04.2017
(А-с приливами; Б- без приливов; В- неприливные вариации)

Последовательное устранение мешающих факторов: а- наблюдаемые аномалии с лунно-солнечным приливом; б- после его устранения; в- устранение тренда полиномиальным сплайном 8 степени.

Можно, путем аппроксимации остаточного ряда полиномами невысоких степеней (до 8-й), разделить ряд на две компоненты гладкую и высокочастотную (рис. 1в). Гладкая часть с характерным периодом в несколько суток, обусловлена, вероятнее всего, процессами, происходящими в атмосфере, околоземном пространстве (Антонов Ю.В., 2015, 2016) и динамическими деформациями в земной коре. Упрощенный расчет прямой гравиметрической задачи от атмосферного фронта повышенной влажности с избыточной плотностью $4,2 \cdot 10^{-5}$ т/м³ показывает возможность возникновения гравиметрических аномалий амплитудой в первые микрогаллы. Скорость изменения такой аномалии зависит от скорости прохождения фронта (обычно 30-40 км/час). После устранения таких плавных аномалий получаем типичную картину, представленную на рис 2.

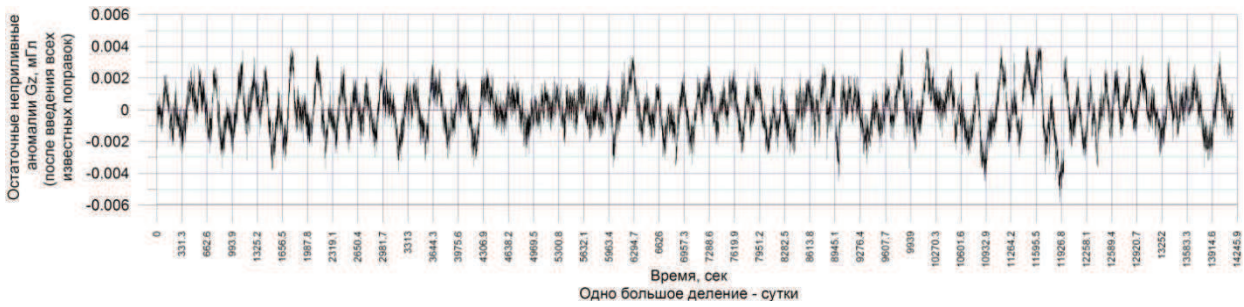


Рис. 2. Остаточные гравиметрические аномалии с характерным периодом 12 часов

Подобные ряды позволяют далее выполнить частотный анализ и найти доминантные частоты. На рисунке 3 показано сопоставление остаточных аномалий с расчетным релятивистским эффектом (Овчаренко, 2016)

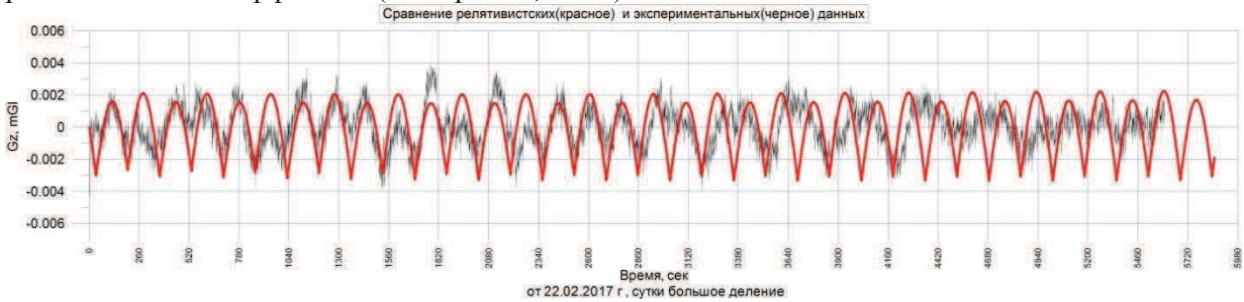


Рис. 3. Сравнение остаточных гравиметрических аномалий с расчетными релятивистскими аномалиями (красная кривая)

На рисунке 4 показан укрупненный фрагмент сравнения релятивистских и остаточных аномалий. Как видим, совпадение, хотя в отдельных частях идеальное, но в целом не полное. Неучтенными помехами могут быть эффекты коронарных солнечных выбросов, быстрые явления в атмосфере с выпадом осадков, техногенные явления, а главное, несимметричные релятивистские вариации плотности полушарий Земли, которые возникают при ее вращении и которые пока не учитывались. Не учтены и релятивистские вариации массы Земли и Луны, которые влияют на лунно-солнечный прилив.



Рис. 4. Укрупненный фрагмент сравнения остаточных гравиметрических аномалий с расчетными релятивистскими аномалиями (красная кривая)

Обсуждение результатов. Выявление в гравиметрических рядах мониторинга аномалий совпадающих по амплитуде и периоду с аномалиями релятивистского эффекта движения Земли, на наш взгляд, является важным научным фактом. Кажется, что уже было достаточно получено экспериментальных доказательств верности СТО на атомных физических объектах, но новые доказательства, полученные на реальных макро физических объектах, показывают, что многие положения разведочной гравиметрии устарели и нуждаются в пересмотре. В частности необходим пересмотр алгоритмов и программ расчета лунно-солнечного прилива, который не учитывает релятивистские вариации масс Земли, Луны и Солнца. Не учитываются релятивистские эффекты вариаций размеров Земли,

которые обнаруживаются с помощью спутниковых наблюдений. На рисунке 5 приведен пример таких периодических вариаций высоты станции NOVM. Такие вариации не являются частным примером. Они обнаруживаются буквально на всех станциях GPS (<https://sideshow.jpl.nasa.gov/post/series.html>- GPS Time Series, JPS NASA)

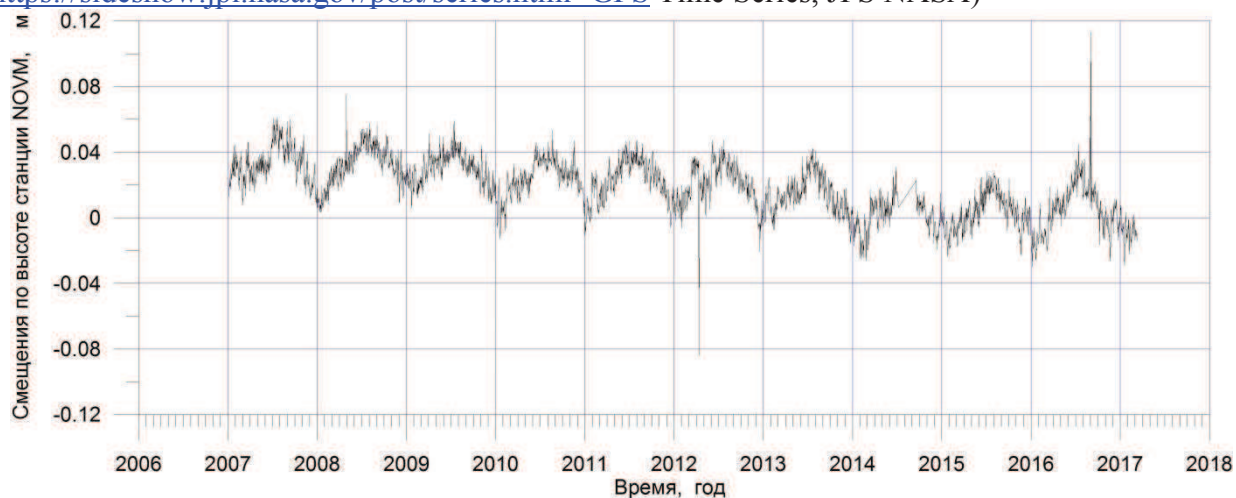


Рис. 5. Станция NOVM. Годовые вариации высоты станции по данным GPS-мониторинга. Отчетливо проявлена годовая периодичность с амплитудой 4 см и слабый линейный тренд уменьшения высоты станции на 3 см.

Линейный тренд имеет, вероятно, тектоническую причину, а периодические вариации релятивистскую. Вариации высоты порядка 4 см неизбежно вызывают вариации гравиметрического поля 12 мкГал. Объем данной работы не позволяет подробно рассмотреть годовые вариации гравитационного поля, которые уже более 30 лет регистрируются абсолютными гравиметрами (Garcia-Moroto, 2015), а последнее время спутниками GRACE.

Выводы. Обнаруженный теоретически и экспериментально подтвержденный эффект заставляет пересмотреть многие алгоритмы. Наиболее существенно он затрагивает метод расчета лунно-солнечного прилива. Нуждаются в пересмотре алгоритмы и методы расчета траекторий движений спутников и космических аппаратов, которые должны учитывать, хотя и слабые, но значимые вариации масс тяготеющих объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов Ю.В. Методика выделения неприливных вариаций силы тяжести. Вестник ВГУ: Серия геофизика, 2016, № 4, сс. 68-72.
2. Антонов Ю.В. Всплески неприливных вариаций силы тяжести. Ж. Геофизика 1, 2017, сс 28-34.
3. Овчаренко А.В. Необходимость учета релятивистских эффектов в прикладной разведочной гравиметрии. Ж. Эко-потенциал № 4 (16), 2016, сс.65-72.
4. <https://sideshow.jpl.nasa.gov/post/series.html>- GPS Time Series, JPS NASA.
5. Garcia-Moroto M.C. Analysis of long-term gravity in Europe. Consequences for the retrieval of small and low frequency signals including the Earth's core resonance effects/Tesis of the PhD, IPGS, Madrid, 2015.
6. Longman, I. M. Formulas for Computing the Tidal Accelerations Due to the Moon and the Sun / I. M. Longman // Journal of Geophysical Research, 1959. – Vol. 64. – № 12. – P. 2351–2355.

УДК 528.2: 550.831: 530.12

**СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ 4D-МОДЕЛИ СОВРЕМЕННОГО
ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ УРАЛА**

Овчаренко Аркадий Васильевич

Ark-ovcharenko@yandex.ru

Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН, Россия, Екатеринбург

Аннотация. Усовершенствуется методика создания и исследуется модель современного деформирования земной коры Уральского региона.

**CREATION AND RESEARCH OF 4D-MODEL OF MODERN DEFORMATION THE
EARTH'S CRUST URAL**

Ovcharenko Arkadiy Vasilievich

Ark-ovcharenko@yandex.ru

*³The Federal State Budgetary Institute of Science GI Geophysics Institute Yu.P. Bulashevich Ural
Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia, Ekaterinburg*

Abstract. Methodology of creation will improve and the model of modern deformation of the Earth's crust of the Ural region is investigated.

Изучение современного деформирования земной коры предусматривает решение ряда самостоятельных и сложных задач. Это: 1) формирование надежной информационной основы; 2) создание физико-математической основы и программных средств моделирования; 3) собственно моделирование, анализ с помощью модели пространственно-временных особенностей изучаемого процесса, визуализация процесса в адекватных формах; 4) прогнозирование развития процесса с выявлением потенциальных мест и периодов развития опасных геодинамических явлений. Каждая из перечисленных задач является системно сложной. Ниже дается обзор структуры этих проблемных задач и решения, которые были получены в 2007-2017 гг в ИГФ УрО РАН. Информационной основой моделирования современных деформаций, как известно, выступают данные прямого и косвенного геодинамического мониторинга. Накопленные почти за два столетия данные различных видов мониторинга рассеяны по многочисленным публикациям, распределенным специализированным базам данных и архивам. Эти данные имеют различный физический смысл и методы измерений, различную точность, различную сеть станций и длительность временных рядов, различные форматы хранения и представления данных. Сбор данных мониторинга и представление их в форматах пригодных для моделирования являются трудоемким и сложным делом. В настоящее время старые архивные данные постепенно вытесняются данными GPS-мониторинга. В работе [1] подробно описан способ создания динамической модели деформирования земной коры. Эта методика моделирования постоянно совершенствуется, как путем привлечения новых данных мониторинга, так и уточнением формальной математической основы. В качестве информационной основы используются данные, которые подразделяются на прямые и косвенные. Прямые данные мониторинга деформаций это - такие инструментальные измерения, которые непосредственно характеризуют какие-либо элементы динамического тензора деформирования (данные кварцевых и лазерных деформографов, наклономерные данные, GPS-мониторинг коротких и длинных геодезических баз, данные многолетних высокоточных нивелировок и т.п.). Косвенный геодинамический мониторинг включает различные виды геофизического, гидрогеологического и газо-геохимического мониторинга. Данные косвенного мониторинга не позволяют непосредственно судить о величине деформаций, но отражают в разных инструментально измеряемых параметрах динамику

деформационного процесса. Для Уральского региона была собрана и упорядочена база данных прямых и косвенных параметров и на ее основе создана деформационная модель. Новым элементом, который введен в деформационную модель, является мониторинг гравитационного поля. Вариации гравитационного поля амплитудой в сотые мГл отражают, в основном, вариации высоты точки мониторинга. После исключения из данных гравиметрического мониторинга лунно-солнечного прилива и слабых регулярных полусуточных деформаций, остаточные аномалии можно пересчитать в высотные вариации. Такие вариации имеют сложный нерегулярный характер и амплитуду до 8-10 см. Создание единой физико-математической основы моделирования является еще более сложной проблемой. Обоснование этого и основные расчетные формулы даны в [1-6]. Там же дана декомпозиция общей проблемы на обратную кинематическую задачу и задачу амплитудной калибровки модели. Временные ряды деформационных смещений и сейсмологические каталоги несут информацию о разнообразных кинематических особенностях деформационного процесса и могут также использоваться при определении кинематических параметров модели. Поскольку при моделировании деформационного процесса в пространстве четырех измерений (4D – пространственные координаты и время) степень некорректности зависит от изученности процесса по всем переменным, а наблюдению доступна только дневная поверхность, то важно привлекать все экспериментальные данные, которые характеризуют процесс в 4D. Сведения о деформационном процессе внутри земной коры в настоящее время может дать только сейсмология.

Решение задачи о нахождении амплитудных параметров модели выполняется после определения системы кинематических параметров модели. Поскольку линейные обратные задачи, особенно большой размерности, относятся к классу некорректных, то для их решения необходимо использовать соответствующий математический аппарат [Тихонов, 1963, 1965]. линейная обратная задача для амплитудных параметров модели для однородных данных мониторинга, решается на основе сглаживающего функционала А.Н. Тихонова

$$M^{\alpha} [E, K, m] = \sum_{j=1}^k (E_j - \sum_{i=1}^n m_i K_{ij})^2 + \alpha \sum_{i=1}^n (m_i)^2 \quad , \quad (1)$$

где E_j - компоненты деформации в точках (x_j, y_j, z_j, t_j) , которые являются пунктами сети перманентного или дискретно-эпизодического мониторинга; $(m_i, i = \overline{1, n})$ - искомые амплитудные параметры модели; α -параметр регуляризации задачи; K - функция ядра, которая зависит от наблюдаемого параметра деформации или деформационного смещения. Вид ядра для различных функций, которые могут быть экспериментально измерены, в том числе при GPS-мониторинге локальных сетей, может быть дан явными формулами, представленными в табл. Решение задач типа (1) в геофизике хорошо исследовано и широко применяется [Тихонов А.Н., 1963, Тихонов А.Н., Арсенин В.Я., 1979]. В случае неоднородных данных мониторинга, представленных, например, сетями деформографов, наклономеров, перманентными и локальными сетями GPS, вертикальными нивелировками и т.д., необходимо использовать более сложный многопараметрический сглаживающий функционал А. Н. Тихонова

$$M^{\alpha, \beta_i} [] = \beta_1 S_{GPS Lon} + \beta_2 S_{GPS Lat} + \beta_3 S_{GPS Rad} + \\ + \beta_4 S_{def} + \beta_5 S_{levelling} + \dots + \alpha \Omega \quad . \quad (2)$$

Основные формулы 4D-модели динамических деформаций
для плоских фронтов

Таблица

Data	Element	Tip (key)	Time T_0 (yes= T_0 , no=)	Equation
Global GPS	E_x (lon)	1	To	$E_x(x, y, z, t - t_0) = u = \frac{\partial E}{\partial x} = \sum_{i=1}^n m_i \left(\frac{-a_i p_i}{q^2} - \frac{-a_i p_{i0}}{q_0^2} \right)$
Global GPS	E_y (lat)	2	To	$E_y(x, y, z, t - t_0) = v = \frac{\partial E}{\partial y} = \sum_{i=1}^n m_i \left(\frac{1}{q^2} - \frac{1}{q_0^2} \right)$
Global GPS	E_z (rad)	3	To	$E_z(x, y, z, t - t_0) = w = \frac{\partial E}{\partial z} = \sum_{i=1}^n m_i \left(\frac{-b_i p}{q^2} - \frac{-b_i p_0}{q_0^2} \right)$
Local GPS	V_x (lon)	11	-	$V_x(x, y, z, t) = \frac{\partial E}{\partial x \partial t} = \sum_{i=1}^n m_i \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{-a_i p_i}{q^2} \right) = \sum_{i=1}^n 2m_i (-a_i c_i) Q_i$
Local GPS	V_y (lon)	22	-	$V_y(x, y, z, t) = \frac{\partial E}{\partial y \partial t} = \sum_{i=1}^n m_i \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{q^2} \right) = \sum_{i=1}^n 2m_i (-c_i) Q_i$
Local GPS	V_z (lon)	33	-	$V_z(x, y, z, t) = \frac{\partial E}{\partial z \partial t} = \sum_{i=1}^n m_i \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{-b_i p_i}{q^2} \right) = \sum_{i=1}^n 2m_i (-b_i c_i) Q_i$
Leveling	V_h	34	-	$V_z(x, y, z, t) = \frac{\partial E}{\partial z \partial t} = \sum_{i=1}^n m_i \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{-b_i p_i}{q^2} \right) = \sum_{i=1}^n 2m_i (-b_i c_i) Q_i$
PSMSL	V_h (pswl)	35	To	$E_z(x, y, z, t - t_0) = \frac{\partial E}{\partial z} = \sum_{i=1}^n m_i \left(\frac{-b_i p}{q^2} - \frac{-b_i p_0}{q_0^2} \right) = \sum_{i=1}^n 2m_i (-b_i c_i) Q_i$
DEF-1	e_{WE}	41	To	$e_{xx}(x, y, z, t - t_0) = \frac{\partial E_x}{\partial x} = \sum_{i=1}^n m_i (-2a_i^2 (Q - Q_0))$
DEF-2	e_{NS}	42	To	$e_{yy}(x, y, z, t - t_0) = \frac{\partial E_y}{\partial y} = \sum_{i=1}^n m_i (-2(Q - Q_0))$
VLBI (special format)	L_{basa}	5	To	$dL_{12}(x, y, z, t - t_0) = L_0 - \sum_{i=1}^n m_i \int_{A_i}^{A_i} E_{12} dl_{12} \quad \ \Delta L_i^{mod} - \Delta L_i^{observed}\ \rightarrow \min$
Stress data	σ_x / σ_y	55	-	$\sigma_x / \sigma_y \cong E_x / E_y = \gamma, \ E_x(t) - \gamma E_y(t)\ \rightarrow \min$ $\left\ \sum_{i=1}^n m_i \frac{(-a_i p_i - \gamma)}{q_i^2} \right\ \rightarrow \min, \sum_{j=1}^m \left[\sum_{i=1}^n m_i \frac{(-a_i p_{ij} - \gamma_j)}{q_{ij}^2} \right]^2 \rightarrow \min$

$p_i = y - a_i x - b_i z - c_i t - d_i \quad q_i = (p_i^2 + \varepsilon^2)$
 $Q_i = (q_i - 4p_i^2) / q_i^3$, (x, y, z, t) -координаты и время точки исследования
 $\{a_i, b_i, c_i, d_i, m_i, i=1, n\}$ - неизвестные параметры динамической модели.

В этом квадратическом функционале невязка отдельного вида мониторинга вычисляется как

$$S_i = \|f_i - F_i(z)\|^2 \quad (3)$$

Стабилизирующий средне квадратический функционал может быть выбран в различной форме, в том числе в простейшей, обеспечивающей минимум нормы искомого решения

$$\Omega = \|z\|^2 \quad (4)$$

Под решением Z в данном случае понимается совокупность искомым амплитудных параметров модели $z = \{m_i, i = \overline{1, N}\}$. При выборе весовых параметров β_i и параметра регуляризации α используются приближенные равенства

$$\left. \begin{aligned} \beta_i &\approx 1/S_i N_i \\ \beta_1/S_1 &\approx \beta_2/S_2 \approx \dots \approx \beta_i/S_i \approx \alpha\Omega \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

которые обеспечиваются в процессе итерационного поиска оптимального решения. На каждом шаге таких итераций учитываются невязки и норма решения предыдущего шага. Можно использовать различные схемы оптимизации (5) с поэтапным учетом различных мониторинговых данных. Т.е. вначале решать линейную обратную задачу только по одному, наиболее надежному, виду мониторинга и определить для него характерные среднеквадратические невязки и оптимальный параметр регуляризации. А далее, назначить принудительные веса остальных, менее надежных, видов мониторинга.

Основной проблемой в решении задачи нахождения амплитудных параметров модели является, как правило, недостаток представительных наблюдений, т.е. редкие сети станций мониторинга и короткие временные ряды наблюдений. Поэтому рассмотрены и другие возможные подходы в использовании косвенных данных, особенно таких, которые удлиняют общее время мониторинга и повышают точность решения. Наиболее многочисленными косвенными данными об амплитуде накопленных упругих деформаций являются магнитуды сейсмологических событий. Способы учета такой важной косвенной информации являются далеко не очевидными и мало исследованными. В этом направлении нами предложены методы использования магнитуды сейсмических событий, которые являются мерой запасенной упругой энергии в некотором объеме среды.

В настоящее время известны разнообразные эмпирические нелинейные связи высвобождаемой упругой энергии M_0 с магнитудами сейсмических событий M_w , например [Шебалин В.Н. и др. 1971]

$$M_w = 2/3 \log_{10} \cdot M_0 - 10.7 \quad (6)$$

Из этого эмпирического равенства (6) следует искомое уравнение связи кинематических параметров модели с магнитудами сейсмических событий

$$10^{1.5M_w} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot \Phi_{ij} \quad (7)$$

В (7) входит интеграл объемной дилатации Φ_{ij} . Так для модели, семейства плоских деформационных фронтов дилатация вычисляется по формуле

$$\Phi_{ij} = k \int_{ij} \left[\frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{-a_i p_i}{q_{ij}^2} \right) + \frac{\partial}{\partial y_j} \left(\frac{1}{q_{ij}^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z_j} \left(\frac{-b_i p}{q_{ij}^2} \right) \right] dv \quad (8)$$

Уравнения (7-8) могут служить дополнительной основой при постановке и решении соответствующей линейной обратной задачи (1-8) для амплитудных параметров модели. Как видим, вычисляя по кинематической модели некоторые интегралы в окрестности очагов известных событий сейсмологического каталога, в моменты времени этих событий, можно составить затем систему линейных алгебраических уравнений для приближенного нахождения амплитудных параметров модели. Заметим, что неявно был принят условно одинаковый для всех событий процент высвобождения энергии, используется приближенная кинематическая модель и приближенное вычисление интегралов дилатации. Кроме рассмотренных, наиболее надежных и массовых видов современного геодинамического мониторинга, могут привлекаться для моделирования деформационного процесса и иные косвенные виды мониторинга, например мониторинг уровня моря, уровня воды в скважинах наблюдательных полигонов и т.д.

Данная методика реализована в виде комплекса программ, обеспечивающих все этапы моделирования, включая динамическую визуализацию. Она опробована для различных регионов, в том числе для регионов с высокой сейсмичностью: Тайвань, Юго-Восточная Европа, Северный Тянь-Шань, а также Урал с умеренной сейсмической и геодинамической активностью. Модель и методика являются прогнозирующими, т.е. позволяют вычислять на

будущее время развитие деформационного процесса. На основе методики был решен ряд задач по прогнозированию развития опасных геодинамических процессов и явлений (изучение колебаний уровня Каспийского моря, изучение динамики деформаций в районе ряда опасных плотин, средне- и долго-срочное сейсмологическое прогнозирование). Для визуализации параметров модели созданы разнообразные средства вывода: в форме графиков, карт изолиний, тоновых цветных изображений, карт векторов, объемных блок диаграмм, компьютерных фильмов перечисленных параметров. С помощью этих средств производится быстрое изучение сложного пространственно-временного процесса, направленное на обнаружение в деформационном потоке опасных геодинамических зон.

Работа связана с планом института геофизики УрО РАН по проектам рег. ГР 01201263779, ГР 01201263782.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овчаренко А.В. Динамические модели деформационных процессов в земной коре и сейсмологический прогноз. ДАН, том 359, № 2, 1998, МАИК Наука, Москва, сс.251-254.
2. Ovcharenko, A.V., (1999), 4-Dimensional models of deformation of the Earth's crust and earthquake prediction, J. of Earthquake Research in China, **13**(1), 60-84.
3. Нусипов Е., Овчаренко А.В. Аппроксимационные динамические модели современного деформирования земной коры Казахстана. Алматы, «Гылым», 2007, 220 с., 169 илл.
4. Ovcharenko A., V. Sokolov, Chin-Hsuing Loh, Kuo-Liang Wen. Seismic Hazard Assessment for the Taiwan Region on the Basis of Recent Strong-Motion Data and Prognostic Zonation of Future Earthquakes. Taipei, Taiwan, NCREE-01-013, 238 pp.
5. Овчаренко А.В. Создание 4D-моделей развития земной коры Урала по комплексу геополей. Уральский геофизический вестник/ ИГФ УрО РАН.- 2000, -№ 1.- Екатеринбург, ИГФ УрО РАН, с.81-85.
6. Sokolov V., A. Ovcharenko, C-H. Loh and K-L. Wen. Seismic hazard assessment for the Taiwan region on the basis of recent strong-motion data and prognostic zonation of future earthquakes. *J. Natural Hazard*, **33**, 319-363, 2004.

УДК 550.21:550.83(571.642)

**ВАРИАЦИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НАД ЗАЛЕЖЬЮ ГАЗА
В СВЯЗИ С ПРОБЛЕМОЙ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА СЕЙСМИЧЕСКИХ
СОБЫТИЙ***Паровышний Валерий Андреевич, Казаков Артем Иванович**e-mail: valimgg@yandex.ru, legn@inbox.ru**Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г.Южно-Сахалинск*

Аннотация. Рассматриваются результаты экспериментальных исследований, направленных на изучение характера временных изменений естественных геофизических полей (ЕГП) над залежью газа, расположенной в зоне влияния активного регионального разлома, а также выявление связи этих изменений с сейсмичностью. В результате эксперимента установлено, что процесс подготовки сейсмических событий сопровождается резкой нестабильностью ЕГП над продуктивными блоками залежи.

Summary. The results of experimental studies aimed at studying the nature of the temporary changes in natural geophysical fields (NGF) above the gas deposit located in the zone of influence of the active regional fault, as well as revealing the connection of these changes with seismicity are found. The experiment established that the seismic events preparation process is accompanied by a sharp instability NGF on productive reservoirs of the deposit.

Экспериментальные исследования по изучению временных изменений геофизических полей над залежью газа проводятся лабораторией геодинамики и морской геологии ИМГиГ ДВО РАН с 2003 года. Основная задача исследований – разработка методики оперативного прогноза сейсмических событий. Под оперативным прогнозом понимается прогноз, содержащий точные сведения о месте, времени и энергии предстоящего сейсмического события.

Наблюдения производятся на стационарных пунктах комплексом геофизических методов, включающим:

- электрометрию (метод естественного электрического поля),
- магнитометрию,
- термометрию.

Стационарные пункты расположены в продуктивных блоках Южно-Луговского месторождения газа (4 км к западу от г. Анива Сахалинской области). Демонстрируемые здесь материалы получены на стационарном пункте, расположенном в точке с координатами 46°42'13" С.Ш., 142°28'13" В.Д. Описание месторождения и структура залежи описаны нами ранее [1,2,3]

Электрометрические наблюдения производились цифровой 6-канальной компьютеризированной станцией от 6 диполей, ориентированных от общего центра по истинным азимутам через 30 градусов. Дискретность измерений 10 с по каждому каналу, точность определения ΔU – ± 0.5 мкВ. Здесь нужно отметить, что применение 9-канальной аппаратуры для регистрации изменений естественного электрического поля имело место в августе 1997 года в г. Вакаяма. В результате наблюдений получены эффекты в ЕП за несколько часов до сейсмических событий с магнитудой 3.1 и 4.2[4].

Магнитометрические наблюдения производились до 2015 года протонным магнитометром ММП-203, в 2015 и 2016 гг. – феррозондовым трехкомпонентным магнитометром Lemi-025, точность определения по каждому вектору не менее ± 0.01 нТл, дискретность регистрации 1 с.

Термометрические наблюдения производились цифровой компьютеризированной станцией от датчиков, погруженных в скважины на глубину до 5.5 м. Точность определения температур ± 0.01 °С. Дискретность записи 1 минута.

Полученная информация не равноценна по значимости. Наиболее информативны данные ЕП, которые в графической форме позволяют определить время предстоящего сейсмического события и в большинстве случаев направление от места наблюдений на его эпицентр. Данные магнитометрии и термометрии используются для подтверждения факта события и более точного определения времени события.

За время наблюдений цифровой аппаратурой записано более 300 эпизодов сейсмических событий, по которым прослеживается период подготовки события, момент его реализации и последующий цикл стабилизации полей. В общем виде выявлены следующие основные закономерности:

1. При отсутствии сейсмических событий (спокойная сейсмологическая обстановка) геофизические поля находятся в спокойном состоянии без видимых отклонений от фона.
2. В конечную стадию подготовки сейсмического события наибольшие возмущения естественного электрического поля регистрируются по каналам, ориентированным близко по направлению на эпицентр за несколько часов до момента события. При этом регистрируются все события с магнитудой от 1 и выше.
3. Возмущения геомагнитного поля сопровождают сигнал ЕП по горизонтальным составляющим практически синхронно.
4. Температура в приповерхностном слое над залежью плавно увеличивается на $0.04-0.05^{\circ}\text{C}$ в течении 5-6 часов до момента события (рис. 3).

Демонстрируемые здесь материалы наблюдений получены в следующей последовательности: цифровые станции накапливают информацию на собственных носителях, которая периодически скачивается в полевой компьютер, затем запись преобразуется в графическую форму и сопоставляется с официальными данными сейсмологической службы Сахалина. Процедура обработки первичного цифрового массива занимает несколько часов. При очевидной возможности осуществления реального прогноза в данной ситуации он не может быть реализован без специального программного обеспечения.

На рис. 1 и 2 показан пример записи естественного электрического и геомагнитного полей, регистрирующих процесс подготовки и реализации сейсмического события. На рис. 1 представлены графики полей в истинных значениях, на рис. 2 – в градиентах по тем же составляющим. По информативности обе группы графиков примерно одинаковы, но по графикам на рис. 2 уверенно прослеживается направление на эпицентр события зарегистрированного в 13ч-46м (наибольшая амплитуда сигнала по каналу 3, ориентированному по азимуту 60°). В то же время, по графикам градиентов начало возмущений, предшествующих событию можно определить на 2 часа раньше, чем на графиках в истинных значениях. Таким образом, для прогноза важно иметь оба варианта построений, но возможности их получения совершенно различны. Для получения графиков в истинных значениях (рис. 2) нужно несколько часов, а графики производных (рис. 3) можно получить в текущем режиме, т.е. по мере получения результатов измерений. Блок-схема программы, реализующей оперативную обработку первичных материалов на основе вычисления производных представлена на рис. 4.

Как видно из фрагмента алгоритма, изображенного на рис. 4, при построении графиков производных составляющих геофизических полей определяющим является параметр «размер временного окна», т. е. горизонтальный масштаб. Возможность изменения тайм-фрейма позволяет обеспечить необходимое графическое разрешение, поскольку вертикальное масштабирование осуществляется автоматически. Кроме того, по мере «устаревания» информации для задачи оперативного прогноза сейсмических событий массив измерений для отображения сдвигается, освобождая память ЭВМ, что способствует сохранению производительности. Вся последовательность действий в алгоритме поддерживает возможность адаптации как под обработку электрометрических записей 6-канальной компьютеризированной станции, так и под обработку 3-компонентных записей магнитометра Lemi-025.

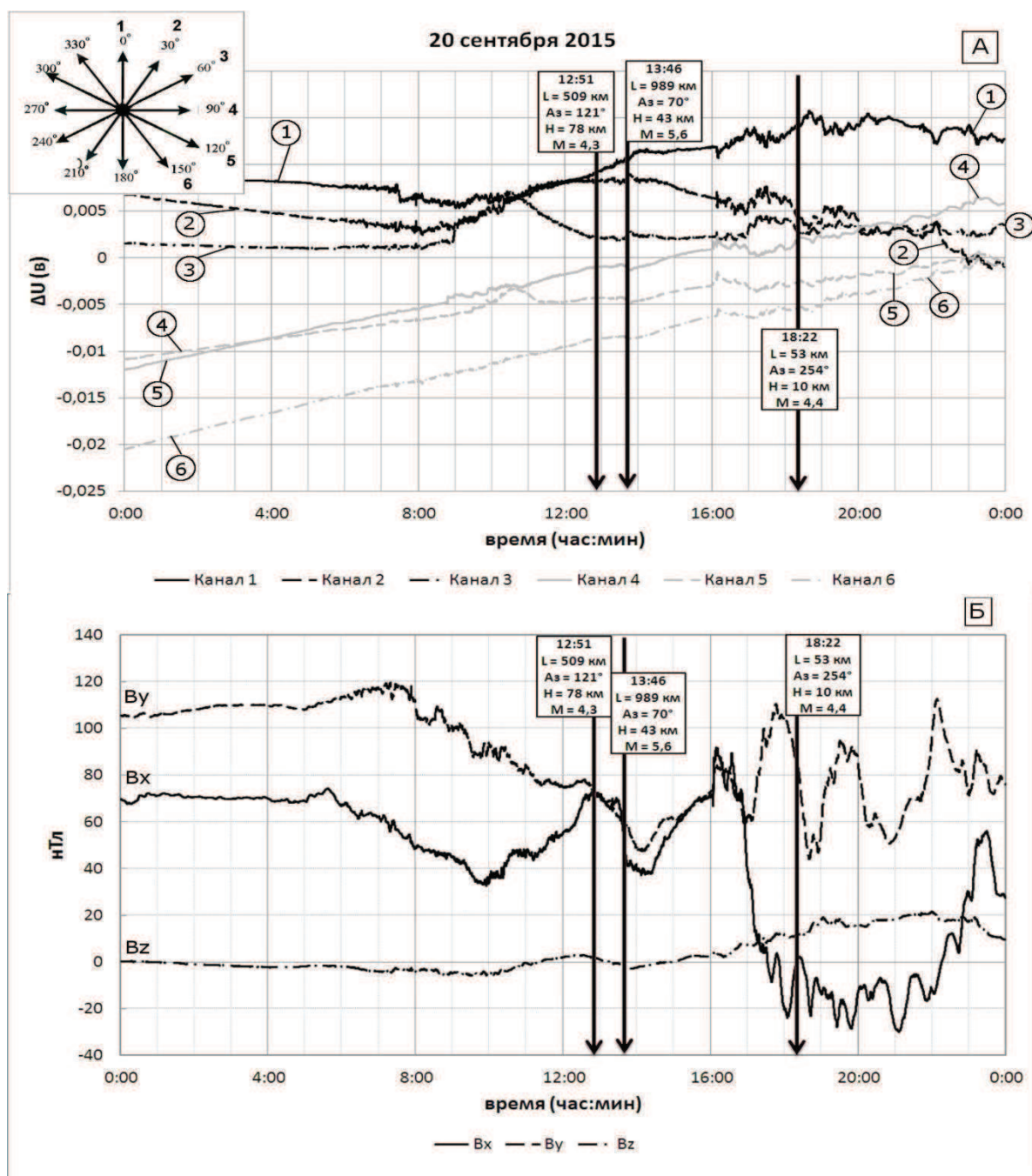


Рис. 1. А - графики естественного электрического поля; Б – графики геомагнитного поля по составляющим: B_x , B_y – горизонтальные, B_z - вертикальная. Здесь и ниже вертикальными длинными стрелками показаны моменты сейсмических событий, в табличках: L – расстояние от места наблюдений до эпицентра данного события, Az – истинный азимут от места наблюдений на эпицентр, M – магнитуда события, H – глубина очага. Азимуты и расстояния вычислены по координатам эпицентров. Координаты, время, магнитуда и глубина очагов событий взяты из официальных каталогов сейсмологической службы Сахалина.

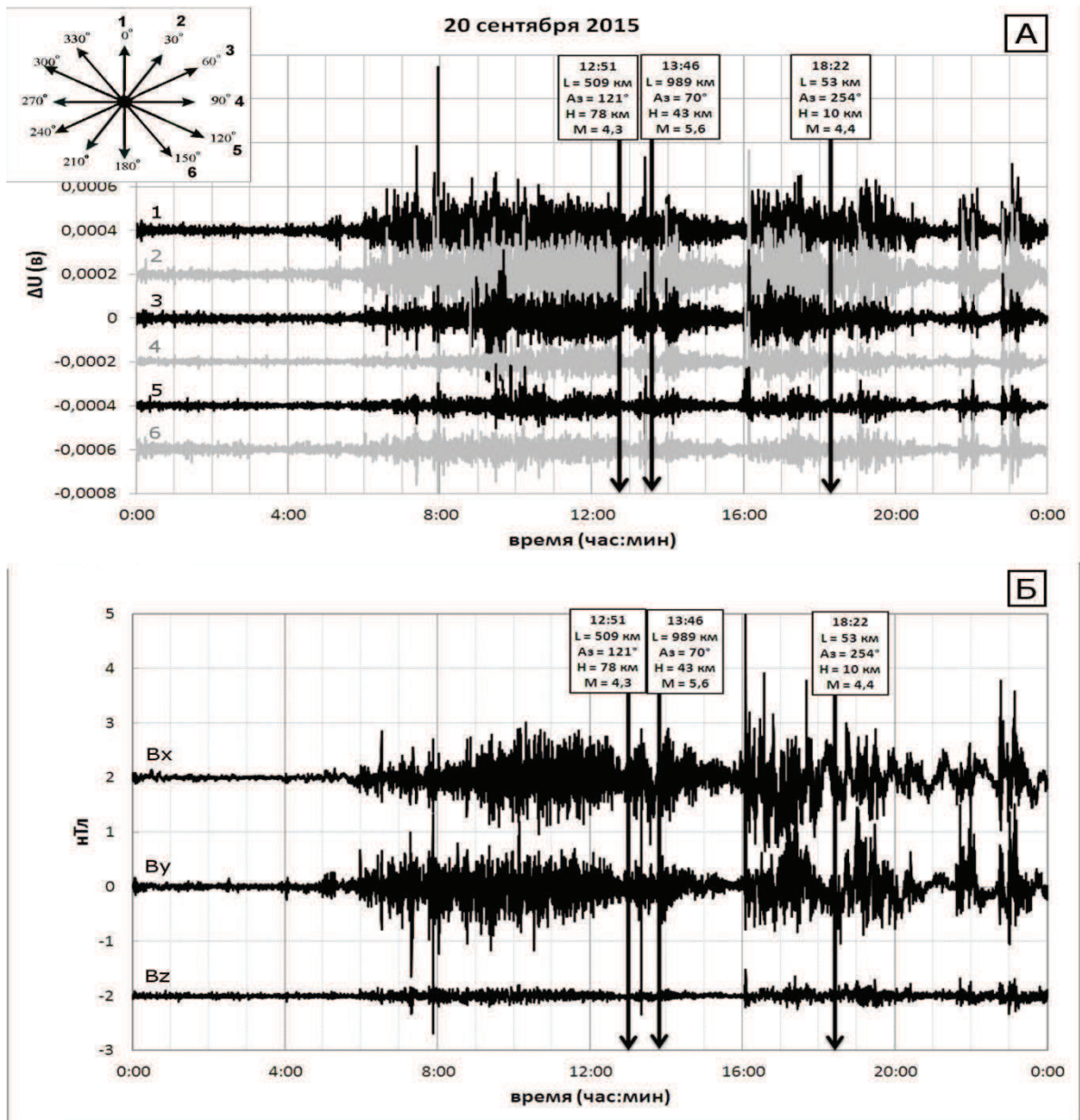


Рис. 2. А - производные естественного электрического поля (du/dt); Б – производные геомагнитного поля ($dx/dt, dy/dt, dz/dt$).

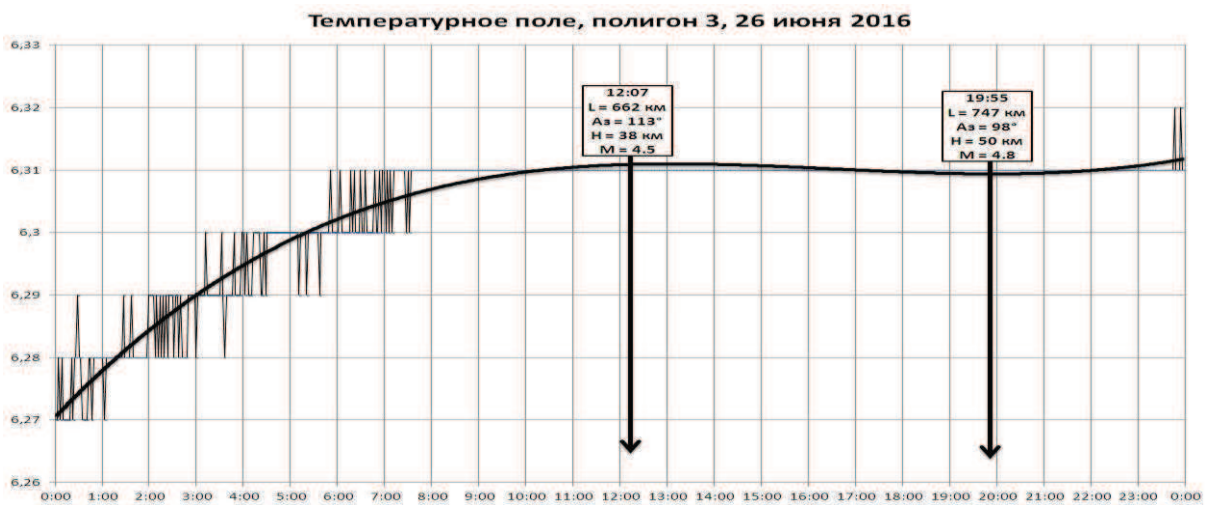


Рис.3 Пример реакции термального поля на сейсмические события 26 июня 2016 года.

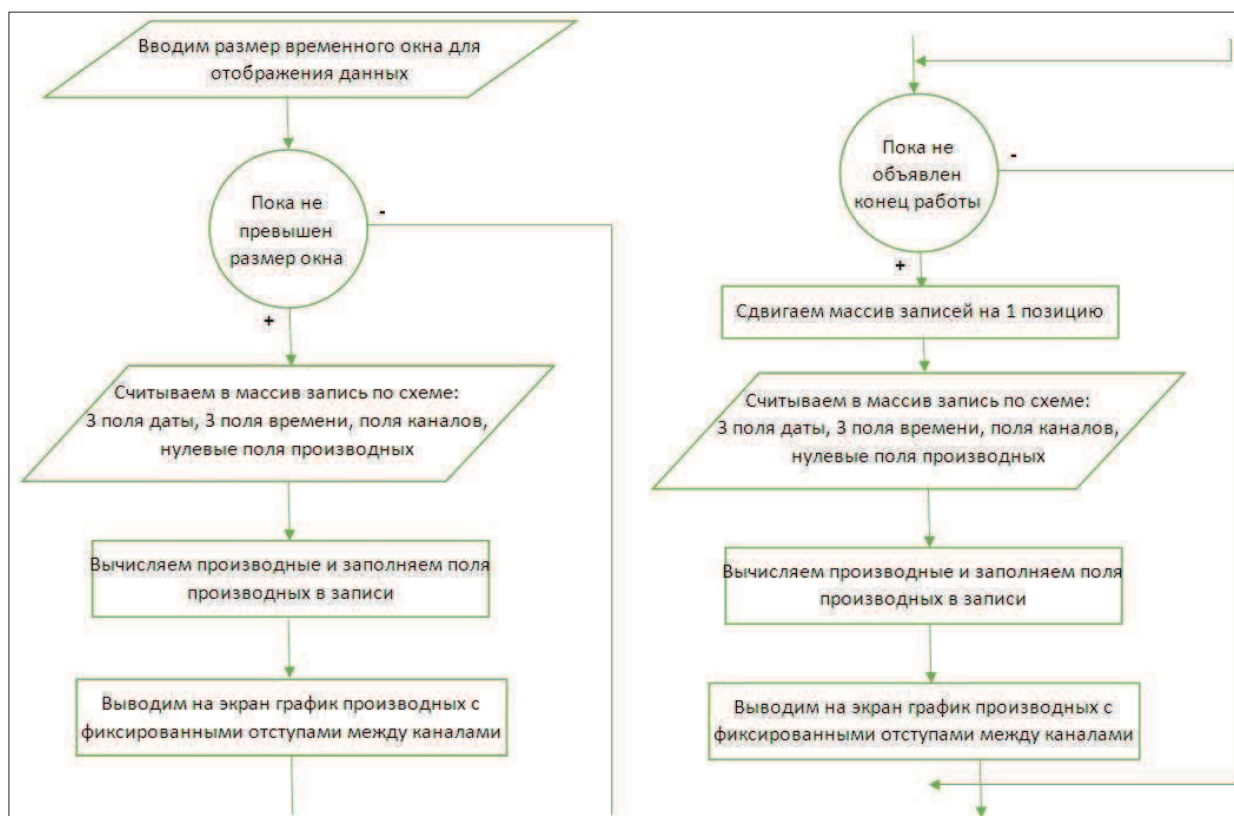


Рис. 4. Блок-схема программы, реализующей оперативную обработку первичных материалов по градиентам.

После запуска программы в рабочий режим и организации синхронных наблюдений не менее чем на двух полигонах осуществление оперативного прогноза возможно в опытном варианте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Паровышный В.А., Веселов О.В. Сеначин В.Н., Кириенко В.С. Временные изменения геофизических полей над газовой залежью (о. Сахалин) // Тихоокеанская геология. 2008. Т. 27, № 4. С. 3-14.
2. Паровышный В.А., Сеначин В.Н., Веселов О.В., Кочергин Е.В. Вариации геофизических полей над флюидонасыщенными геодинамическими системами в связи с проблемой прогноза сейсмических событий // Вестник ДВО РАН. 2009. №4. С. 50-58.
3. Паровышный В.А., Казаков А.И., Паровышный Д.В., Сеначин В.Н., Веселов О.В., Кочергин Е.В. Признаки подготовки сейсмических событий по вариациям естественных геофизических полей над залежью газа // Мониторинг. Наука и технологии. 2016. №1(26). С. 25-32.
4. Jonston M. J. S. Review of electric and magnetic fields accompanying seismic and volcanic activity // Surveys in Geophysics. 1997. Vol. 28. P. 441-475.

УДК 550.8.05

ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НАД ПОРОДАМИ СЕВЕРА УРАЛА

Пономарева Татьяна Анатольевна

TA.Ponomareva@inbox.ru

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Россия, Сыктывкар

Аннотация. Проведена и обобщена комплексная интерпретация геофизических полей территории севера Урала. Выделены три региональные петрофизические зоны, различающиеся по характеристикам гравитационного и магнитного полей. Петрофизическая зона “палеоконтинентального” типа, объединяет петрофизические группы формаций, представленные дорифейскими метаморфическими комплексами. В петрофизическую зону “палеоокеанического” типа вошли ультраосновные породы офиолитовых комплексов, а также базитов кершорского и лагортинского комплексов. В крайнюю восточную петрофизическую зону “палеоостроводужного” типа включаются породы интрузивных образований собского и конгорского комплексов, а также вулканогенно-осадочной толщи.

CHARACTERISTICS OF GEOPHYSICAL FIELDS OVER ROCKS OF THE NORTH OF THE URALS

Ponomareva Tatiana Anatolievna

TA.Ponomareva@inbox.ru

Institute of Geology Komi SC UB RAS, Russiya, Syktyvkar

Summary. It is proposed to differentiate the three regional petrophysical zones within the northern part of the Urals according to the physical properties of rocks and characteristics of the gravitational and magnetic fields based on comprehensive interpretation of physical fields over the north of the Urals. Petrophysical zone of "paleocontinental" type combines petrophysical group of formations represented by the pre-Riphean metamorphic associations. The "paleoceanic" petrophysical zone includes ultramafic rocks of ophiolite complexes and mafic rocks of Kershor and Lagorta associations. The most eastern zone of "paleo-island-arc" type consists of intrusive rocks of Sobskiy and Kongorskiy complexes, as well as volcano-sedimentary sequence.

На современный эрозионный срез севера Урала горизонтальными и вертикальными движениями выведены разновозрастные магматические, метаморфические и вулканогенно-осадочные комплексы пород [1,2]. Качественная интерпретация геофизических полей исследуемой территории проводилась с целью выделения региональных петрофизических зон, в процессе которой ставились следующие задачи: отражение ранее выявленных закономерностей в физических свойствах пород в морфологии физических полей; установление связи аномалий физических полей с определенными петрофизическими группами (формациями). А также поиск общих черт и различий в характере физических полей при выделении петрофизических зон. Привлечение геофизических данных определяется еще и тем, что все изменения физических свойств пород отражаются в особенностях физических полей. В свою очередь, анализ характера и особенностей физических полей дает нам возможность пространственно проследить и ограничить пределы латеральной петрофизической изменчивости пород, а также определить месторасположение источников гравитационных и магнитных аномалий в земной коре и верхней мантии.

Ранее проведенный петрофизический анализ структурно-вещественных комплексов пород Севера Урала позволил выделить среди них семь крупных петрофизических групп пород [7,8], каждая из которых отличается вещественным составом, изменениями в

физических свойствах (плотностью, магнитной восприимчивостью) и характером корреляционных зависимостей между ними. А результаты качественной интерпретации геофизических полей предоставили возможность объединить отдельные петрофизические группы в петрофизические зоны.

Первые три петрофизические группы пород относятся к образованиям нижнедокембрийского структурного этажа и интерпретируются как тектонически перемещенные фрагменты древнего кристаллического основания приуральской части Восточно-Европейского кратона, вовлеченные в структуру уралид [7].

Петрофизическую группу I представляют породы гнейсо-мигматитовых комплексов (няртинский – на Приполярном Урале и харбейский – на Полярном Урале). Няртинский гнейсо-мигматитовый комплекс характеризуется низкими значениями магнитного [4] и локального гравитационного поля ($\Delta g_{\text{л}}$). Над породами няртинского гнейсо-мигматитового комплекса со средней плотностью ($\sigma_{\text{ср}}$) 2.78 г/см^3 отмечаются слабоинтенсивные положительные аномалии $\Delta g_{\text{л}}$ интенсивностью 1-2 мГал, расположенные в области отрицательного локального гравитационного поля. Мозаичный характер локальных аномалий отражает, очевидно, особенности внутренней структуры гнейсов. На Полярном Урале в пределах харбейского комплекса наблюдается положительная локальная аномалия интенсивностью 10 мГал северо-западного простирания, обусловленная преобладанием высокоплотных амфиболитов со средней плотностью равной 2.97 г/см^3 в нижней части харбейского комплекса.

Анализ магнитного поля показывает, что породы няртинского и харбейского комплексов немагнитные или слабо магнитные. Изолинии отрицательного магнитного и локального полей над харбейским комплексом пород линейно вытягиваются в северо-западном направлении, что отчетливо подчеркивает “неуральский” структурный план метаморфических толщ.

К петрофизической группе II относятся породы эклогит-сланцевых комплексов (неркаюский – на Приполярном Урале и марункеуский – на Полярном Урале). Эклогит-сланцевые комплексы, также как и вышеописанные комплексы, располагаются в области отрицательных значений локального гравитационного и магнитного полей интенсивностью минус 1–2 нТл. Такое соответствие, когда совпадает знак локальной составляющей гравитационного и магнитного полей, подтверждает ранее выявленную прямо пропорциональную зависимость между плотностью и магнитной восприимчивостью в данных породных комплексах [7].

При более детальных исследованиях внутри неркаюского массива наблюдаются локальные магнитные аномалии, оси которых ориентированны к северо-западу. Эти аномалии подчеркивают связь с реликтовыми структурами, установленными непосредственными наблюдениями в естественных разрезах [9, 10].

В *петрофизическую группу пород III* объединяются породы гранулит-метабазитовых комплексов: хордьюского, контактирующего с запада с Войкаро-Сынинским массивом и малыкского, расположившегося с востока от Сгумкеуского массива. В основном, над породами гранулит-метабазитовых комплексов отмечаются слабоинтенсивные локальные гравитационные и магнитные поля. Важно отметить, что на востоке Южнохордьюского массива породы хордьюского комплекса способны создавать положительные аномалии интенсивностью 10 мГал, а малыкский комплекс пород весь расположен в слабоинтенсивном поле $\Delta g_{\text{л}}$ (1 мГал). Это позволяет предположить, что наибольший объем высокоплотных пород с $\sigma_{\text{ср}}$, равной 3.1 г/см^3 , малыкского комплекса выведен на дневную поверхность [6], а вот “корни” хордьюского комплекса возможно расположены в земной коре.

Среди преимущественно немагнитных пород данной петрофизической группы, мы отмечаем широкий предел вариаций магнитной восприимчивости в породах основного состава, что является причиной неоднородного характера магнитного поля.

Главной чертой локального гравитационного поля I-III петрофизических групп является отсутствие в нем выраженного гравитационного эффекта от метаморфических

комплексов. Слабоинтенсивные положительные и отрицательные аномалии Δg_L позволяют предположить, что все дорифейские метаморфизованные комплексы расположены в приповерхностном слое или вынесены большей своей частью на земную поверхность.

Важно отметить, что над дорифейскими комплексами пород севера Урала наблюдаются слабоинтенсивные локальные гравитационные и отрицательные магнитные поля очень близки по геофизическим параметрам к структурно-вещественным комплексам восточной части Европейской платформы, которые характеризуют континентальный тип земной коры [3]. В итоге, породы петрофизических группы I–III объединяются в петрофизическую зону “палеоконтинентального” типа.

Следующие четыре петрофизические группы пород относятся к геологическим образованиям восточной зоны севера Урала, пространственно связанными с Главным Уральским разломом и расположенными к востоку от него. Они представлены магматическими породами различного состава от ультраосновного до кислого и вулканогенно-осадочными образованиями Приполярного и Полярного Урала. Несмотря на то, что породы восточной зоны севера Урала располагаются в области положительных значений гравитационного и магнитного полей, по схожим петрофизическим свойствам и морфологии геофизических полей они делятся на две различные петрофизические зоны.

Петрофизическая группа IV объединяет ультраосновные породы офиолитовых комплексов, представленных в Олыся-Мусюрском, Войкаро-Сыньинском, Рай-Изском и Сыум-Кеуском массивах. Породы офиолитовых комплексов имеют повышенные плотности ($2.90\text{--}3.10 \text{ г/см}^3$) и среднюю и высокую магнитную восприимчивость (от 300 до 1500×10^{-6} СГС) [5]. Благодаря широкому спектру плотностных и магнитных свойств, над гипербазитовым массивом мы наблюдаем интенсивные положительные аномалии Δg_L и $(\Delta T)_a$ с отчетливо выраженной субмеридиональной линейностью (северо-северо-восточной). Гипербазиты отражаются в магнитном поле интенсивными линейными вытянутыми аномалиями с резкой дифференциацией по амплитуде и небольшими периодами между экстремумами сближенных аномалий. Известно, что такая система перемежающихся узких аномалий очень характерна для участков современной океанической коры в зонах спрединга. В зависимости от степени серпентинизации и глубины ее проникновения ультраосновные породы теряют свои плотностные свойства и приобретают высокие магнитные свойства. Поэтому магнитным максимумам над серпентинизированными породами соответствуют минимумы локального гравитационного поля.

Петрофизическая группа V объединяет базиты кершорского и лагортинского комплексов. Вулканы основного состава, обладая высокими значениями плотности (σ_{cp} 2.90 г/см^3 у верлитов, клинопироксенитов и σ_{cp} 3.2 г/см^3 у горнблендитов), вместе с ультрабазитами они составляют в аномальном гравитационном поле единую положительную аномальную зону, а в полях Δg_L они выделяются локальными высокоинтенсивными максимумами. Схожая картина наблюдается и в магнитном поле. В положительном магнитном поле при детальном исследовании габброиды, как и гипербазиты (несерпентинизированные), картируются серией отдельных линейных аномалий, внутри которых хаотично располагаются отдельные мелкие интенсивные аномалии от 10 до 33 нТл. Выраженная повторяемость в физических полях, когда максимумам локального гравитационного поля соответствуют положительные магнитные аномалии, объясняется устойчивыми прямо пропорциональными зависимостями между плотностью и магнитной восприимчивостью, установленными в породах данной петрофизической группы [8]. В интрузивных образованиях, за исключением серпентинизированных базитов, отмечается классическая зависимость плотности от основности пород.

В результате, высокоплотные и магнитные породы IV–V петрофизических групп объединяются в единую петрофизическую зону “палеоокеанического” типа. Резко выраженная дифференциация и вариативность в физических свойствах ультрабазитов и базитов повлияла на интенсивность и морфологию геофизических полей. Для данной

петрофизической зоны характерны высокоинтенсивные магнитные и гравитационные поля с характерными линейно-вытянутыми аномалиями северо-северо-восточного направления.

В петрофизическую группу VI вошли интрузивные образования среднего, реже умеренно-кислого составов, собского и конгорского комплексов пород. Над породами данной петрофизической группы отмечается положительное поле локальных аномалий Δg_n средней интенсивности, обусловленное диоритами и кварцевыми диоритами со средней плотностью 2.80 г/см^3 , на фоне которого выделяются локальные (линзообразные в плане) минимумы интенсивностью минус 1 мГал, отвечающие гранитоидным телам. В магнитном поле отмечается та же закономерность – в преимущественно положительном магнитном поле над интрузивными породами среднего состава с $\chi_{\text{ср}} 900 \times 10^{-6}$ СГС есть аномалии с пониженной интенсивностью над участками распространения кислых пород с $\chi_{\text{ср}} 400 \times 10^{-6}$ СГС.

Петрофизическая группа VII состоит из вулканогенно-осадочных пород, представленных дацитами, андезитами, андезибазальтами и их туфами с прослоями туфопесчаников и рифогенных известняков малоуральской свиты, а также конгломератами, гравелитами и туфопесчаниками варчатинской свиты.

Вещественная дифференциация состава вулканитов от базальтовых до плагиогранитовых и риолитовых, а так же наличие постепенных переходов между ними в разрезе, практически не дает возможности на этапе качественной интерпретации гравиметрических данных определить границы их распространения. Разделение эффузивов кислого состава и пирокластических образований с одинаковыми плотностями также проблематично. Поэтому, наблюдаемые на фоне общего пониженного локального поля положительные аномалии Δg_n интенсивностью 1–3 мГал, можно считать гравитационным “вкладом” вулканитов нормальной щелочности с $\sigma_{\text{ср}} 2.80\text{--}2.83 \text{ г/см}^3$, слагающих нижнюю часть разреза вулканогенно-осадочной толщи.

Среди эффузивов в положительном магнитном поле отразились наиболее магнитные основные разности (базальты и андези-базальты) с $\chi_{\text{ср}} 1000\text{--}1400 \times 10^{-6}$ СГС. Им соответствуют магнитные аномалии со значениями интенсивности от 5 до 8 нТл. Выделение слабомагнитных вулканогенных образований и осадочных комплексов в геофизических полях практически невозможно, так как они сливаются с общим пониженным “фоновым” полем.

В результате по схожим петрофизическим свойствам и общим признакам в характеристиках геофизических полей VI и VII петрофизические группы пород объединяются в единую петрофизическую зону “палеоостроводужного” типа.

Для данной петрофизической зоны результаты качественной интерпретации выявили средней интенсивности магнитное и гравитационное поля, на фоне которых наиболее выражено наблюдаются локальные слабоинтенсивные или отрицательные аномалии, соотносимые с породами средне- и кислого состава, и интенсивные положительные аномалии, связанные с вулканитами основного состава. Общее понижение интенсивности магнитного и гравитационного полей позволяет судить о меньшей тектонической нарушенности в поверхностных структурах данной петрофизической зоны. Это отразилось в морфологии геофизических полей, в которых отмечается меньшая частота (разреженность) в изолиниях, увеличение размерности аномалий $(\Delta T)_a$ и Δg_n и сохранение северо-северо-восточной направленности.

Выводы. В пределах севера Урала по особенностям гравитационного и магнитного полей выделены следующие петрофизические зоны:

Петрофизическая зона “палеоконтинентального” типа объединяет петрофизические группы I–III, представленные дорифейскими метаморфическими комплексами, расположенными с запада от Главного Уральского разлома, над которыми наблюдаются отрицательные гравитационное и магнитное поля. Характеристики физических полей над данной петрофизической зоной имеют общие черты с геофизическими полями восточной части Европейской платформы.

Петрофизическая зона “палеоокеанического” типа соединяет ультрабазиты офиолитовых комплексов, базиты кершорского и лагортинского комплексов. Данной петрофизической зоне характерны высокоинтенсивные магнитные и гравитационные поля. Зависимость магматитов от основности и низкотемпературных зеленокаменных изменений резко отразилась в частой смене локальных максимумов силы тяжести интенсивностью несколько десятков мГал на минимумы, густотой изолиний и линейной форме аномалий с выраженной северо-северо-восточной направленностью.

Восточнее выделяется петрофизическая зона “палеоостроводужного” типа. Широкое присутствие магматитов среднего и кислого составов собского и конгорского комплексов, а также вулканогенно-осадочных пород, обладающих пониженной плотностью, что в целом повлияло на понижение интенсивности геофизических полей. Поэтому данной петрофизической зоне характерны средней интенсивности гравитационное ($\Delta g_{\text{л}}$) и магнитное поля, внутри которых наблюдаются отрицательные аномалии, соотносимые с породами средне- и кислого состава, а интенсивные положительные аномалии связаны с вулканитами основного состава. Аномалии имеют крупные размеры по площади, что отличают их от линейной формы аномалий петрофизической зоны “палеоостроводужного” типа, но при этом сохраняется их северо-северо-восточная направленность.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований РАН №15-18-5-17.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000000 (третье поколение). Серия Уральская, лист Q 41 (Воркута). Объяснительная записка. С-Пб: ВСЕГЕИ, 2007.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000000 (третье поколение). Западно-Сибирская серия, лист Q 42 (Салехард). Объяснительная записка. С-Пб: ВСЕГЕИ, 2013.
3. Запорожцева И.В., Пыстин А.М. Строение дофанерозойской литосферы Европейского Северо-Востока. СПб.: Наука, 1994. 112 с.
4. Карта аномального магнитного поля (ΔT)_a России и прилегающих акваторий. С-Пб: ВСЕГЕИ, 2004 г.
5. Макеев А.Б., Льюрова (Пономарева) Т.А. Магнитная восприимчивость пород и минералов ультрабазитов и ее значение для картирования Полярного Урала / Минералогия Тимано-Североуральского региона. Сыктывкар, 1989. С.97–106. (Тр. Ин-та геол. Коми НЦ УрО РАН СССР. Вып.72)
6. Пономарева Т.А., Куликова К.В., Кузнецов Н.Б. Гравитационная модель Сыумкеу-Щучьинского района (Полярный Урал) // Восьмые геофизические чтения имени В.В. Федынского: Тезисы докладов. М., 2006.–С.86-87.
7. Пономарева Т.А., Пыстин А.М. Петрофизическая характеристика пород полиметаморфических комплексов севера Урала // Известия Коми НЦ УрО РАН, 2014. №2(18). С.68-74.
8. Пономарева Т.А., Пыстин А.М. Анализ физических свойств пород восточной зоны севера Урала // Известия Коми НЦ УрО РАН, 2014. №1(25). С.51-61.
9. Пыстин А. М. Полиметаморфические комплексы западного склона Урала. СПб.:Наука, 1994. 112 с.
10. Пыстин А.М., Кушманова Е.В., Потапов И.Л., Панфилов А.В. Неркаюский метаморфический комплекс Приполярного Урала. Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. №11. 2014. С.14-19.

УДК 550.831

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ЯВНЫХ И НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ ПОЛЮСОВ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ОТНОСИТЕЛЬНО ИСТОЧНИКОВ И ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА POLUS

Простолупов Геннадий Валерьевич

e-mail: genagravik@gmail.com

Горный институт УрО РАН, г.Пермь, Россия

Аннотация. Рассмотрены возможности и некоторые особенности локализации относительно источников явных и неопределенных полюсов потенциала силы тяжести в методе Polus, в частности характеристики распределения неявных полюсов первого, второго и третьего порядков. Приведен пример практической реализации метода на модели разреза Верхнекамского месторождения калийных солей.

LOCALIZATION OF EXPLICIT AND UNCERTAINTAL POLE RANGE OF GRAVITATIONAL POTENTIAL FOR SOURCES AND OPPORTUNITIES FOR PRACTICAL IMPLEMENTATION OF POLUS METHOD

Gennady Proistolupov

e-mail: genagravik@gmail.com

Mining Institute of the Ural Branch Russian Academy of sciences, Perm, Russia

Summary. The possibilities and some features of localization relative to the sources of explicit and uncertain poles of the gravitational potential in the Polus method, in particular, the distribution characteristics of the implicit poles of the first, second and third orders are considered. The example of practical implementation of the method on the model of the Verkhnekamskoye deposit of potassium salts are given.

Метод Polus основан на свойствах векторов полного градиента потенциала быть направленными в сторону возмущающей массы, т.е., для как минимум пары векторов, сходиться в сторону положительного источника и расходиться в верхнее полупространство в случае отрицательного, при этом точка пересечения векторов (полюс) пространственно совпадает с источником, и точно – с центром источника типа шар (или точечного). Дальнейшие исследования привели к использованию в качестве содержательной интерпретационной единицы точки пересечения векторов не только градиента потенциала – значения первой производной, но также и второй и третьей производной. В гравиметрической практике чаще используются первые производные силы тяжести V_z в связи с тем, что вертикальная производная потенциала измеряется непосредственно гравиметром, горизонтальные же составляющие можно измерить или вычислить. В методе Polus используются первые производные потенциала V , так как они являются составляющими вектора, направленного точно в сторону источника (а не силы тяжести V_z , как принято). Производные потенциала V_z , V_x , V_y , а также высшие производные V_{zx} , V_{zy} , V_{zz} , V_{zxx} , V_{zzy} , V_{zzz} вычисляются с помощью алгоритма истокообразных аппроксимаций поля [1]. Согласно теории поля, вычисленный таким образом гравитационный эффект, включая производные, всюду вне областей аномальных масс совпадет с действительным, если последний удастся измерить [3].

В предыдущих материалах [4, 7] описывались свойства определенных полюсов первого P_I^{++} , P_I^{--} , второго P_{II}^{++} , P_{II}^{--} , и третьего P_{III}^{++} , P_{III}^{--} порядков относительно источников гравитационного поля. Согласно классификации полюсов, описанной в [6], существуют также полюсы неопределенные первого P_I^+ , P_I^- , второго P_{II}^+ , P_{II}^- , третьего P_{III}^+ , P_{III}^- порядка и нейтральные P_I^0 , P_{II}^0 , P_{III}^0 . Полюсы P^+ неопределенные положительные

образуются в нижнем полупространстве при пересечении линейных продолжений отрицательных векторов в направлении, противоположном «стрелке» вектора. Полюсы P° неопределенные отрицательные образуются в верхнем полупространстве при пересечении линейных продолжений положительных векторов в направлении, противоположном «стрелке» положительного вектора.

Полезность определенных (явных) полюсов трех порядков P_I , P_{II} , P_{III} не вызывает сомнения. Рассмотрим пример их эффективности на задаче по локализации наклонного бруса с углом погружения 45° (рис.1). Эффект Δg и конфигурация фигуры взяты из атласа теоретических кривых для интерпретации магнитных и гравитационных аномалий [2]. При локализации бруса использован принцип взаимодополняющего эффекта явных полюсов P_I , P_{II} , P_{III} , описанный ранее [7]. Полюсы разных порядков локализуются со смещением друг относительно друга, но в совокупности лучше отражают объект исследования. В частности заметно тяготение полюсов от центра в сторону погружения бруса, особенно у полюсов первого порядка P_I . Ранее эффективность явных полюсов рассматривалась при решении обратных задач по локализации объектов типа шар, риф, уголок, стержень, горизонтальная пластина [5].

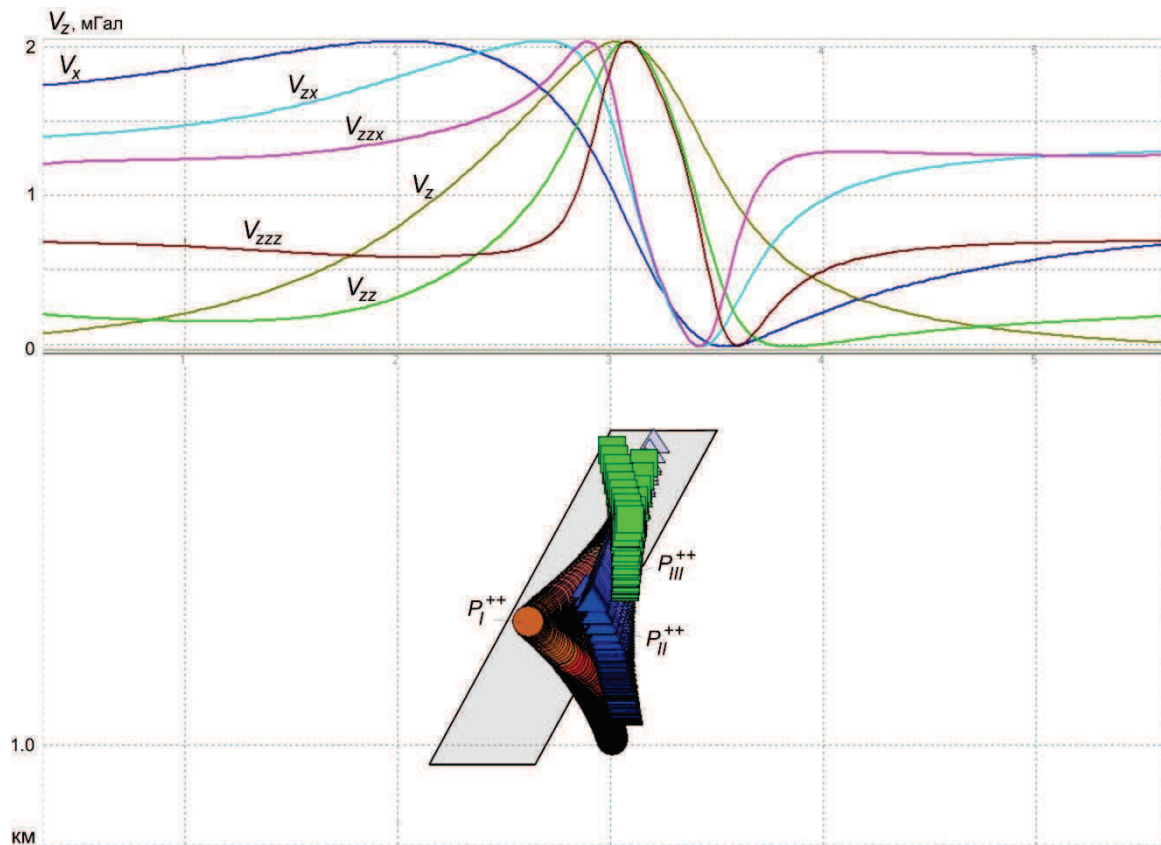


Рис.1. Локализация источника типа наклонный брус определенными полюсами P_I^{++} , P_{II}^{++} , и P_{III}^{++}

Неопределенные полюсы второго и третьего порядка вследствие быстрой смены характера графиков высших производных V_{zz} , V_{zx} и V_{zzz} , V_{zzx} - резкого возрастания (убывания), сменяющегося пологими составляющими, чаще образуются вне области интерпретационного пространства (глубина превышает $1/3$ размера съемки). По характеру расположения полюсов относительно источников их можно охарактеризовать скорее как случайный разброс, в случае с полюсами второго типа, их множества концентрируются больше между источниками с противоположной избыточной плотностью. Характеру шума также соответствуют и нейтральные полюсы P° .

В результате можно рассматривать интерпретационную эффективность только неопределенных полюсов первого порядка P_I^- , P_I^+ . Их можно подразделить на сопряженные отрицательные P_I^- , например, для положительных источников и наоборот. В этом заключается их интерпретационная полезность, так как у наблюдаемого аномального поля заранее неизвестно какой знак имеют искомые тела положительный или отрицательный. Отрицательные тела расположены среди вмещающих пород или наоборот. Любопытным являются и некоторые особенности локализации неопределенных полюсов, в отличие от определенных, их локализация в целом попадает в область сопряженного отрицательного источника, но с небольшим отклонением по горизонтали от эталона. Т.е. точность их локализации ниже, чем у определенных. При этом можно отметить нестабильность их локализации по глубине относительно основных полюсов. Их глубина зависит в основном, если рассматривать изометричные тела, от горизонтального расстояния между этими источниками. Чем больше расстояние между источниками, тем глубже расположены сопряженные полюсы. И это закономерно, в связи с тем, что среда в горизонтальном направлении между положительными источниками является по сути протяженным отрицательным источником, и чем больше эта протяженность, тем глубже локализуются отрицательные сопряженные полюсы P_I^- . При наличии единственного тела сопряженные полюсы не образуются.

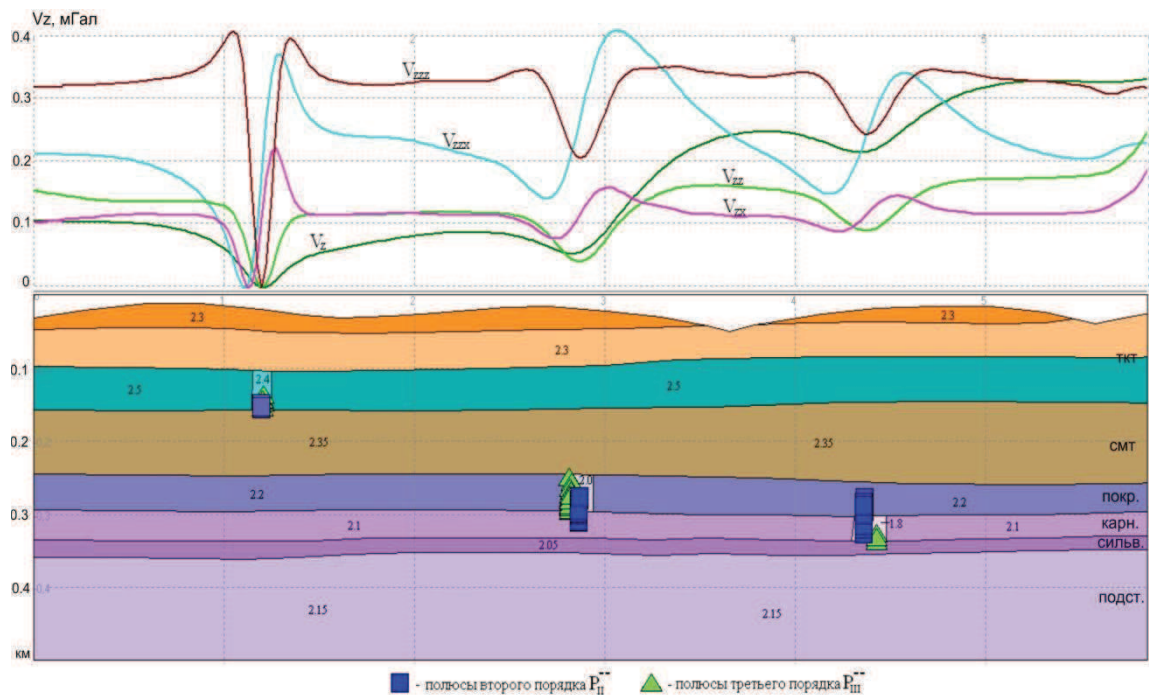


Рис.2. Плотностная модель разреза ВКМКС с разуплотненными зонами и локализация полюсов P_{II}^- , и P_{III}^-

Возможность практического применения программы Polus2d при геологической интерпретации детального гравитационного поля, измеренного на Верхнекамском месторождении калийных солей (ВКМКС) рассмотрим на примере схематичного плотностного разреза, имитирующего строение ВКМКС (рис.2). В карналлитовой зоне, покровной каменной соли и нижней части терригенно-карбонатной толщи разреза смоделированы разуплотнения. Гравитационный эффект от всей модели можно видеть на графике V_z рисунка. Методом истокообразных аппроксимаций по рассчитанным значениям V_z получены величины производных потенциала V_x , V_y , а также высшие производные V_{zx} , V_{zy} , V_{zz} , V_{zzx} , V_{zzy} , V_{zzz} . По ним построены вектора и их пересечения в пространстве, в результате чего определены явные отрицательные полюсы P_I^- , P_{II}^- , и P_{III}^- . Как видно на

рис. 2 полюсы второго P_{II}^{\sim} и третьего порядков P_{III}^{\sim} показали наилучшее совпадение с отрицательными зонами плотностей. Полюсы первого порядка локализовались за пределами заданных разуплотнений.

В целом, несмотря на значительный потенциал развития полярного метода как одного из методов векторной гравиметрии, можно говорить о завершенности программы, особенно ее двумерного варианта Polus2d, и готовности к интерпретации реальных полей, что подтверждают некоторые примеры практического использования и свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ [8].

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-45-590426.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долгаль А.С. Аппроксимация геопотенциальных полей эквивалентными источниками при решении практических задач/ Геофизический журнал. 1999. Т. 21. № 4. С. 71-80.
2. Миков Д.С. Атлас теоретических кривых для интерпретации магнитных и гравитационных аномалий. – Томск: Госгеолтехиздат, 1956. – 137 с.
3. Михайлов В.О., Диаман М. Некоторые вопросы интерпретации данных тензорной деконволюции/ Физика Земли. 2006. №12. С. 3-10.
4. Простолупов Г.В. Исследование свойств локализации полюсов относительно моделей источников поля силы тяжести/ Стратегия и процессы освоения георесурсов. Сб. научн. трудов, вып. 13. Пермь: ГИ УрО РАН, 2015. С. 135-137.
5. Простолупов Г.В. Исследование свойств локализации полюсов относительно источников потенциального поля/ Материалы 43-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского: вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей. Воронеж: ВГУ, 2016. С. 187-190.
6. Простолупов Г.В. Классификация методов векторной обработки данных наземно-подземной гравиметрической съемки/ Стратегия и процессы освоения георесурсов. Сборник научных трудов. Пермь: ГИ УрО РАН, 2014. С. 139-141.
7. Простолупов Г.В. Определение количественных параметров источников поля силы тяжести методом «Полюс»/ Стратегия и процессы освоения георесурсов. Сб. научн. трудов, вып. 14. Пермь: ГИ УрО РАН, 2016. С. 153-156.
8. Тарантин М.В., Простолупов Г.В. Полярная трансформация гравиметрических данных «Polus2d»/ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017610475, 11 января 2017 г.

УДК 550.838

**ИЗУЧЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОГНОЗА ПОЛОЖЕНИЯ ЭПИЦЕНТРА
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ПО АНОМАЛИЯМ РАДОНА**

Пьянков Валентин Александрович, Рублев Алексей Леонидович
e-mail: a.roublev@list.ru
Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. Характерные особенности аномалий радона (Rn 222) (частота появления, интервал времени предвестника и распределение амплитуд) коррелируют с характеристиками землетрясений, такими как магнитуда и эпицентральное расстояние. Ранее как предвестники землетрясений аномалии радона были зарегистрированы в Соединенных Штатах. Хотя набор данных является неполным и осложнен погрешностями экспериментальных данных, точки наблюдений находились на расстоянии от 100 до 500 км от эпицентров землетрясений. Отмечено, что величина максимальной амплитуды аномалий радона не коррелирует с магнитудами землетрясений. Величина амплитуды аномалии радона, вероятно, сильно зависит от местных условий, таких как тип горных пород и локальные гидравлические условия. Однако интересно отметить некоторые пространственные особенности аномалий радона. Зона предвестников землетрясений представляет собой широкое кольцевое пространство, а аномалии радона не наблюдаются вблизи эпицентра землетрясения.

**A STUDY OF THE PROBLEM OF THE PREDICTION OF THE LOCATION OF THE
EPICENTER OF AN EARTHQUAKE BY INTERPRETING RADON ANOMALIES**

Valentin Pyankov, Alexey Rublev
e-mail: a.roublev@list.ru
Institute of geophysics Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Summary. The properties of the data set of radon (Rn 222) anomalies (the frequency of occurrence, the precursor time interval and the distribution of peak amplitudes) are correlated with earthquake data such as the respective magnitude and epicentral distance. The anomalies were reported as precursors to earthquakes in the United States. Although the data set is incomplete and limited by experimental deficiencies large earthquakes are frequently observed at a distance of 100 to 500 km. The peak amplitude of radon anomalies does not scale with magnitude. The size of the amplitude of radon anomaly is probably strongly influenced by local conditions such as rock type and local hydraulics. However it is interesting to note some space features of radon anomalies. The zone of precursor features appears to be rather broad, possibly a circular annulus, since almost no anomalies are observed close to subsequent epicenter.

Введение. Исследование поля эксхалиции радона из массива позволяет решать различные геологические и геофизические проблемы, такие, например, как разделение тектонических зон на проницаемые и непроницаемые. Многие работы посвящены исследованию связи между зарегистрированными во времени изменениями концентрации радона и кратковременными предвестниками землетрясения. Направление исследований по изучению изменения во времени концентрации радона и напряженно-деформированного состояния массива может быть оправдано следующими обстоятельствами. Радон из-за его особенностей является оптимальным инструментом при проведении различных геолого-геофизических исследований. Во-первых, радиоактивный газ радон постоянно генерируется в горных породах во время распада природных радиоактивных элементов (урана, радия). Поэтому радон всегда присутствует в любом массиве, и его концентрация, как правило, уменьшается, например, из-за диффузии из породы в атмосферу, но постоянно

компенсируется новой генерацией радона. Во-вторых, диффузия радона в породе и ее эксхалиция с поверхности почвы определяется определенным коэффициентом диффузии, который зависит от многих факторов. Наиболее важными из них являются пористость, проницаемость и концентрация радиоактивных элементов. Величина кажущегося коэффициента диффузии в значительной степени определяется проницаемостью массива и присутствиями пор и каналов. Соотношения свойств среды существенно зависят от динамики дилатирующих включений, находящихся в земной коре [5]. Динамические изменения напряжений и деформаций на приповерхностных глубинах должны характеризовать напряженно-деформированное состояние массива в значительном объеме. Указанные причины устанавливаются в качестве основы для исследования поля изменения концентрации радона в качестве короткопериодного тектонического предвестника землетрясения. Это процесс освобождения тектонических напряжений в локальной области (эпицентре), когда приложенные напряжения существенно превышают прочность массива. Исследование изменений поля концентрации радона, предшествующих тектоническому землетрясению, на основе выявленных закономерностей для тектонических явлений, позволяет, на наш взгляд, найти новые систематические возможности относительно вероятностного предсказания землетрясений. Сравнительный анализ поведения радона, предшествующего тектоническим явлениям, проводился для данных уникального эксперимента по изучению вариации поля радона в 60 точках наблюдения (рис. 1) вдоль разломов Сан-Андреас и Калаверас [2].

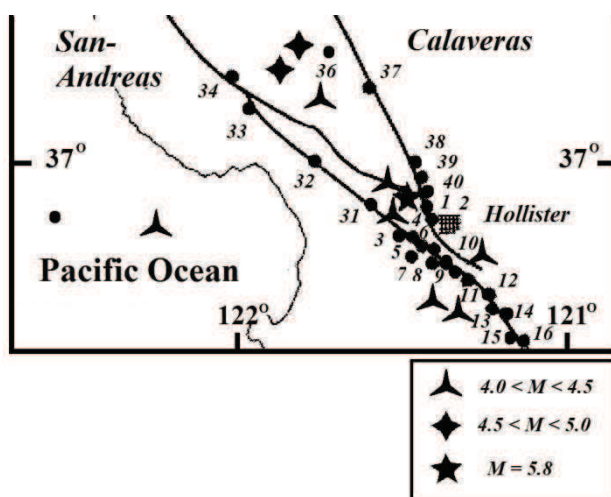


Рис. 1. Схема расположения пунктов регистрации вариаций радона и эпицентров землетрясений (King Chi-Yu, 1980).

Интерпретация. Задачей исследования является возможное определение времени и места будущего тектонического события на примере анализа пространственно-временной картины вариаций концентрации радона. Для корректного решения поставленной задачи необходимо, как и для любого физического поля, разделить наблюдаемые данные на нормальную и аномальную составляющие.

Мы провели исследование вариаций поля эксхалиции радона из объема горных пород, полученных Чи-Ю Кингом на 12 скважинах в районе разлома Сан-Андреас (Калифорния, США) в период с 1975 по 1980 годы [2]. В этот период было отмечено 17 сейсмических событий с магнитудой $M > 4$. Для анализа отобраны данные об эксхалиции радона, полученные при еженедельном экспонировании трековых детекторов.

Для выделения тектонического сигнала в вариациях эксхалиции радона используется методика факторного анализа [3]. Ее использование позволяет получить упорядоченную пространственно-временную картину поля и наблюдать его локальные искажения во

времени. В факторном анализе предполагается, что наблюдаемые переменные (вариации эксхалляции радона на скважинах) являются линейными комбинациями некоторых скрытых переменных, число которых обычно намного меньше числа исследуемых переменных. Ряд наблюдений в скважинах 1-12, расположенных вблизи пересечения разломов Сан-Андреас и Калаверас (оцененного как зона-индикатор), анализируются ретроспективно в «реальном времени». При обработке сигнала в «реальном времени» в алгоритме задается число неизвестных факторов, равное количеству проанализированных переменных. При анализе мы используем скользящий временной интервал. Для каждого временного интервала определяется количество скрытых факторов [4]. В результате анализа исследуемого материала мы предполагаем следующий сценарий развития системы исследуемых переменных. В тектонически спокойные периоды серии непрерывного мониторинга на станциях отражают только изменение нормального поля эксхалляции радона. Решение для этих периодов является однофакторным. Затем во время подготовки тектонического события начинается перераспределение концентрации радона в объеме породы. С этого момента решение становится двухфакторным. Более того, изначально преобладает фактор, ответственный за нормальное поле. Далее усиливается роль второго (аномального) фактора (рис. 2). После тектонического события система снова становится однофакторной.

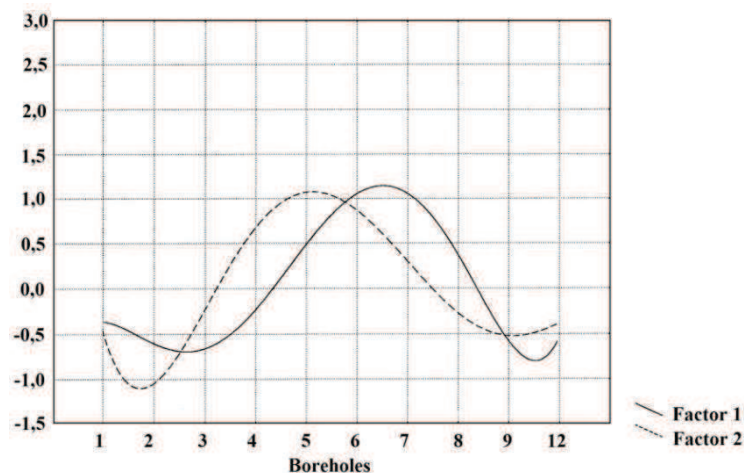


Рис. 2. Нормальная и аномальная компоненты вариаций радона на заключительном этапе тектонического события (декабрь 1976 г.).

Например, с октября по декабрь 1976 г. при изучении 10 переменных было установлено, что однофакторная система становится двухфакторной за 8 недель до землетрясения $M = 5$. Кроме того, второй факторный экстремум отличается от положения эпицентральной области землетрясения не более, чем на 5 км, что соответствует пространственной дискретности наблюдений.

Прогноз был сделан для 14 из 17 землетрясений. Отмечается, что время предвестника постепенно уменьшается с 8 недель для события 1976 года до 1 недели в 1980 году. Кроме того, факторы становятся менее контрастно связанными с прогнозируемым землетрясением. Показателен пример прогноза землетрясения $M > 5$ (октябрь 1979 г.), который произошел между двумя пересекающимися профилями наблюдений. Таким образом, предвестниковый сигнал, наблюдаемый в аномальном втором факторе, показан на двух профилях, которые позволяют определить местоположение будущего тектонического события (рис. 3).

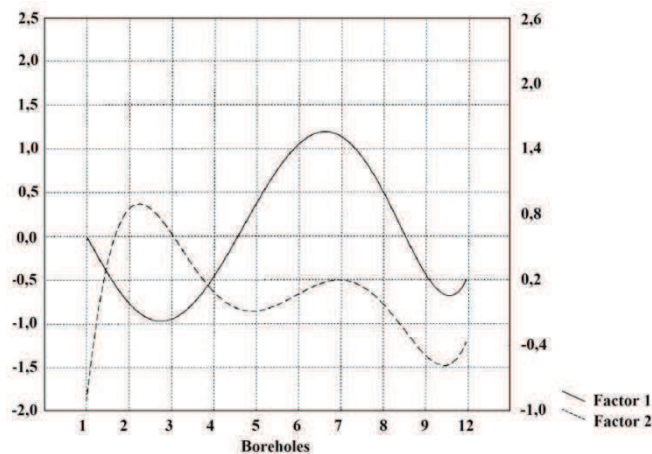


Рис. 3. Прогноз времени и места землетрясения с оценкой положения эпицентра между скважинами 2 и 7.

Экстремумы регистрируются на 2 и 7 пунктах наблюдения. В зоне эпицентра аномальный сигнал минимален. То есть, если провести лучи из эпицентра землетрясения, то зоны экстремумов аномальной эксхалции радона будут наблюдаться на разных азимутах. В этом случае можно сделать предположение о том, что зона аномальной эксхалции радона может представлять собой кольцевой участок, окружающий эпицентр землетрясения. В эпицентре аномалия не регистрируется. Для объяснения наблюдаемого явления привлечем механизм пространственного перераспределения газов, который следует из особенностей модели Райса-Рудницки [5]. При «недренажных» условиях деформирования дилатирующего включения в его объеме возникает зона пониженного давления, достигающего величины 10-100 бар. В этом случае, из-за эффекта инжекции максимальные изменения эксхалции радона должны наблюдаться в широкой зоне контакта высокопроницаемого дилатирующего включения и слабопроницаемого массива вмещающих горных пород. То есть, в случае сферического дилатирующего включения аномальная зона будет представлять собой сферический слой (рис. 4).

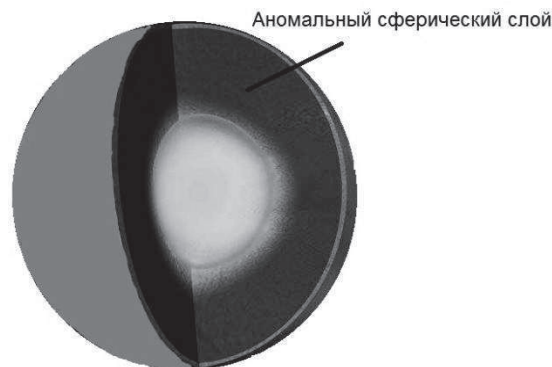


Рис. 4. Схематическое изображение динамики дилатирующего включения.

В верхней части сферы влияние эффекта инжекции будет минимальным, поскольку мало различие по проницаемости дилатирующего включения и воздуха, кроме того, втягиваться будет не радон, а атмосферный воздух. Следовательно, горизонтальная проекция аномальной зоны представляет собой кольцо. Подобные выводы о форме предвестниковой аномальной зоны эксхалции радона сделаны Хаукссоном [1] для широкого диапазона аномалий радона, наблюдаемых в различных регионах Земли (рис. 5). Главный вывод: аномалии радона не наблюдаются в эпицентре землетрясения.

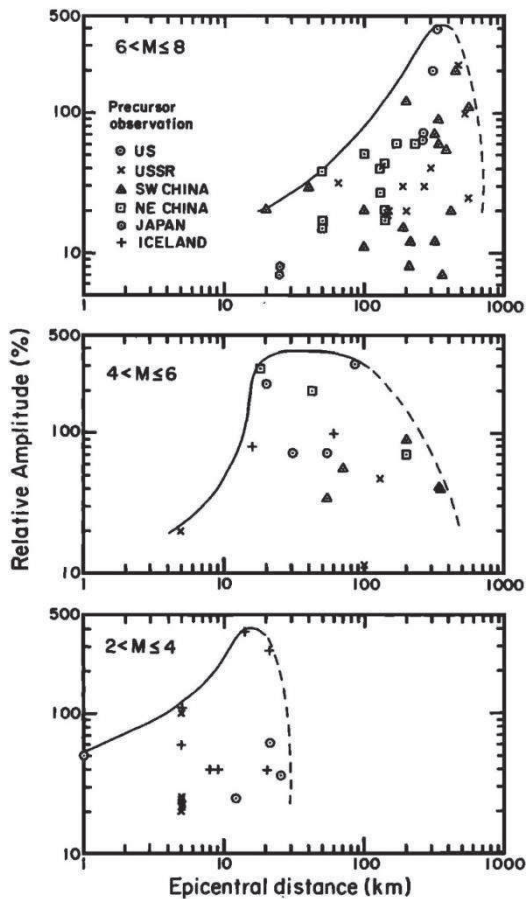


Рис. 5. Абсолютные значения относительной амплитуды в зависимости от эпицентрального расстояния. Огибающие подчеркивают, на каких расстояниях имеют место максимальные амплитуды (Hauksson, 1981).

Заключение. Зона аномальных предвестников землетрясений, выделенных по данным эксгаляции радона, представляет собой в плане кольцевую структуру, окружающую эпицентр землетрясения. Следуя нашей гипотезе об инъекции на границе дилатирующего включения, в эпицентре землетрясения аномалий радона не должно наблюдаться. Это утверждение подтверждается как результатами наших исследований, так и исследованиями Хаукссона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hauksson E. Radon content of groundwater as an earthquake precursor: Evaluation of worldwide data and physical basis // J. Geophys. Res., 1980. №86. 9397-9410 pp. DOI: 10.1029/JB086iB10p09397
2. King Chi-Yu. Episodic radon changes in subsurface soil gas along active fault and possible relation to earthquake, Journal of Geophysical Research, USA, 1980. Vol.85/issue 6, pp 3065-3078.
3. Martyshko P., Pyankov V., Rublev A. The new method of short-term earthquake prediction (radon anomaly on San-Andreas fault) // 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7105-33-9 / ISSN 1314-2704, Albena. Bulgaria. 2015. Book1 Vol. 3, 1059-1066 pp. DOI: 10.5593/SGEM2015/B13/S5.137
4. Martyshko P.S., Pyankov V.A., Rublev A.L. The interpretation of spatial and temporal distribution of radon high-amplitude variations based on Goldin's model // XVth International Conference – Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects. Kiev, Ukraine. 2016. DOI: 10.3997/2214-4609.201600545
5. Rice G.R. and Rudnicki J.W. Earthquake precursory effects due to pore fluid stabilization of weakening fault zone, Journal of Geophysical Research, USA, 1979. Vol.84/issue5, pp 2177-2193.

УДК 550.838

**МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ МНОГОСЛОЙНОГО РАЗРЕЗА ЗЕМНОЙ КОРЫ
ПО МАГНИТНЫМ ДАННЫМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА
ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА**

*Пьянков Валентин Александрович, Рублев Алексей Леонидович
e-mail: a.roublev@list.ru*

Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. Представлены алгоритмы решения обратной задачи магнитометрии для многослойных трехмерных гетерогенных сред. Алгоритм разделения магнитных аномалий основан на методе факторного анализа в отличие от разделения магнитного поля по методике пересчета на разные высоты. Использование аппарата факторного анализа позволяет получить единственное решение обратной задачи магнитометрии. Таким образом, мы получаем многослойную магнитную модель земной коры без привлечения дополнительной информации.

**METHOD FOR CONSTRUCTING A MULTILAYERED MODEL OF THE EARTH'S
CRUST FROM MAGNETIC DATA USING THE APPARATUS OF FACTOR ANALYSIS**

*Valentin Pyankov, Alexey Rublev
e-mail: a.roublev@list.ru*

Institute of geophysics Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Summary. Algorithms of magnetic inverse problem solution for multilayers 3D heterogeneous media have been presented. The algorithm for separating the magnetic anomalies is based on factor analysis method in contrast to the separation of the magnetic field by the different wavelength intervals. The use of the factor analysis apparatus allows one to obtain a unique solution of magnetic inverse problem. Thus, we obtain a multilayered magnetic model of the earth's crust without additional information.

Введение. Строение земной коры Полярного сектора Уральской складчатой системы представляет огромный интерес в связи со сложным характером взаимоположения геологических структур первого порядка. Наибольший интерес, на наш взгляд, представляет изучение глубинного строения Предуральского прогиба. Эта структура является реперной по всей протяженности Уральской складчатой системы. В магнитном поле она проявляется в виде субмеридиональной региональной отрицательной магнитной аномалии достаточно сложной морфологии (рис. 1). Наиболее важными источниками комплексной геолого-геофизической информации о глубинном строении Уральской складчатой системы являются Полярно-Уральский трансект [6] и магнитные данные секущих Северный Урал на различных высотах профилей аэромагнитной съемки [8]. Методика и результаты построения трехмерной магнитной модели для Полярного Урала приводятся ниже.

Восстановление поверхности слоя по магнитным данным. Известно, что для Полярного Урала наклонение вектора индукции геомагнитного поля превышает 70° . Это позволяет в рамках допустимых погрешностей решать обратную задачу для вертикальной намагниченности слоев и использовать только вертикальную составляющую магнитного поля. Кроме того, значения намагниченности в слоях земной коры не превышают 6 А/м, поэтому эффект размагничивания внутри слоев будет небольшим и его можно не учитывать.

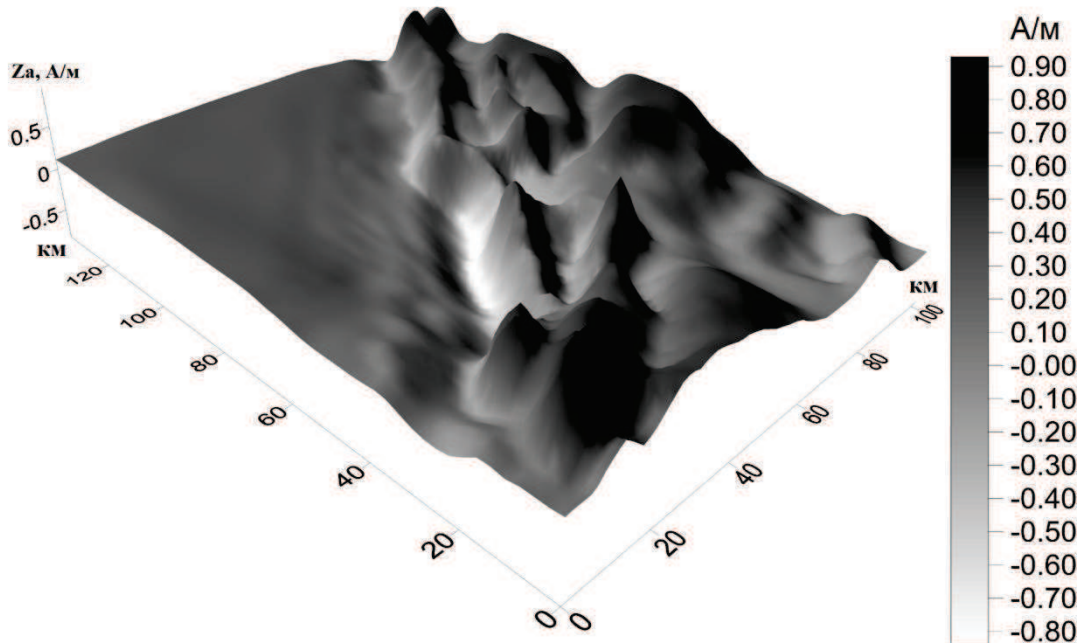


Рис. 1. Исходное магнитное поле сегмента Полярного Урала.

Нами предпринята попытка использовать методику факторного анализа для разделения магнитного поля. Ранее методы факторного анализа успешно применялись при статистической обработке геолого-геофизической информации. Достаточно подробно плюсы и минусы такого применения проанализированы ранее [1]. Чтобы показать особенности использования методики факторного анализа при интерпретации потенциальных полей, попытаемся раскрыть сущность этой методики.

Факторный анализ представляет собой набор моделей и методов, предназначенных для сжатия информации, содержащейся в исходной матрице, из которой формируется матрица коэффициентов корреляции r_{ij} . Пирсон предложил эвристический метод сжатия большого массива информации с одновременным выделением максимальной дисперсии, а позднее Хотеллинг развил эту идею, создав метод главных компонент [7].

$$z_j = a_{j1}F_1 + a_{j2}F_2 + \dots + a_{jn}F_n, \quad (1)$$

где каждый из наблюдаемых параметров линейно зависит от n некоррелированных между собой новых компонентов (факторов) F_1, F_2, \dots, F_n .

Поскольку элементами, используемыми в вычислениях, являются коэффициенты парной корреляции, то рассмотрим сущность этих коэффициентов. Известно, что произведение матрицы Z на транспонированную Z^T равно произведению корреляционной матрицы R на скаляр N :

$$Z Z^T = NR \quad (2)$$

Из этого следует: если m – ранг матрицы Z , то ранг матрицы $R = Z Z^T$ равен также m . Иными словами, ранг корреляционной матрицы равен рангу матрицы наблюдаемых данных. В работе [7] сформулировано более сильное утверждение относительно взаимосвязи между двумя матрицами (в том числе между матрицей вычисленных коэффициентов корреляции и факторной матрицей).

Теорема 1. Если Z есть $n \times N$ – матрица ранга m с действительными элементами, то $Z Z^T = R$ является положительно полуопределенной симметрической матрицей Грама ранга m .

Таким образом, любое свойство параметров, связанное с рангом матрицы Z , может быть установлено и с помощью матрицы R . А n параметров могут быть выражены как линейные комбинации не менее чем m факторов, где m – ранг корреляционной матрицы параметров. Набор из n параметров можно анализировать в терминах общих факторов (тогда на главной

диагонали матрицы R стоят единицы). В этом случае, как сказано выше, R есть матрица Грама, а факторное решение

$$z = Af \quad (3)$$

дается в терминах n общих факторов. Поскольку здесь A есть квадратная невырожденная матрица, то она имеет обратную матрицу. Поэтому искомые факторы определяются просто:

$$f = A^{-1} z \quad (4)$$

Это решение является точным и однозначным и не связано ни с какими «оценками».

Таким образом, если мы проводим разделение магнитного поля методом главных компонент, то получаем для этого случая единственное решение. Хотя, естественно, для каждой составляющей поля (в рамках источниковых моделей) остаются свои эквивалентные решения [2].

Для построения поверхностей раздела необходимо знать как параметры асимптотической поверхности, так и предполагаемую намагниченность слоев. Считается, что первый слой практически немагнитный $I_1=0,1$ А/м [8], а намагниченность следующего слоя получена в результате исследования материалов интерпретации данных профильных магнитных наблюдений. С этой целью на Урале в рамках трапеции $52-72^{\circ}\text{E} * 52-68^{\circ}\text{N}$ была проведена специальная прецизионная разновысотная аэромагнитная съемка по 8 широтным геотраверсам и двум субмеридиональным профилям на высотах 150-4000 м [8].

С целью устранения влияния приповерхностных намагниченных объектов было проведено разделение магнитного поля на составляющие методом факторного анализа. При решении задачи разделение магнитного поля было получено двухфакторное решение (рис. 2).

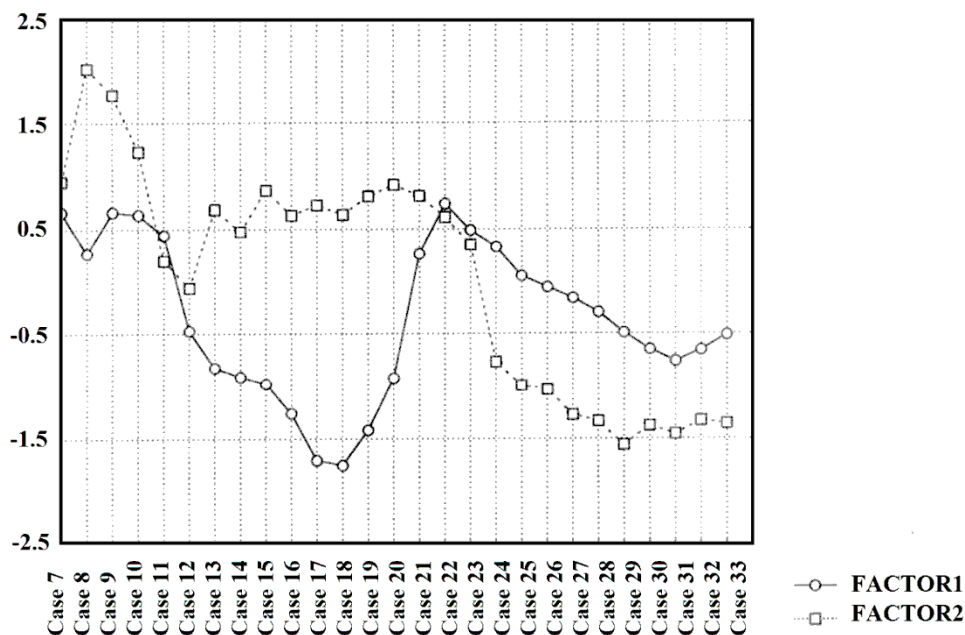


Рис. 2. Значения факторов для магнитного поля Полярного Урала.

Первый фактор отождествляется с линейной глубинной границей. Второй фактор ассоциируется с приповерхностным объектом сложной морфологии [2]. Следует отметить, что при любом пересчете на высоту поле от линейной границы получить невозможно.

После анализа магнитных и сейсмических данных для решения обратной задачи магнитометрии методом локальных поправок установлены как глубина до асимптотической поверхности – 10 км, так и намагниченность $I_2 = 0,7$ А/м. В результате решения обратной задачи магнитометрии методом локальных поправок [3, 4] получена контактная поверхность, разделяющая относительно немагнитные и магнитные породы (рис. 3).

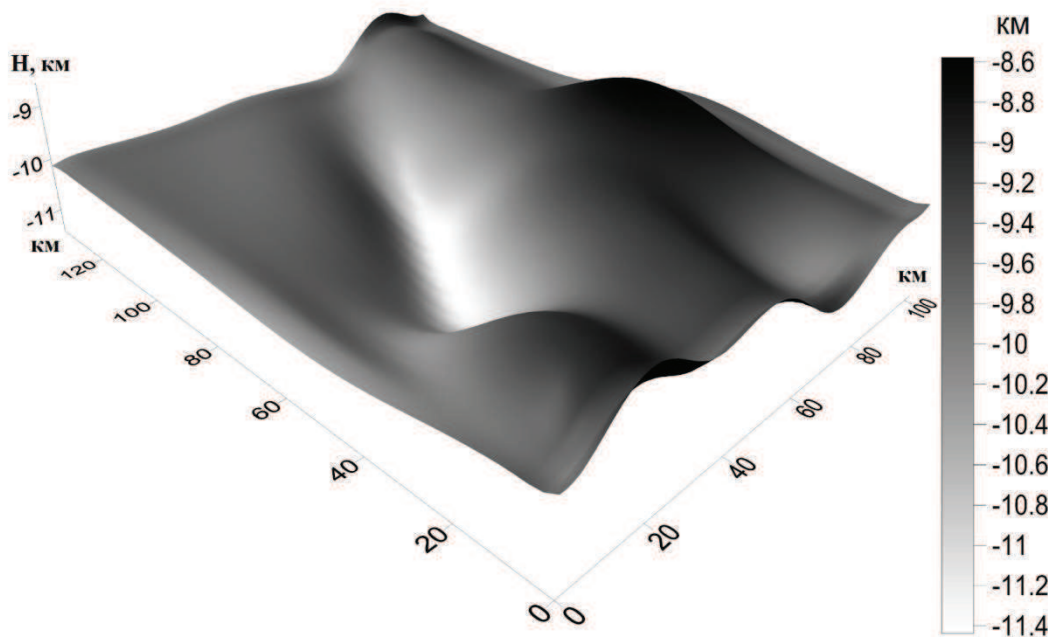


Рис. 3. Контактная поверхность, рассчитанная методом локальных поправок.

У магнитной 3D-границы очень сложная морфология, что связано, в том числе, и тем, что в земной коре изучаемой области находится зона аномальной электропроводности, присутствие которой несколько искажает достаточно плавный рельеф контактной поверхности. В результате исследований установлено, что морфология отрицательной региональной магнитной аномалии на Полярном Урале в большей степени отражает погружение контактной границы на восток под Урал. Амплитуда погружения на данном участке от 8 км до 14 км. Показано, что дальнейшее трассирование отрицательной региональной магнитной аномалии, вероятно, позволит продлить структуры Предуралья в зону Арктического шельфа. Для её уверенной идентификации необходимо знать особенности морфологии контактной магнитной поверхности.

Для определения параметров асимптотической поверхности использованы сейсмические данные Полярно-Уральского трансекта. Полярно-Уральский трансект имеет протяженность 300 км и сечет главные структуры Уральской складчатой системы. Западная граница трансекта располагается в Предуральском прогибе, далее на восток он пересекает пакеты пластин Лемвинского аллохтона (рис. 4) [6]. Эта часть территории и является объектом изучения строения магнитной модели земной коры. Моделирование распределения намагниченности в земной коре было проведено для прямоугольного участка площади $62-64^{\circ}\text{E} * 65-67^{\circ}\text{N}$, включающего в себя структуры Предуральского прогиба, основано на базе данных [5]. По сейсмическим данным Предуральский прогиб представлен слоистой пачкой отражателей, соответствующих палеозойскому складчатому чехлу. До глубин около 2 км отражения очень слабые, далее интенсивные отражения прослеживаются до глубин 10 км, а в восточной части прогиба до 15 км. Западная часть Лемвинского аллохтона характеризуется хаотическим распределением отражателей. Таким образом, опираясь на особенности геологического строения земной коры изучаемой зоны, предполагаем, что глубина до асимптотической поверхности при решении обратной задачи магнитометрии методом локальных поправок составляет 10 км. По данным предыдущих работ [8] установлена величина намагниченности $I_2 = 0,7-1 \text{ А/м}$.



Рис. 4. Схематическая геолого-геофизическая модель западного сегмента Полярно-Уральского трансекта (Рыбалка и др., 2011).

Условные обозначения: 1 – пермские и раннемезозойские отложения Предуральского прогиба, 2 – мелководные терригенно-карбонатные образования, 3 – позднепротерозойские вулканогенные и осадочные образования, 4 – гнейсы и амфиболиты выступов дорифейского фундамента.

Заключение. Методика факторного анализа показала высокую эффективность при разделении регионального магнитного поля. Показана единственность решения задачи разделения поля на составляющие. Кроме того, такая трансформация (в отличие от пересчетов на высоту) позволяет существенно экономить время счета и не требует применения высокопроизводительных вычислительных средств. В результате решения обратной задачи магнитометрии методами факторного анализа и локальных поправок была получена 3D-модель распределения намагниченности земной коры для Полярного Урала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аронов В.А., Страхов В.Н. О применении факторного анализа в геологии // Геология и геофизика. 1985. №8. С. 133-142.
2. Мартышко П.С., Пьянков В.А., Рублев А.Л. Анализ различных методов трансформации геофизических полей // Уральский геофизический вестник, 2014. №1. С. 55-60.
3. Мартышко П.С., Рублев А.Л., Пьянков В.А. Применение метода локальных поправок для структурных задач магнитометрии // Геофизика. 2010. №4. С. 3-8.
4. Мартышко П.С., Рублев А.Л., Федорова Н.В. Метод нахождения поверхностей намагниченных слоев земной коры // Уральский геофизический вестник, 2014. №1. С.61-66.
5. Овчаренко А.В. Компьютерная база геополей Урала – информационная основа нового этапа исследований региона // Глубинное строение и развитие Урала. 1996. Екатеринбург: Наука. С. 136-146.
6. Рыбалка А.В., Петров Г.А., Куликов В.В., Душин В.А. Глубинное строение Урала по данным Полярно-Уральского трансекта // Региональная геология и металлогения. 2011. №48. С. 25-36.
7. Харман Г. Современный факторный анализ. М.: Статистика, 1972. 350 с.
8. Шапиро В.А., Никонова Ф.И., Федорова Н.В., Чурсин А.В., Бахтерев Д.В. Строение магнитоактивного слоя Северного Урала по геомагнитным данным // ДАН, 1993. Т. 330. №6. С. 774-777.

УДК 550.83; 551.594

**ПРОСЛЕЖИВАНИЕ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ В НЕДРАХ
ИЗ ОЧАГОВ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ***Романов Алексей Михайлович*ramix06@mail.ru,*РГП «Институт геофизических исследований», г. Курчатов,**Республика Казахстан*

Аннотация. На участках подземных ядерных взрывов недра загрязняются радионуклидами. Радиоактивные вещества распространяются преимущественно потоками подземных вод гидродинамических систем. Дистанционное обнаружение путей миграции радионуклидов предполагает использование геофизических методов. Существующие термодинамические представления о поведении веществ в недрах основаны на химических представлениях. Предложено использование электрофизических свойств твердой и жидкой фаз геологической среды, коррелирующих с известными параметрами химической термодинамики. Использована физико-геологическая модель взаимодействия горных пород и вод. Определены физические параметры, позволяющие локализовать участки потенциального радиоактивного загрязнения под землей. В качестве заверки использованы данные по распределению трития на обследуемом участке.

На участках подземных ядерных взрывов (ПЯВ) происходит распространение радионуклидов, загрязняющих недра. Это создает угрозу для населения и персонала на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП). Определение путей миграции радионуклидов из очагов ПЯВ является обоснованием целенаправленного мониторинга радиационной обстановки. Направление и объем вмешательства по обеспечению безопасности населения зависит от степени достоверности мониторинга. В случае подземного распространения радионуклидов достоверность выявления путей миграции существующими способами явно недостаточна.

Объектом изучения являются пути миграции радионуклидов, а не сам очаг ПЯВ. Особо следует отметить влияние на эффективность обнаружения сложной, зачастую линейной формы путей миграции. Кроме того, известно, что отложение радионуклидов зачастую происходит дискретно. Вскрытие таких объектов скважинами характеризуется высоким уровнем промаха, который возрастает из-за малой глубинности радиометрических методов.

Поэтому, одним из направлений исследований является дистанционное обнаружение структур, перераспределяющих продукты ПЯВ в недрах. Геологическое картирование включает методы общей геофизики, преимущественно грави- и магниторазведку. Но они не обеспечивают выделение путей миграции радионуклидов. Причины: наличие радионуклидов не влияет на плотность и магнитную восприимчивость горных пород. Электроразведка обычно используется для выделения массивов различной литологии.

Опыт поисков месторождений урана и радиоэкологического мониторинга позволил разработать и обосновать геолого-геофизическое картирование структур переноса и отложения радионуклидов на основе геоэлектрических особенностей взаимодействия горных пород и вод [1]. Именно взаимодействие горных пород и вод является одной из наиболее значимых причин перераспределения веществ в литосфере, в том числе - радионуклидов. Соответственно, поисковые признаки должны основываться на особенностях этого взаимодействия.

Наиболее простым представлением взаимодействия является растворимость веществ, которая не может быть определяющей характеристикой перехода веществ между фазами горных пород. Переход частичен и относится к процессам выщелачивания, но не растворения. Причина: в реальных геологических средах потоки вод удаляют часть

реагентов из места реакции и привносят новые вещества. Т.е., среды являются открытыми системами. Это нарушает применимость нулевого начала термодинамики. Кроме того, термодинамические представления не учитывают геометрию пространства, в котором происходят химические реакции. Объяснение накопления веществ в т.н. «структурных ловушках» невозможно без дополнительных условий.

Обычно термодинамические представления в геологической практике относятся к химическим. Именно они используются для объяснения процесса взаимодействия горных пород и вод. Физическое обоснование применимости геофизических методов для выделения структур переноса и отложения веществ при этом отсутствует. Разработано новое физическое представление взаимодействия горных пород и вод, учитывающее термодинамические и электрические параметры веществ [2]. Установлены значимые корреляционные связи энтальпии, энергии Гиббса, удельной теплоемкости и энтропии с внутренней электрической энергией ионов химических соединений, а также внешней энергией электрического поля от ионных соединений в окружающем пространстве. Доказано, что термодинамические и электрофизические характеристики являются сторонами одного и того же явления – взаимодействия ионов веществ.

Движение вод в литосфере приводит к образованию электрических полей потенциала течения. Представления о его формировании известны. Они основаны на двойном электрическом слое, находящемся на границе раздела твердой и жидкой фаз. Представления сформулированы с нарушением закона электронейтральности. Обязательность соблюдения закона доказана логически, математически и подтверждена экспериментально. Разработано новое представление формирования электрического поля, строго соответствующее закону электронейтральности [3]. Течение воды механически ориентирует гидроксил ионы двойного слоя. Гидроксил-ионы представляют собой электрические диполи. Единая ориентировка диполей приводит к образованию электрического поля. Возрастание скорости потока увеличивает удельное количество ориентированных диполей. Соответственно возрастает напряженность поля. Твердая фаза приобретает положительный потенциал, а жидкая – отрицательный. Увеличение отношения электрического сопротивления твердой фазы к сопротивлению жидкой приводит к возрастанию напряженности поля двойного слоя.

Расчеты и эксперименты доказывают, что разность потенциалов течения может достигать нескольких сотен милливольт, что достаточно для прохождения электрохимических реакций [3]. Различие воздействий поля на ионы количественно объясняет селективность перехода ионов между фазами и выщелачивание только части компонентов минералов.

Фронт потока вод отмечается положительными значениями потенциала, а исток – отрицательными. Чем выше скорость потока, тем больше разница потенциалов. Участки положительных потенциалов благоприятны для перехода катионов металлов из жидкой фазы в твердую т.е. – отложения веществ. И наоборот. Интенсивность переходов возрастает на локальных участках замедления течения вод, а также увеличения отношения удельного электрического сопротивления горных пород и жидкой фазы.

Согласно вышеизложенному, физическое представление взаимодействия горных пород и вод основывается на следующих геолого-геофизических параметрах:

1. скорость движения вод относительно горных пород;
2. структурные особенности горных пород, определяющие поперечное сечение потока вод;
3. вещественные особенности, определяющие соотношения удельных электрических сопротивлений твердой и жидкой фаз горных пород.

Они определяют взаимодействие горных пород и вод через посредство электрического поля.

Правомерность представления доказана характером проявлений электрического поля потенциала течения и спецификой распределения веществ в геологических средах. Установлено наличие электрических полей потенциалов течения до нескольких сотен милливольт на микро-, макро- и мегаобъектах [3]. Кроме того, выявлены вещественные

особенности вод и горных пород микро-, макро- и мегаобъектов, заключающиеся в изменениях рН вод и содержаний гидрокарбонатов [4]. Отмечено отложение радионуклидов на контактах горных пород различного удельного электрического сопротивления и в местах расширения потоков вод [3].

Эти особенности доказывают правомерность физико-геологического представления взаимодействия горных пород и вод через посредство электрического поля для всех уровней литосферы. Они проявлены и в техногенных средах. Радиоэкологическими обследованиями обнаружены повышенные значения активности технологического оборудования промыслов нефти. Максимумы отмечают сочленения труб различного диаметра и вводы труб в резервуары. Установлена приуроченность отложения радионуклидов к расширениям поперечного сечения потоков водонефтяной смеси [5]. Детально обследованы отвалы беднотоварных урановых руд. Установлено наличие протяженных узких аномалий гамма – активности. Они находятся в руслах временных водотоков, выходящих из отвалов. Удельная активность повышена на расширениях ручьев и на пересечениях горных пород с высоким электрическим сопротивлением [6].

Таким образом, перераспределения веществ в природных и техногенных условиях аналогичны. Соответственно аналогичны характеристики структур, накапливающих рудные и техногенные вещества. *Представленные особенности использованы для картирования гидродинамических структур, переносящих и локализующих радионуклиды на Семипалатинском испытательном полигоне.*

На первом этапе теоретически определены и сформулированы физико-геологические предпосылки постановки геофизических методов с целью выделения зон миграции и отложения радионуклидов в потоках вод. Выполнены лабораторные работы, экспериментально подтвердившие проявленность структурных и вещественных факторов переноса и отложения веществ в различных электрофизических условиях. В результате этих работ:

- обнаружено уменьшение удельного электрического сопротивления электролита в анодной зоне (до настоящего времени литературным поиском не установлено, что этот эффект был известен ранее, возможно является новым);
- показана приуроченность накопления и отложения веществ из электролита на участке смены рН раствора под действием наложенного электрического поля;
- визуально установлено накопление веществ в электролите до места отложения;
- доказана приуроченность отложения веществ к контактам сред различного удельного электрического сопротивления.

На втором этапе выполнены натурные исследования по двум участкам боевых штолен СИП. Объектами исследований являлись долины ручьев с известными повышениями активности радионуклидов на поверхности. Основные методы:

- гамма, альфа и бета радиометрия в интегральных вариантах;
- естественное электрическое поле (ЕП) методом потенциала;
- срединный градиент способом кажущегося сопротивления (КС).

По данным маршрутных съемок региональный тренд ЕП соответствует известной зависимости распределений на склоне возвышенности: вершины отмечаются отрицательными значениями потенциала, а низовья – положительными. На этом фоне выделяются локальные повышения ЕП. С ними связаны повышения радиоактивности, а также интенсивные вариации КС.

По данным площадных съемок максимальные значения гамма-излучения преимущественно проявлены на расширениях ручьев, характеризующихся локальным повышением значений потенциала ЕП. В местах сужений ручьев интенсивность гамма-излучения заметно понижена. А уровень потенциала ЕП резко понижается. Таким образом, на участках поверхностных загрязнений отчетливо проявлена связь радиометрических аномалий с локальными повышениями ЕП, расширениями потоков, а также с контактами горных пород различного сопротивления. Это отвечает вышеизложенному физико-

геологическому представлению и указывает на возможность использования его для обнаружения гидродинамических структур, переносящих радионуклиды из очагов ПЯВ.

Объектом исследования выбран восточный фланг площадки Балапан, где проводились ПЯВ в скважинах. На 16 участках боевых скважин выполнены детальные съемки методами КС (срединный градиент), ЕП (замер потенциала) и гамма-радиометрии. Центр участка – устье скважины. Размер питающей линии при съемке методом срединного градиента – 3 км. Ориентировочная глубинность метода КС при используемом разnose питающей цепи – около 600 м, а метода ЕП (по данным интерпретации) – в среднем около 70 м. Глубинность пешеходной гамма-съемки – менее 1 м. Следовательно, метод срединного градиента охватывает горные породы до глубины эпицентра ПЯВ, метод ЕП – до коры выветривания включительно, радиометрия – поверхность земли. Учитывая преимущественную субвертикальность основных разрывных нарушений (данные геологического картирования), принимается совместимость в плане результатов интерпретации данных КС и ЕП. При условии доказательства однозначной связи радиометрических аномалий пешеходной гамма-съемки с нештатными ситуациями во время взрывов, отсутствие повышений радиоактивности почв указывает на отсутствие поступлений продуктов взрыва из очагов на поверхность земли с потоками подземных вод.

Данные метода КС характеризуются высокой дифференцированностью. Ими подтвержден преимущественно юго-западный наклон погребенного рельефа коренных пород восточного фланга площадки Балапан. Высокая детальность съемок позволила дополнительно выделить разломы диагональной и ортогональной систем. Тектонические разломы выделяются по линейно вытянутым зонам двумя способами:

- локального понижения КС;
- резкого изменения (высокого градиента) КС.

Наличие потоков подземных вод по выделенным разломам проверяется по распределениям ЕП. Как уже было показано для поверхностных водотоков, сужение потока отмечается понижением потенциала течения, а расширение – повышением. Понижения потенциала течения благоприятны для выщелачивания – перехода катионов из твердой фазы в жидкую. А повышения – наоборот, - перехода катионов из жидкой фазы в твердую. Напряженность естественного электрического поля и его влияние на межфазный переход усиливается на участках повышения удельного электрического сопротивления горных пород.

Линейные зоны понижения и/или высокого градиента КС, примыкающие к массивам высокого уровня КС и отмечающиеся повышенными потенциалами ЕП, относятся к участкам наиболее вероятного накопления веществ, мигрирующих с потоками подземных вод. Вскрытие таких зон скважинами характеризуется высоким уровнем промаха: на глубинах в сотни метров скважины могут пройти мимо узких зон, особенно в том случае, если эти зоны ограничены по глубине. Необходимо дистанционная разбраковка выделенных зон.

Непосредственно альфа, бета и гамма-съемки не могут обеспечить оценку зон, залегающих на глубинах в несколько сотен метров. Эти съемки предназначены для непосредственного опробования на цезий-137, стронций-90, плутоний, полоний и америций в твердых фазах горных пород и/или в потоках вод, протекающих через очаги ПЯВ. При отсутствии нештатных ситуаций выход данных радионуклидов на глубины доступные для непосредственного замера или опробования – маловероятен. Поэтому основное внимание уделено тритию в газовой фазе.

Газовый тритий характеризуется низкой плотностью и высокой проникающей способностью, что сопоставимо с характеристиками водорода и трития. Особо подчеркивается высокая скорость подъема трития с глубины к поверхности при относительно слабом расширении потока. Так, расширение потока трития при подъеме ориентировочно на порядок меньше длины потока. Т.е. газовая съемка трития должна характеризоваться высокой детальностью.

В опытном порядке на одной из боевых скважин СИП проведена съемка газового трития. Отбор осуществлялся из пробоотборника, устанавливаемого на поверхности земли. Установлено наличие линейно вытянутых зон повышенной активности трития. Максимумы активности совпадают с узлами пересечений линейно вытянутых зон изменения КС, приуроченных к массивам повышенных значений КС и совпадающих с зонами повышенных значений ЕП.

Производительность съемки газового трития в 5-20 раз меньше производительности электроразведки методами КС и ЕП. Кроме того, в ряде случаев увязка повышенных значений активности трития без дополнительных сведений оказывается неоднозначной. Поэтому для определения положения потоков миграции от боевых скважин предложен следующий комплекс методов:

- детальные площадные съемки методами КС и ЕП;
- заверочные детальные съемки активности трития в зонах особенностей распределений КС и ЕП (узлов пересечений линейно вытянутых зон изменения КС, приуроченных к массивам повышенных значений КС и совпадающих с зонами повышенных значений ЕП).

Заключение.

1. Для выявления гидродинамических структур, переносящих радиоактивное загрязнение из очагов ПЯВ, предложено новое физико-геологическое обоснование постановки геофизических методов.
2. Разработан новый комплекс методов дистанционного картирования гидродинамических структур, по которым из очагов ПЯВ происходит миграция радионуклидов с последующим загрязнением недр;
3. Доказано соответствие получаемых данным комплексом результатов реальным геологическим условиям;
4. Предложенный комплекс с заверкой (путем применения наземной тритиевой съемки) использован для изучения миграции радионуклидов в недрах восточного фланга площадки Балапан СИП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романов А.М., Геолого-геофизическое картирование на основе геоэлектрических особенностей взаимодействия горных пород и вод /Современные проблемы науки и образования, 2013. - № 5.
2. Романов А.М. Дополнение термодинамических представлений взаимодействия веществ в геосфере. – Алматы, 2016. – 100 с.
3. Романов А.М. Взаимодействие вод с горными породами. Алматы, ИВТ НАК «Казатомпром». 2003. 247 с.
4. Романов А.М., Волкова М.А. Объяснение перераспределения химических элементов на эпигенетических месторождениях урана. Международная научно-практическая конференция «Уральская горнопромышленная декада 2010», Екатеринбург, 2010. Область исследования №№ 16, 17.
5. Романов А.М. Особенности природных и техногенных распределений радионуклидов на территории нефтяных месторождений Западного Казахстана// Медицинский журнал Астаны №3, 2010 г. С.131-134.
6. Романов А.М. «Миграция долгоживущих загрязняющих веществ в литосфере» Алматы, КАПЭ, 2005.

УДК 574.3

**ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ
В ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ В 1953 ГОДУ И В НАШЕ ВРЕМЯ**

Рыбаков Евгений Николаевич¹, Тягунов Дмитрий Сергеевич²

e-mail: ¹ee-66@mail.ru

e-mail: ²tds-07@mail.ru

Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты гамма-спектрометрических исследований загрязненности радионуклидом цезием-137 пойм и донных отложений озер Челябинской области. Выделены озера с максимальной величиной изотопа цезия-137.

**STUDIES OF RADIOACTIVE CONTAMINATION IN THE CHELYABINSK REGION
IN 1953 AND IN OUR TIME**

Evgeny Rybakov¹, Dmitry Tyagunov²

e-mail: ¹ee-66@mail.ru

e-mail: ²tds-07@mail.ru

Institute of geophysics Ural Branch of Russian Academy of sciences, Ekaterinburg, Russia

Summary. The article provides results from gamma-spectrometry investigation of radionuclide contamination of banks and bottom sediments by cesium-137 in the lakes within Chelyabinsk region. The investigation allowed the authors to reveal lakes with maximum cesium-137 isotope value.

Территория Южного и Среднего Урала неоднократно подвергалась воздействию радиоактивного техногенного загрязнения. Это происходило в результате работы предприятий атомно-промышленного комплекса и, в особенности, аварий на них. Заметный вклад в уровень поверхностного загрязнения техногенными радионуклидами внесла авария на ПО «Маяк», а также испытания ядерного оружия на Тоцком и Семипалатинском полигонах.

12 августа 1953 г. в СССР был испытан первый термоядерный заряд РДС-бс. Сообщение об испытании водородной бомбы впервые было опубликовано в газете «Правда» от 20 августа 1953 г. Заряд располагался на стальной башне, на высоте 30 метров. Мощность взрыва составила 400 кт, что в 20 раз превысило энерговыделение первой атомной бомбы. Как оказалось впоследствии, этот испытательный взрыв был не только одним из самых мощных, но и одним из самых «грязных» в смысле радиоактивного загрязнения сопредельных территорий. Радиоактивное облако через 3 часа после взрыва, размерами 100 на 200 км разделилось на 3 части. Первая двигалась в направлении к оз. Байкал, средняя часть в направлении Омска, самая нижняя часть облака продвигалась по малому кругу вокруг Алтайского края в направлении Омска, Караганды и т.д.

В этот период (14-15 августа) работниками поисковых партий было зафиксировано максимальное повышение общего уровня гамма-фона на Урале, которое достигало в районе г. Челябинска 1500 мкР/час, в районе г. Свердловска 300 мкР/ч, в районе г. Катайска 1200 мкР/ч, в районе г. Сухого Лога 600 мкР/ч.

В это же самое время в августе 1953 г. геофизический отряд Горно-геологического Института УФАИ проводил гамма-съёмку в районе горы Егоза в 3 км от разъезда Кувалжиха Южно-Уральской железной дороги [2]. Работы проводились под руководством Юрия Петровича Булашевича – выдающегося Российского ученого в области геофизических исследований, внесшего неопределимый вклад в развитие геофизической науки на Урале, работы которого широко известны как в России, так и за рубежом.

14 августа было обнаружено резкое повышение гамма-фона и попытки проэталонировать аппаратуру не привели к положительным результатам. В то же время исследование шпуров показало, что гамма-фон в них не изменился. Был сделан вывод, что имеется сильное поверхностное радиационное загрязнение [2].

С 15 августа стали проводиться систематические исследования пространственно-временных изменений гамма-фона. Обычный гамма-фон в данном районе по результатам предыдущих измерений был известен, и его величина колебалась в пределах от 10 до 15 мкР/ч. Результаты измерений по профилю в северном направлении приведены в табл. 1 [2], точки с местоположением измерений гамма-фона этого профиля на рис. 1.

Таблица 1.

Результаты измерения гамма-фона 15-16 августа 1953 года

№	Точка съемки	мкР/час	Примечание
1	База отряда 15.08.1953	900	Вост. склон г.Егоза
2	На север 6 км	1030	Долина ручья
3	На север 9 км	850	Лес
4	На север 12 км	940	На горе
5	На север 15 км	1030	На горе
6	На север 19 км	940	Восточный склон
7	База отряда 16.08.1953	720	

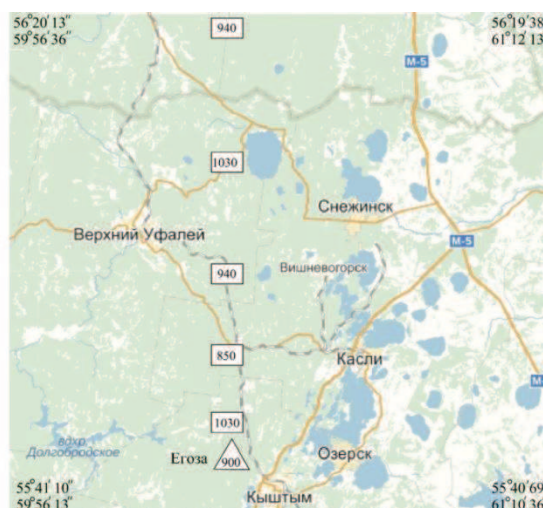


Рис. 1. Точки и местоположение измерений гамма-фона 15-16 августа 1953 года.

При проведении гамма-съемки было обнаружено, что на участках с лесным массивом аномальный гамма-фон был значительно выше, чем на участках с малой растительностью. Крона деревьев, по-видимому, создает благоприятные условия для осаждения из атмосферы радиоактивных осадков. На полях, вспаханных после 15 августа, активность была значительно ниже (в пределах 20-25 мкР/ч), чем на соседних луговых участках (до 400 мкР/ч). Это связано с тем, что активный осадок запахивался в землю при переворачивании пласта. Особенно низкой была гамма-активность над водной поверхностью.

18 августа над водой гамма-фон наблюдался интенсивностью до 30 мкР/ч, в то же время на расстоянии нескольких метров на лугах и в густой траве до 400 мкР/ч [2].

Свой мрачный вклад в экологию Урала и судьбы многих людей внесла работа на ПО «Маяк», где осенью 1957 г. в результате взрыва хранилища высокоактивных жидких отходов произошла радиационная авария, которая оставила после себя Восточно-Уральский радиоактивный след. Радиоактивная пыль выпадала на протяжении 300-350 км в северо-восточном направлении от места взрыва (по направлению ветра), что привело к радиоактивному загрязнению значительных территорий Челябинской, Свердловской и

Курганской областей [1]. Дополнительный вклад в радиоактивное загрязнение данных территорий внес также и второй радиационный инцидент, который произошел весной 1967 г.. В результате ветрового подъема пылеватых частиц, содержащих радионуклиды с береговой полосы усыхающего озера Карачай, в которое ранее сливались жидкие радиоактивные отходы ПО «Маяк», произошло дополнительное заражение Челябинской, Свердловской и Курганской областей за пределами ВУРСа [4].

В период 2012-2014 гг., то есть, по истечении 60 лет после испытания водородной бомбы и аварии на ПО «Маяк» сотрудниками Института геофизики УрО РАН были проведены исследования загрязненности радионуклидом цезием-137 пойм и донных отложений озер Челябинской области. Работы проводились с целью «подсечь» радиоактивный след, вызванный последствием испытания на Семипалатинском полигоне, в результате которого одна из частей образовавшегося пылевого облака двигалась в северо-западном направлении и могла осесть на восточном склоне системы Уральских гор (там же в 1953 г. располагался отряд поисковой партии Института УФАН).

Маршрут отбора проб проходил с восточной стороны хребта Уральских гор от г. Чебаркуль до г. Касли и южнее г. Челябинска от пос. Султаево до пос. Октябрьское (рис. 2).

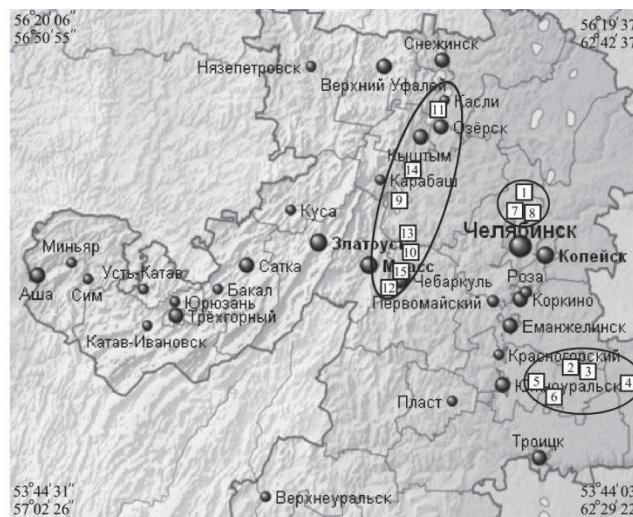


Рис. 2. Фрагмент карты Челябинской области. Овалами выделена область исследования, в квадратах указаны номера озер согласно порядковому номеру в табл. 2.

Согласно проведенным исследованиям Трапезникова и др., [5] усредненные данные о концентрациях цезия-137 по глубине показывают, что радионуклид распределяется в самой верхней части иловых отложений, и около 75% его находится в слое 0-10 см. Данные выводы были подтверждены также и нашими исследованиями. В связи с этим пробы отбирались до глубины 20 см в зависимости от типа грунта, так как сообщают А.В. Трапезников с соавторами коэффициент накопления радионуклида повышается в ряду: песчаный грунт < затопленная почва < илистый сапропель [5].

Из-за неоднородности морфологии прибрежной части на каждом озере с разных берегов отбиралось несколько проб, каждая весом не менее 1 кг. С помощью GPS-60 Garmin на месте отбора каждой пробы определялись географические координаты. Также с помощью радиометра СРП-88 определялась и мощность экспозиционной дозы.

Измерения радиоактивности проб производились гамма-спектрометром УДС-Г-63С63-USB в камере низкого фона. В качестве защиты от внешнего излучения использовался экран из Pb = 45 мм; Cd = 3 мм; Cu = 0,5 мм. Минимальная измеряемая активность по цезию-137 – 1,5 Бк/кг.

На первом этапе были исследованы восемь озер. Три озера расположены севернее Челябинска: Урефты, Узункуль, Агашкуль. Пять – юго-восточнее Челябинска: Буташ,

Горькое, Картабыз, Таузаткуль, Мышайкуль (рис. 3). Пробы из этих озер отбирались в прибрежной части на расстоянии ~15 м от берега.

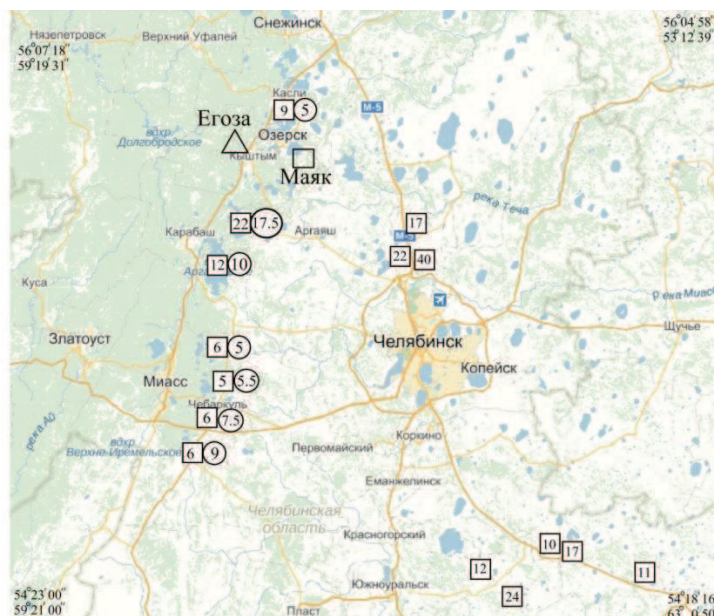


Рис. 3. Фрагмент карты Челябинской области с расположением озер и места отбора проб. Цифры в квадратах (место отбора пробы) обозначают активность цезия-137 в илах, Бк/кг, в кружках гамма-фон в мкР/ч.

Таблица 2

Сводная таблица результатов измерений донных отложений озер Челябинской области

№	Название озера	GPS-координаты	Мощность эксп. дозы (мкР/ч)	Активность Cs-137 в пойме, Бк/кг	Активность Cs-137 в илах, Бк/кг
1	Агашкуль	N55.47152; E61.35860	-	-	17
2	Буташ	N54.61082; E62.08797	-	-	10
3	Горькое	N54.54320; E62.17509	-	-	17
4	Картабыз	N54.50062; E62.52797	-	-	11
5	Мышайкуль	N54.47594; E61.69931	-	-	12
6	Таузаткуль	N54.45467; E61.90718	-	-	24
7	Узункуль	N55.44281; E61.32367	-	-	22
8	Урефты	N55.42196; E61.10129	-	-	40
9	Аргазинское вдхр.	N 55.31546; E 60.38457	10	37	12
10	Б.Сунукуль	N 55.07020; E 60.40740	5,5	12	5
11	Иртяш	N 55.86670; E 60.70066	5	24	9
12	Кундравинское	N 54.83852; E 60.24684	9	7	6
13	М.Миассово	N 55.15248; E 60.38692	5	27	6
14	Увильды	N 55.54704; E 60.53877	17,5	62	22
15	Чебаркуль	N 54.94650; E 60.34479	7,5	21	6

По результатам гамма-спектрометрических измерений максимальная активность изотопа цезия-137 была обнаружена в иловых отложениях озер: Горькое (17 Бк/кг), Таузаткуль (24 Бк/кг), Урефты (40 Бк/кг), Узункуль (22 Бк/кг), Агашкуль (17 Бк/кг).

На втором этапе исследовались семь озер по маршруту Чебаркуль-Касли: Аргазинское водохранилище, Большой Сунукуль, Иртяш, Кундравинское, Малое Миассово, Увильды, Чебаркуль (рис. 3). Для сравнения активности цезия-137 в илах кроме донных отложений из этих озер отбирались также пробы с пойменных мест. Для контроля общего

гамма-фона на берегу измерялась мощность экспозиционной дозы. По результатам этих исследований было установлено, что активность большинства проб с пойменных участков этих озер превышает активность иловых отложений, а в некоторых пробах в несколько раз (табл. 2). Предположительно такая особенность вызвана отложениями радионуклида в пойменных образованиях (наличие органики с большой сорбционной способностью) и прибойной активностью прибрежных частей озер.

Наибольшие удельные активности цезия-137 в пойме были обнаружены в озерах: Аргазинское водохранилище (37 Бк/кг), Иртяш (24 Бк/кг), Малое Миассово (27 Бк/кг), Увильды (62 Бк/кг), Чебаркуль (21 Бк/кг). К настоящему времени прошло уже два периода полураспада по цезию-137, т.е. распалось 75% от первоначального выпадения.

На рис. 3 показано, что активность цезия-137 в донных отложениях возрастает по мере приближения к территории ПО «Маяк». Не смотря на то, что временной интервал между испытаниями 1953 года и аварией 1957 года небольшой по отношению к прошедшим годам (60 лет) значимую роль в радиоактивном загрязнении имеет, очевидно, работа на ПО «Маяк». И на фоне этого оценить вклад загрязнения от глобальных выпадений не представляется возможным.

Обнаруженная загрязненность цезием-137 иловых отложений и пойм исследованных озер не вызывает опасности. Для сравнения, согласно комплексному докладу Галичина А.М., о состоянии окружающей среды Челябинской области в 2010 г., удельная активность цезия-137 в почвах города Челябинска в 2010 г. составила 17.6 Бк/кг [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аклеев А.В., Киселев М.Ф. Восточно-Уральский радиоактивный след (сборник статей, посвященных последствиям аварии 1957 года на ПО «Маяк») / Отв. ред. Аклеев А.В. Челябинск: изд-во «Фрегат», 2012. 352 с.
2. Булашевич Ю.П. Аномальный фон гамма-излучения на Урале в августе и в последующие месяцы 1953 года. Свердловск: ГГИ УФАН СССР, 1954. 43 с.
3. Галичина А.М. «Челябинская область. Министерство по радиационной и экологической безопасности». Комплексный доклад о состоянии окружающей среды Челябинской области в 2010 году. Челябинск: М-во по радиац. и экол. безопасности Челяб. обл., 2011. 145 с.
4. Литовский В.В. Естественно-историческое описание исследований окружающей среды на Урале: Монография. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2001. 476 с.
5. Трапезников А.В., Чеботина М.Я., Трапезникова В.Н. и др. Влияние АЭС на радиологическое состояние водоема-охладителя. Екатеринбург: Изд-во «АкадемНаука», 2008. 400 с.

УДК 550.83.01

ОБОБЩЕНИЕ ИМПЕДАНСНЫХ СООТНОШЕНИЙ ТИХОНОВА-КАНЬЯРА НА СЛУЧАЙ НАЛИЧИЯ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЭНДОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Рыбин Анатолий Кузьмич¹, Александров Павел Николаевич², Забинякова Ольга Борисовна¹
rybin@gdirc.ru, alexandr@igemi.troitsk.ru, zabinyakova@gdirc.ru

¹Научная станция Российской академии наук в г. Бишкеке, Кыргызская Республика, г. Бишкек

²Центр геоэлектromагнитных исследований Института Физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук, Российская Федерация, г. Троицк

Аннотация. Использование данных магнитотеллурических зондирований для прогноза сейсмических событий связано с возможностью разделения электромагнитного поля, измеренного на дневной поверхности, на поля эндогенного и экзогенного происхождения. В работе получены импедансные соотношения для горизонтально-слоистой модели геоэлектрической среды с распределенными в ней источниками электромагнитного поля. Найденное решение позволяет решить задачу о разделении электромагнитного поля, зарегистрированного на дневной поверхности, по положению источников.

GENERALIZATION OF TIKHONOV-CAGNIARD IMPEDANCE RELATIONS IN CASE OF ENDOGENOUS ORIGINE ELECTROMAGNETIC FIELD SOURCES EXISTENCE

Rybin Anatoly Kuzmich¹, Alexandrov Pavel Nikolaevich², Zabinyakova Olga Borisovna¹
rybin@gdirc.ru, alexandr@igemi.troitsk.ru, zabinyakova@gdirc.ru

¹Research Station of the Russian Academy of Sciences in Bishkek-city, Kyrgyz Republic, Bishkek

²Goelectromagnetic Research Center of The Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, Troitsk

Summary. Using of magnetotelluric sounding data for seismic events forecasting is connected with possibility of separation of electromagnetic field, measured on the ground surface, into fields of endogenic and exogenetic origins. In this work the impedance relations for laterally layered model of geoelectrical medium with distributed sources of electromagnetic field were obtained. The found decision allows to solve problem of separation of electromagnetic field, registered of the ground surface, on the source location base.

В последние десятилетия наблюдается повышение интереса к изучению сейсмоэлектромагнитных явлений, связанных с подготовкой землетрясений [1]. Предполагается, что в процессе разрушения горной породы формируется наиболее мощный источник электромагнитного поля, связанный с трещинообразованием. Эти эндогенные источники носят случайный характер как по ориентации, амплитуде, так и по времени появления и местоположению. В совокупности они могут создавать электромагнитное поле, которое может регистрироваться на дневной поверхности [2]. Одним из пассивных методов исследования геоэлектрической среды является метод магнитотеллурических зондирований (МТЗ), в котором в качестве источника рассматривают теллурическое поле экзогенного происхождения. Однако при полевых измерениях регистрируются электромагнитные поля как экзогенного, так и эндогенного происхождения. Таким образом, появляется задача, связанная с теоретическим обоснованием использования данных МТЗ для прогноза сейсмических событий. Данное обоснование, прежде всего, связано с возможностью разделения электромагнитного поля, измеренного на дневной поверхности, на поля эндогенного и экзогенного происхождения, чему и посвящена настоящая работа.

Электромагнитное поле, в общем случае линейной неоднородной среды, подчиняется системе уравнений Максвелла, которая в частотной области имеет вид

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \mathbf{H} &= \sigma \mathbf{E} + \alpha \mathbf{H} + \mathbf{J}^{ext}, \\ \operatorname{rot} \mathbf{E} &= -i\omega \mu \mathbf{H} + \beta \mathbf{E} + \mathbf{B}^{ext}. \end{aligned} \quad (1)$$

где $\mathbf{H} = [H_x, H_y, H_z]^T$ – вектор напряженности магнитного поля, $\mathbf{E} = [E_x, E_y, E_z]^T$ – вектор напряженности электрического поля; \mathbf{J}^{ext} , \mathbf{B}^{ext} – вектора плотности стороннего электрического тока и сторонней индукции магнитного поля, соответственно, которые являются источниками электромагнитного поля; ω – частота; $i = \sqrt{-1}$ – мнимая единица; T – знак транспонирования. Электромагнитными параметрами неоднородной среды являются: μ – магнитная проницаемость, σ – удельная электропроводность, α, β – бианизотропные параметры [3]. Эти параметры описывают наиболее общие линейные электромагнитные свойства среды и являются матрицами размерности 3×3 . Они необходимы для максимально полного описания линейных электромагнитных свойств геоэлектрической среды. Наличие источников электромагнитного поля в геологической среде интерпретируется как характеристика геодинамической активности геологической среды [4].

Рассмотрим горизонтально-однородную модель геоэлектрической среды. Введем декартовую систему координат x, y, z . Ось z направим вглубь земли. Для такой среды достаточно переформулировать систему уравнений Максвелла (1): исключая компоненты H_z и E_z , воспользоваться преобразованием Фурье по горизонтальным координатам относительно 4-х компонентного вектора $\mathbf{X} = [H_x, H_y, E_x, E_y]^T$, содержащего только тангенциальные компоненты электромагнитного поля [5], и, следовательно, непрерывного на границе раздела сред. В этом случае, уравнения Максвелла будут иметь вид системы обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка

$$\frac{\partial}{\partial z} \mathbf{X} = A \mathbf{X} + \mathbf{J} \delta(z - z_j), \quad (2)$$

где A – матрица, включающая параметры среды, пространственные (k_x, k_y) и временную ω частоты; $\mathbf{J} = \mathbf{I}_j e^{i(k_x x_j + k_y y_j + i\omega t_j)}$ – вектор сторонних источников электромагнитного поля с номером j , амплитудой \mathbf{I}_j , сосредоточенный в точке с координатами x_j, y_j, z_j ; δ – дельта-функция Дирака [6]. Источник появляется в момент времени t_j . Решение системы уравнений (2) в однородной среде выражается, согласно теории матриц, через экспоненту от матрицы и в данном случае имеет следующий вид:

$$\mathbf{X} = e^{Az} \mathbf{C} + \int_{-\infty}^{\infty} [S e^{\lambda_+(z-z')} U(z-z') S^{-1} - S e^{\lambda_-(z-z')} U(z'-z) S^{-1}] \mathbf{J}(z') dz' = e^{Az} \mathbf{C} + \mathbf{X}^f(z),$$

где \mathbf{C} – постоянный вектор; S – матрица, составленная из собственных векторов матрицы

$$A = S \lambda S^{-1}, \quad \lambda = \begin{pmatrix} e^{\lambda_- z} & 0 \\ 0 & e^{\lambda_+ z} \end{pmatrix}; \quad \lambda_-, \lambda_+, \text{ - диагональные матрицы собственных значений матрицы}$$

A с действительными частями меньшими и большими нуля, соответственно, 0 – нулевые матрицы размерностью 2×2 ; \mathbf{X}^f – вектор первичного поля. Продолжение поля \mathbf{X} с кровли слоя с координатой z_l на подошву с координатой $z_{l+1} = z_l + h_l$ имеет вид

$$\mathbf{X}(z_{l+1}) = e^{A h_l} \mathbf{X}(z_l) - e^{A h_l} \mathbf{X}^p(z_l) + \mathbf{X}^f(z_{l+1}) = e^{A h_l} \mathbf{X}(z_l) + \mathbf{Y}_l.$$

Используя это выражение, найдем продолжение поля через слоистую среду с количеством слоев, равное n

$$\mathbf{X}(z_n) = \mathbf{X}_n - \prod_{l=1}^{n-1} e^{A_l h_l} \mathbf{X}_0 + \sum_{l=1}^{n-1} \prod_{k=1}^l e^{A_k h_k} \mathbf{Y}_l,$$

где \mathbf{X}_0 – поле на кровле слоистого разреза.

Представим общее решение для поля в слое бесконечной толщины с номером n в виде суммы убывающего \mathbf{X}^- и возрастающего \mathbf{X}^+ полей при $z \rightarrow +\infty$: $\mathbf{X}^n(z) = \mathbf{X}^- + \mathbf{X}^+$.

Исходя из условий на бесконечности, необходимо положить $\mathbf{X}^+ = 0$, откуда следует $S \begin{pmatrix} [0] & [0] \\ [0] & e^{\lambda_+ z} \end{pmatrix} S^{-1} \mathbf{X}^n(z) = 0$, $[0]$ - нулевая матрица. Отсюда, при $z \rightarrow z_n + 0$, получим:

$$SBS^{-1} \mathbf{X}^n(z_n) = SBS^{-1} \left[\prod_{l=1}^{n-1} e^{A_l h_l} \mathbf{X}_0 + \sum_{l=1}^{n-1} \prod_{k=1}^l e^{A_k h_k} \mathbf{Y}_l \right] = D\mathbf{X}_0 + \mathbf{Y}_0 = \begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} \\ d_{21} & d_{22} \end{pmatrix} \mathbf{X}_0 + \begin{pmatrix} \mathbf{Y}_1 \\ \mathbf{Y}_2 \end{pmatrix} = 0,$$

где B - диагональная матрица, с диагональными элементами, равными единице для собственных значений, больших нуля, и с диагональными элементами, равными нулю для собственных значений, меньших нуля.

Из этого выражения получим связь между тангенциальными компонентами электрического \mathbf{E}_0 и магнитного \mathbf{H}_0 полей на поверхности слоистого разреза

$$\mathbf{E}_0 = -d_{11}^{-1} d_{12} \mathbf{H}_0 + d_{11}^{-1} \mathbf{Y}_1 = -d_{21}^{-1} d_{22} \mathbf{H}_0 + d_{21}^{-1} \mathbf{Y}_2 = Z\mathbf{H}_0 + \mathbf{Y}. \quad (3)$$

Таким образом, из условия убывания электромагнитного поля на бесконечности получена линейная связь между тангенциальными компонентами электромагнитного поля, зарегистрированными на поверхности нижнего слоистого полупространства с распределенными в нем источниками электромагнитного поля вне зависимости от электромагнитных свойств верхнего полупространства и источников, расположенных там же. Выражение (3) противоречит теории Тихонова-Каньяра [7] в точности до наоборот, в том смысле, что магнитотеллурический импеданс зависит только от параметров верхнего полупространства в случае наличия источников в нижнем полупространстве. Рассмотрим этот парадокс более подробно. Для этого предположим, что верхнее полупространство является горизонтально слоистым и в нем также находятся источники электромагнитного поля, которые создают поле \mathbf{Y}^v . Тогда горизонтальные компоненты будут связаны соотношениями, аналогичными (3):

$$\mathbf{E}_0 = Z^v \mathbf{H}_0 + \mathbf{Y}^v, \quad (4)$$

где Z^v - импеданс верхнего полупространства.

Найдем решение прямой задачи для всего слоистого пространства. Учитывая непрерывность полей \mathbf{E}_0 и \mathbf{H}_0 на границе двух полупространств, вычитая из равенства (3) выражение (4), получим $0 = (Z - Z^v) \mathbf{H}_0 + (\mathbf{Y} - \mathbf{Y}^v)$, откуда

$$\mathbf{H}_0 = -(Z - Z^v)^{-1} (\mathbf{Y} - \mathbf{Y}^v) = ([1] - Z^v Z)^{-1} Z^v (\mathbf{Y} - \mathbf{Y}^v). \quad (5)$$

Для электрического поля аналогично получим

$$\mathbf{E}_0 = (Z^{-1} - Z^v)^{-1} (Z^{-1} \mathbf{Y} - Z^v \mathbf{Y}^v) = ([1] - Z Z^v)^{-1} (\mathbf{Y} - Z Z^v \mathbf{Y}^v). \quad (6)$$

Таким образом, решена прямая задача геоэлектрики для слоистого пространства с находящимися в нем источниками электромагнитного поля в терминах импедансов верхнего и нижнего полупространств.

Рассмотрим задачу разделения поля по положению источников при магнитотеллурических исследованиях в случае горизонтально слоистой модели среды. В практике МТЗ находят линейную связь между тангенциальными компонентами электромагнитного поля, зарегистрированными на дневной поверхности через кажущийся импеданс Z_0 .

При нахождении кажущегося импеданса Z_0 по экспериментальным данным из выражения $\mathbf{E}_0 = Z_0 \mathbf{H}_0$ с использованием полученных решений (5) и (6), получается система уравнений вида:

$$(Z^{-1} - Z^v)^{-1} (Z^{-1} \mathbf{Y} - Z^v \mathbf{Y}^v) = -Z_0 (Z - Z^v)^{-1} (\mathbf{Y} - \mathbf{Y}^v),$$

при этом Z_0 будет зависеть от местоположения источников.

Последнее выражение можно переписать в следующем виде:

$$(Z_0 Z^v - [1]) (Z Z^v - [1])^{-1} \mathbf{Y} = (Z_0 Z^{-1} - [1]) ([1] - Z^v Z)^{-1} \mathbf{Y}^v,$$

из которого следует, что в случае отсутствия источников в нижнем полупространстве, то есть при $Y=0$, кажущийся импеданс будет равен импедансу нижнего полупространства $Z_0 = Z$. Наоборот, если в верхнем полупространстве источники отсутствуют, то есть $Y^v = 0$, то кажущийся импеданс будет равен импедансу верхнего полупространства $Z_0 = Z^v$.

Таким образом, полученный вывод обобщает на случай слоистой анизотропной и бианизотропной модели геоэлектрической среды известный вывод, вытекающий из модели Тихонова-Каньяра о зависимости импеданса от электромагнитных параметров нижнего полупространства для источников, находящихся в верхнем полупространстве, и наоборот.

Следовательно, уравнение (3) имеет место и на его основе можно построить систему обработки данных МТЗ с целью изучения геодинамической активности геологической среды. Для этого необходимо знать импеданс нижнего полупространства Z , который можно найти в период геодинамического затишья.

Отсюда следует постановка обратной задачи пассивного электромагнитного мониторинга современных геодинамических процессов: по известному импедансу нижнего полупространства Z найти электромагнитное поле источников, находящихся в нижнем полупространстве из уравнения

$$Y = E_0 - ZH_0. \quad (7)$$

Это уравнение будет иметь место при любых источниках, находящихся в верхнем полупространстве и, соответственно, при любых параметрах слоистого (при чем, не обязательно слоистого) верхнего полупространства. По этому полю, зарегистрированному и вычисленному на дневной поверхности, можно ставить задачу определения местоположения области разрушения горной породы и количественной оценки интенсивности этих процессов.

Также имеет место и уравнение (4). Тогда для изучения источников в верхнем полупространстве необходимо знать импеданс верхнего полупространства Z^v . Для изучения источников в верхнем полупространстве необходимо использовать уравнение

$$Y^v = E_0 - Z^v H_0. \quad (8)$$

Уравнения (7) и (8) позволяют решить задачу о разделении электромагнитного поля, зарегистрированного на дневной поверхности, по положению источников.

Таким образом, получены импедансные соотношения для горизонтально-слоистой модели геоэлектрической среды с распределенными в ней источниками электромагнитного поля, которые являются решением обратной задачи на определение краевых условий третьего рода. При этом импеданс слоистого разреза Z не зависит от источников электромагнитного поля, а электромагнитное поле, связанное с источниками в слоистой среде входит аддитивным образом в импедансное соотношение. Данное решение является обобщением импедансных соотношений Тихонова-Каньяра на случай наличия источников электромагнитного поля в нижнем полупространстве.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант №17-05-00844).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука, 2003. - 270 с.
2. Александров П.Н. К теории сейсмического и электромагнитного мониторинга современных геодинамических процессов. "Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле», 2009. № 2. Вып. 14. – с.49-58.
3. Александров П.Н. Эффективные электромагнитные параметры капиллярной системы электропроводности горной породы. - Физика Земли, 2000, №2, с.87-94.

4. Соболев Г.А. Перспективы оперативного прогноза землетрясений по электротеллурическим наблюдениям // Предвестники землетрясений. 1973. № 5498. С.172–185.
5. Александров П.Н. Прямая задача геоэлектрики в одномерных бианизотропных средах. – Физика земли, 2001, №4. – с51-61.
6. Кеч В., Теодореску П. Введение в теорию обобщенных функций с приложениями в технике. - М.:Мир,1978. - 518с.
7. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Магнитотеллурическое зондирование горизонтально-однородных сред. - М.: Недра, 1992. - 250с.

УДК 550.38:551.4

ЭФФЕКТЫ ЛУННО-СОЛНЕЧНОГО ПРИЛИВА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ ЗЕМЛИ

*Рябова Светлана Александровна¹, Спивак Александр Александрович²*¹*riabovasa@mail.ru*²*spivak@idg.chph.ras.ru*^{1,2} *ФГБУН Институт динамики геосфер РАН, Россия, Москва*

Аннотация. По результатам анализа данных Геофизической обсерватории "Михнево" Института динамики геосфер РАН выполнена оценка спектров геомагнитных вариаций и впервые выделены волны лунно-солнечных приливов полусуточного и околосуточного диапазонов, а также с периодами 13.66 и 27.55 сут. Установленные особенности спектра геомагнитных вариаций открывают новые возможности для описания геомагнитного динамо, разработки новых моделей движения внутреннего ядра Земли и динамики токовых систем во внешнем (жидком) ядре, а также для установления общих закономерностей, определяющих режимы энергообменных процессов в геосферах.

TIDE EFFECTS IN THE EARTH'S MAGNETIC FIELD

*Riabova Svetlana Alexandrovna¹, Spivak Alexander Alexandrovich²*¹*riabovasa@mail.ru*²*spivak@idg.chph.ras.ru*^{1,2} *Institute of Geospheres Dynamics of Russian Academy of Sciences, Russia, Moscow*

Summary. Based on analysis of data at Geophysical Observatory "Mikhnevo" Institute of Geosphere Dynamics of Russian Academy of Sciences we estimated spectra of geomagnetic variations and the first time indicated waves of lunisolar tides in semi-diurnal and circadian ranges, as well as periods of 13.66 and 27.55 days. The established features of the spectrum of geomagnetic variations open up new possibilities for the description of the geomagnetic dynamo, the development of new models of the motion of the internal core of the Earth and the dynamics of the current systems in the outer (liquid) core, as well as for establishment of the general laws determining the modes of energy-exchange processes in the geospheres.

Магнитное поле Земли характеризуется широким спектром вариаций с периодами в интервале от секунд до 10 и более лет [1,16]. При этом геомагнитные вариации в диапазоне периодов от 1 с до нескольких лет обусловлены в основном вариациями электрических токов в ионосфере и магнитосфере Земли, неравномерностью осевого вращения Земли, Чандлеровскими колебаниями а также высокоамплитудными возмущениями солнечного происхождения [2,3,7,8,11]. Локальные вариации магнитного поля в короткопериодной части спектра могут иметь и техногенную природу. Длиннопериодные геомагнитные вариации связаны с характерными временами геодинамо, которые определяются процессами, протекающими в жидком ядре Земли [3,5].

Возмущения, связанные с лунно-солнечными приливами, характеризуются периодами в диапазоне от 0,5 до 365 сут, и также проявляются в вариациях магнитного поля Земли [4,12,14,15].

Исследования геомагнитных вариаций представляют значительный интерес при создании динамической модели магнитосферы, а также в связи с возможностью оценки геометрии токовых систем в околоземном пространстве и получения исходных данных для описания ионосферы и атмосферных явлений и процессов, связанных с перераспределением электрических зарядов. Помимо этого геомагнитные вариации содержат информацию о

процессах, протекающих в магнитосфере и атмосфере Земли, и параметрах среды на пути распространения радиоволн, что важно с точки зрения обеспечения устойчивой радиосвязи.

В настоящей работе выделение периодичностей, совпадающих с периодичностями лунно-солнечных приливов, осуществлялось на основе анализа огибающей колебаний абсолютной величины магнитного поля Земли в диапазоне периодов от 1 мин до 40 сут. В качестве исходных данных использовались результаты регистрации магнитного поля, полученные в условиях среднеширотной Геофизической обсерватории «Михнево» ИДГ РАН (54,959°N; 37,766°E) в период 2010 – 2015 гг. Обсерватория расположена вдали от крупных промышленных объектов и других источников электромагнитных полей, что обеспечивает устойчивую регистрацию магнитного поля в широком диапазоне частот. Регистрировались три компоненты индукции магнитного поля B_x , B_y и B_z (система координат: ось X направлена на географический север, Y – на восток, Z – вертикально вниз) с помощью феррозондового магнитометра LEMI-018, расположенного в стационарно оборудованном геомагнитном павильоне. Электронный блок магнитометра обеспечивал преобразование данных, получаемых с феррозондового датчика, их обработку и накопление с дискретностью 1 с. В качестве исходных данных для анализа были использованы ряды цифровых данных, сформированные с дискретностью 1 мин. На первом этапе вычислялась огибающая геомагнитных вариаций. Затем выполнялась оценка спектров на основе метода параметрической авторегрессии [6]. Авторегрессионная модель порядка p представляла собой уравнение, предсказывающее k -й член последовательности по p предыдущим:

$$x(k) = -\sum_{n=1}^p a_n x(k-n) + \varepsilon(k)$$

где a_n - коэффициенты авторегрессии, $\varepsilon(k)$ - белый шум.

Параметры $AR(p)$ -модели оценивались по методу Левинсона-Дурбина, реализующему решение уравнений Юла-Уолкера [6]. По вычисленным значениям параметров модели оценивался спектр процесса:

$$S(\omega) = \frac{1}{2\pi \left| 1 + \sum_{n=1}^p a_n e^{-i\omega n} \right|^2}$$

Для достижения максимального разрешения компонентов приливных волн параметр p выбирался равным длине ряда (52560 час). При этом шаг дискретизации по частоте составлял $\Delta f = 1,9 \cdot 10^{-5}$ 1/час.

Дискриминация близких по периодам приливных волн осуществлялась с привлечением метода выделения гармонических составляющих с помощью узкополосных адаптивных режекторных фильтров [13], преимущество которых заключается в простоте перестройки полосы пропускания и сильном подавлении соседних гармоник при точном слежении за частотой. Геомагнитные вариации представлялись в виде суперпозиции нескольких независимых составляющих $P_i(t)$, где t – время, $i = 1, 2, 3 \dots N$, в результате чего полученный при измерениях ряд $P(t)$ представлялся в виде векторного соотношения свертки:

$$P(t) = \sum_{i=1}^N g_i * P_i(t),$$

где $g_i(t)$ – импульсная переходная характеристика, определяемая путем решения интегральных уравнений свертки.

Амплитуда выделяемой гармоники с заданной частотой ω определяется в этом случае по формуле:

$$P_i = C \sqrt{W_{1,i}^2 + W_{2,i}^2},$$

где C – амплитуда колебаний (вариаций), $W_{1,i}$ и $W_{2,i}$ – коэффициенты адаптивного фильтра, вычисляемые согласно выражениям:

$$W_{1,i+1} = W_{1,i} + 2\mu\varepsilon_i P_{1i},$$

$$W_{2,i+1} = W_{2,i} + 2\mu\varepsilon_i P_{2i},$$

где μ - параметр, характеризующий скорость сходимости алгоритма адаптации коэффициентов фильтра, ε_i - разность между исходным $P(t)$ и синтезированным $P_i(t, \omega)$ сигналами. При этом

$$P_{si} = P_{1i}W_{1i} + P_{2i}W_{2i}.$$

Квадратурные составляющие P_{1i} и P_{2i} с частотами ω_i выделяемых сигналов, определяются зависимостями:

$$P_{1i} = C \cos(\omega_i \Delta t + \varphi),$$

$$P_{2i} = C \sin(\omega_i \Delta t + \varphi),$$

где Δt – шаг дискретизации.

Значения частот ω_i выбирались равными частотам приливного потенциала. Алгоритм вычислений позволял одновременно суммировать несколько синтезированных сигналов с разными значениями частоты ω_i .

Результаты спектрального анализа вариаций модуля магнитного поля Земли $|B| = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}$ представлены на рис.1 в виде периодограмм для двух участков околосуточных и полусуточных периодов.

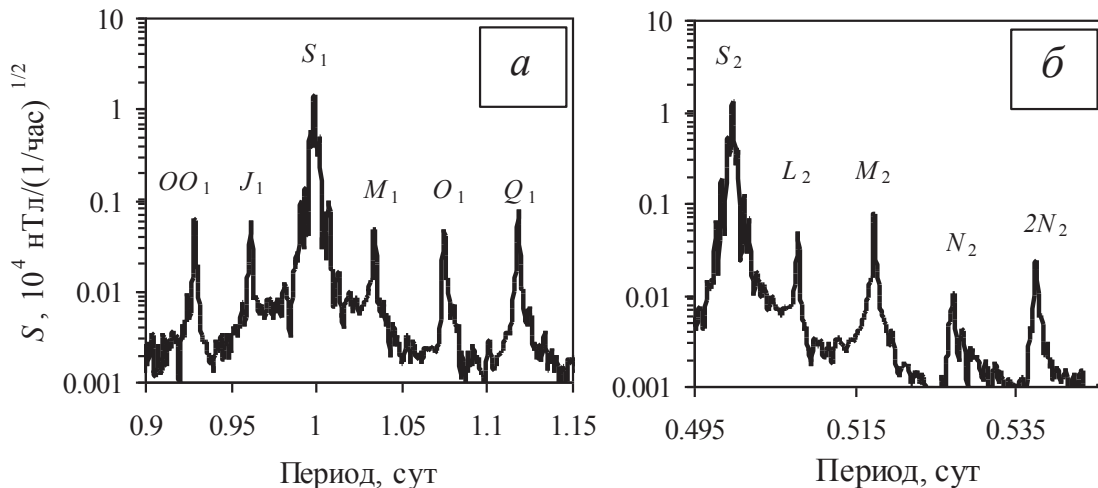


Рис.1. Периодограммы геомагнитных вариаций для участков околосуточного (а) и полусуточного (б) периодов

Более детальные спектры в окрестности периодов 0,5 и 1 сут приведены на рис.2. Данные рис.1 и 2 свидетельствуют о наличии хорошо выраженных периодичностей в геомагнитных вариациях с периодами основных приливных волн, которые помечены в поле рисунков в соответствии с принятыми обозначениями.

Примененный алгоритм обработки позволил также выделить приливные волны большей периодичности: деклинационную M_f и эллиптическую M_m волны лунного прилива (участок периодограммы геомагнитных вариаций, содержащих приливные волны M_f и M_m с периодами 13,66 и 27,55 сут, приведен на рис.3).

Полученные результаты демонстрируют возможности выделения приливных волн в геомагнитных вариациях на основе простых в реализации инструментальных наблюдений, выполняемых в приземном слое атмосферы.

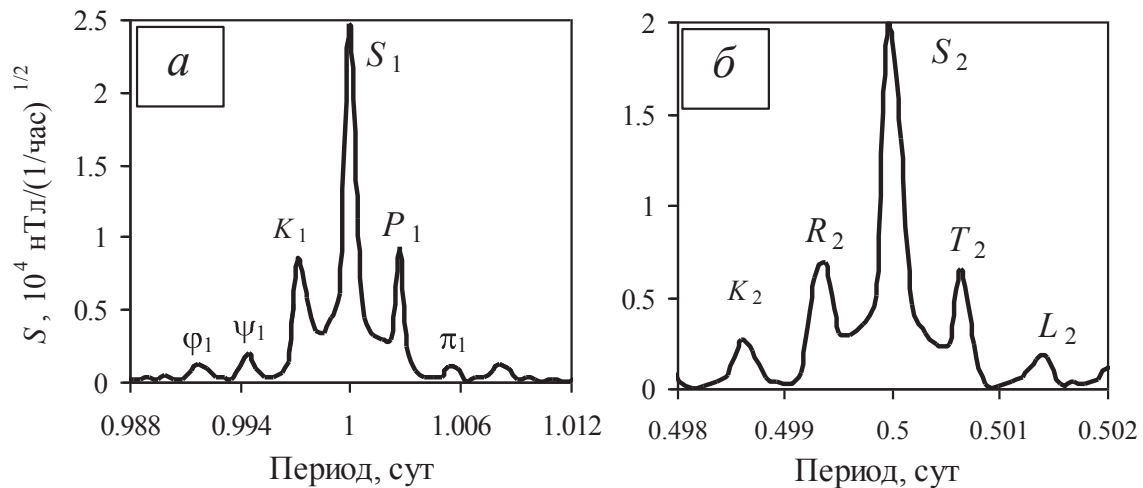


Рис. 2. Периодограммы геомагнитных вариаций в области околосуточных (а) и полусуточных (б) периодов

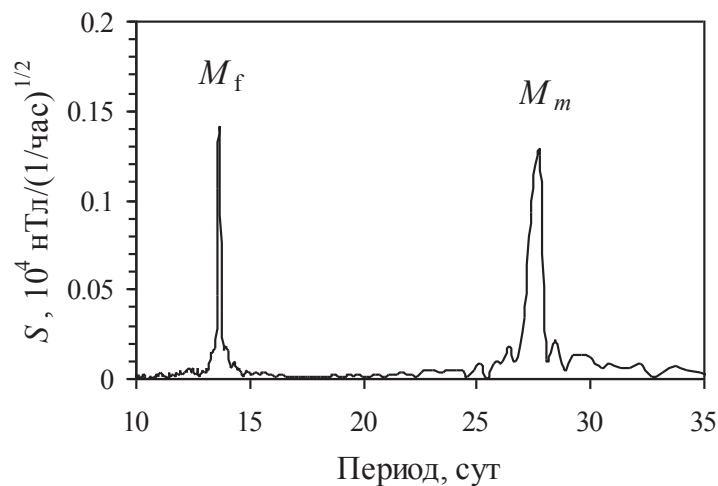


Рис. 3. Периодограмма геомагнитных вариаций в области 10 – 40 сут.

Анализ приливных составляющих в вариациях магнитного поля Земли позволяет создать основу для уточнения и разработки новых моделей движений внутреннего и внешнего ядра Земли, а также представляет значительный интерес при уточнении значений вязкости вещества и ее радиальных градиентов в жидком ядре Земли [10], что представляет значительный интерес при определении параметров происходящих в нем турбулентных конвективных движений.

Работа выполнена при поддержке проекта 0146-2015-0011 Программы фундаментальных исследований ОНЗ РАН IV.8.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

3. Гетманов В.Г., Дабагян Р.А., Сидоров Р.В. Исследование характеристик геомагнитных пульсаций методом локальных аппроксимаций // Геомагнетизм и аэрномия. 2016. Т. 56. №2. С. 209-216.
4. Головков В.П., Зверева Т.И., Чернова Т.А. Годовая вариация магнитного поля Земли // Геомагнетизм и аэрномия. 2004. Т. 44. №1. С. 129-134.

5. Грунская Л.В. Электромагнетизм приземного слоя и его взаимосвязь с геофизическими и астрофизическими процессами. Владимир: Владим. гос. ун-т, 2002. 104 с.
6. Грунская Л.В., Морозов В.Н., Закиров А.А., Рубай Д.В., Рубай Р.В. Солнечные и лунные приливы в геомагнитном поле // Известия высших учебных учреждений. Физика. 2011. №2. С. 8-19.
7. Иванов В.В., Бондарь Т.Н. Вейвлет-анализ временных и пространственных параметров 60-летней вариации геомагнитного поля // Геомагнетизм и аэрономия. 2008. Т. 48. №5. С. 709-718.
8. Марпл С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, 1990. 584 с.
9. Мороз Ю.Ф., Мороз Т.А. Годовые вариации электромагнитного поля Земли и электропроводности геологической среды // Физика Земли. 2013. №1. С. 40-54.
10. Мороз Ю.Ф., Мороз Т.А. Изменения геомагнитного поля и магнитного типпера в Байкальской рифтовой зоне // Геофизические исследования. 2013. Т. 14. №3. С. 10-23.
11. Ротанова Н.М., Бондарь Т.Н., Иванов В.В. Вейвлет-анализ вековых геомагнитных вариаций // Геомагнетизм и аэрономия. 2004. Т. 44. №2. С. 276-282.
12. Смайли Д.Е., Бражкин В.В., Палмер А. Прямые наблюдения вязкости внешнего ядра Земли и экстраполяция измерений вязкости жидкого железа // Успехи физических наук. 2009. Т. 179. № 1. С. 91 – 105.
13. Сомсиков В.М., Андреев А.Б., Жумбаев Б.Т., Соколова О.И. Анализ суточной динамики спектра вариаций геомагнитного поля // Геомагнетизм и аэрономия. 2011. Т. 51. №1. С. 68-72.
14. Старжинский С.С. Исследование динамики лунно-солнечных вариаций в геомагнитном поле // Геомагнетизм и аэрономия. 2008. Т. 48. №2. С. 275-286.
15. Уидроу Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов. М.: Радио и связь, 1989. 440 с.
16. Шереметьева О.В., Смирнов С.Э. Приливные компоненты геомагнитных вариаций // Геомагнетизм и аэрономия. 2007. Т. 47. №2. С. 624-633.
17. Шереметьева О.В., Смирнов С.Э. Исследование геомагнитных вариаций на частотах приливных волн // Солнечно-земные связи и предвестники землетрясений. Петропавловск-Камч.: ИКИР ДВО РАН, 2007. С. 205-210.
16. Glasmeier K.-H., Soffel H., Negendank F.W. Geomagnetic field variations. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009. 425 p.

УДК 550.42/502.175

**СОСТАВ И СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО ГРЯЗЕВОГО ОСАДКА
НА УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ***Селезнев Андриан Анатольевич**e-mail:seleznev@ecko.uran.ru**Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия*

Аннотация. Определялся гранулометрический и элементный состав поверхностного рыхлого грязевого осадка на урбанизированной территории на примере г. Екатеринбурга. Проводилась оценка накопления поллютантов в грязевом осадке на различных типах поверхностей в жилых зонах города. Основным механизмом формирования осадка представляет перенос пылевой и песчаной фракций с различных поверхностей. Высокие концентрации металлов в грязевом осадке обусловлены переносом пылевой фракции. Наличие асфальтированных поверхностей способствует увеличению загрязнения тяжелыми металлами поверхностного грязевого осадка.

**THE CONTENT OF POLLUTANTS AND PROPERTIES OF SURFACE MUD SEDIMENT
IN AN URBAN ENVIRONMENT***Andrian Seleznev**e-mail:seleznev@ecko.uran.ru**Institute of Industrial Ecology Ural Branch of Russian Academy of sciences, Ekaterinburg, Russia*

Summary. The particle size composition and content of elements was determined in loose surface mud sediment in urban environment. The study was conducted on the example of Ekaterinburg city (Russia). The assessment of accumulation of pollutants was conducted for mud sediment collected on the various types of surfaces in residential areas of the city. High concentrations of metals in the mud sediment are due to the transfer of the particles of dust fraction. The presence of asphalt surfaces contributes to the increase of heavy metals contamination of the surface mud sediment.

Одной из проблем городов является постоянное увеличение пыли и частиц различного происхождения. Рыхлый осадок из пыли и частиц мигрирует и накапливается на различных поверхностях, неровностях микрорельефа, формируя грязевые отложения. С точки зрения геологической генетической классификации современных антропогенных отложений грязевой осадок или грязь из луж на территориях жилых кварталов может быть охарактеризован как самостоятельная поверхностная грунтовая фация современных антропогенных отложений городской среды. В процессе современного седиментогенеза отложения заполняют понижения микрорельефа селитебных территорий. Отложения участвуют в миграции и накоплении загрязнения. В ряде документов Агентства по охране окружающей среды США (US EPA) осадок с урбанизированных территорий фигурирует как вторичный и неточечный источник загрязнения, который должен удаляться с поверхностей [1, 2].

Использование современных антропогенных отложений в качестве компонента опробования в эколого-геохимических исследованиях является перспективным [3, 4]. Формирование поверхностного грязевого осадка имеет комплексный характер и может быть связано как с природными, так и с антропогенными источниками. Свойства и состав до конца не изучены и количественно не охарактеризованы.

Целью работы является определение элементного состава и свойств поверхностного рыхлого грязевого осадка на урбанизированной территории на примере г. Екатеринбурга. В задачи исследования входило:

- определение гранулометрического состава грязевого осадка,
- изучение распределения элементов по гранулометрическим фракциям,
- оценка накопления элементов в грязевом осадке на различных типах поверхностей в жилых зонах города.

Отбор образцов поверхностного грязевого осадка проведен на 6 площадках на территории г. Екатеринбурга. Площадки располагались в жилых кварталах с многоэтажной застройкой в разных частях города в пределах дорожной сети, на разных зонах литогенного субстрата. Застройка обследованных территорий города проводилась в разные десятилетия 20 века. Отбиралось по 5 образцов осадка на каждой площадке: два образца с наружной стороны квартала, три – с внутренней. С наружной стороны квартала отбиралась проба с тротуара и проезжей части, проба грунта с озелененного участка. С внутренней стороны квартала: проба грязевых отложений на организованной парковке, проба на несанкционированной стоянке автомобилей и проба грунта с озелененных участков территории квартала и детских площадок. Всего отобрано 30 проб поверхностного грязевого осадка, отложений из понижений микрорельефа и грунтов. Масса отобранной пробы составляла 1-1,5 кг. Охарактеризованы условия образования отложений на обследованных площадках. Описаны ландшафтные особенности и планировка территорий. Определена мощность отложений, площадей дворовых территорий. Непосредственно на обследованных площадках проведены измерения площадей различных зон обследованных территорий кварталов (газонов, тротуаров и парковок), измерения перепада высот на площадках. Мощность отложений на обследованных площадках составляет до 5 см.

Проводился гранулометрический анализ отобранных образцов [5]. Для него отбиралась представительная навеска массой 200-300 г. Навеска измельчалась в фарфоровой ступке пестиком с резиновым наконечником. Сухим просеиванием отделялась фракция > 1 мм. Мокрым ситованием отделялись гранулометрические фракции 50-100 мкм, 100-250 мкм и 0,25-1 мм. Методом отмучивания с вакуумным фильтрованием через мембранные фильтры с разным размером пор отделялись фракции: <2 мкм, 2-10 мкм, 10-50 мкм. Всего получилось 180 гранулометрических навесок сухого материала отложений и 30 емкостей с суспензией (вода и фракция <0,002 мм).

Концентрации металлов в гранулометрических фракциях грязевого осадка определялись методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой согласно «Методике выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98» [6]. Измерения проводились в аккредитованном химико-аналитическом центре ИПЭ УрО РАН на масс-спектрометре ELAN 9000 фирмы Perkin Elmer (США).

Для анализа выбраны металлы, типичные поллютанты для города [7]: Pb, Zn и Cu. Валовые концентрации металлов определялись в гранулометрических фракциях грязевого осадка, вклад которых составлял > 10% по массе. Проанализировано 84 гранулометрические навески.

Получены следующие результаты гранулометрического анализа. Фракция <0,002 мм и 0,002-0,01 мм составляют 5 % в среднем по массе, фракция 0,01-0,05 мм – 8%, фракция 0,05-0,1 мм – 18%, фракция 0,1-0,25 мм – 30 %, фракция 0,25-1 мм – 28%, >1 мм – 11 %. Мелкая пыль и глинистая фракция в отложениях представлены в незначительных количествах. Предварительно результаты гранулометрического анализа позволяют охарактеризовать основной механизм формирования грязевого осадка как перенос пылевой и песчаной фракций с различных поверхностей квартала и накопление в локальных понижениях микрорельефа.

На обследованных площадках около 30% территории находится с наружной стороны квартала, до 70% территории площадки находится внутри. В свою очередь с наружной стороны квартала до 30 % территории составляют тротуары и парковка; до 70 % составляют озелененные участки с газонами, деревьями и кустарниками. До 30% внутривдворовой

территории квартала составляют несанкционированные парковки, 20 % – организованные стоянки автотранспорта, до 10% – тротуар, и до 50 % озелененные участки.

На рис. 1 показано распределение Pb по гранулометрическим фракциям на грунтовых (1-а) и асфальтированных (1-б) поверхностях. На рис. 2 показано распределение Zn по гранулометрическим фракциям на грунтовых (2-а) и асфальтированных (2-б) поверхностях.

Вид распределения концентраций Pb и Zn по гранулометрическим фракциям грязевого осадка на грунтовых и асфальтированных поверхностях различается. Содержание Pb и Zn на асфальтированных поверхностях в гранулометрических фракциях <0,50 мм в разы выше, чем во фракциях >0,01 мм. Так, в среднем концентрации Pb и Zn во фракции 0,002-0,01 мм в три раза выше, чем во фракциях >0,1 мм в грязевом осадке на асфальтированных поверхностях. Статистически значимо различаются концентрации Pb во фракциях <0,05 мм и >0,05 мм в пробах с асфальтированных поверхностей. Для Pb и Zn в грязевом осадке на асфальтированных поверхностях наблюдается тенденция уменьшения содержания элементов с увеличением размера частиц. Однако в грязевом осадке на грунтовых поверхностях содержание Pb по гранулометрическим фракциям статистически значимо не различается, в то время как содержание Zn выше в среднем во фракциях <0,1 мм, чем во фракциях >0,1 мм. Перенос значительной части Pb и Zn в грязевой осадок происходит с наиболее легкими фракциями пыли и мелкого песка в том числе с грунтовых поверхностей. Содержание Pb и Zn во фракции 0,002-0,01 мм в грязевом осадке с асфальтированных поверхностей до двух раз выше, чем в осадке с грунтов.

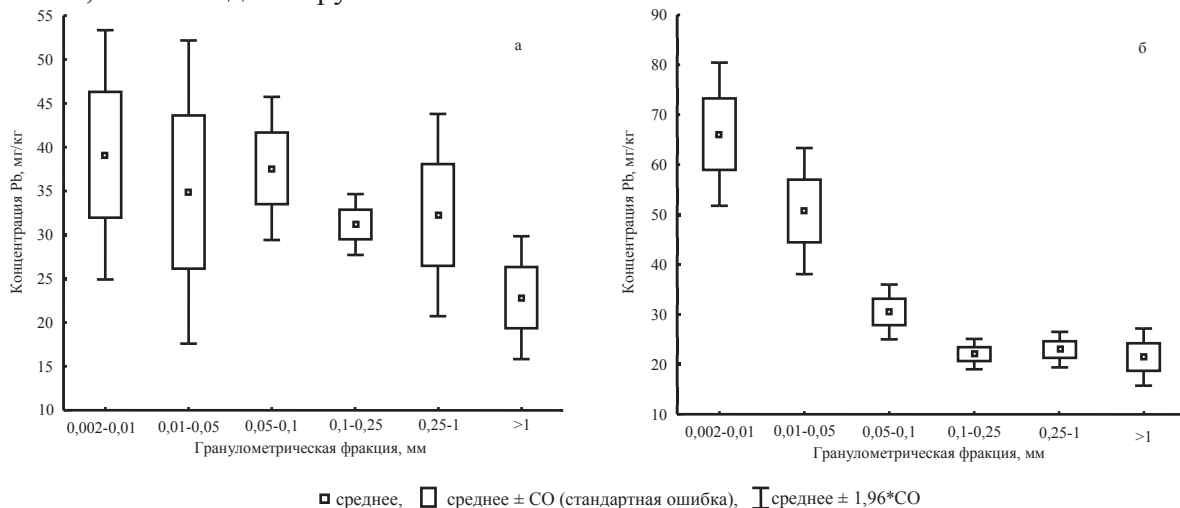


Рис. 1. Распределение Pb по гранулометрическим фракциям на грунтовых (а) и асфальтированных (б) поверхностях.

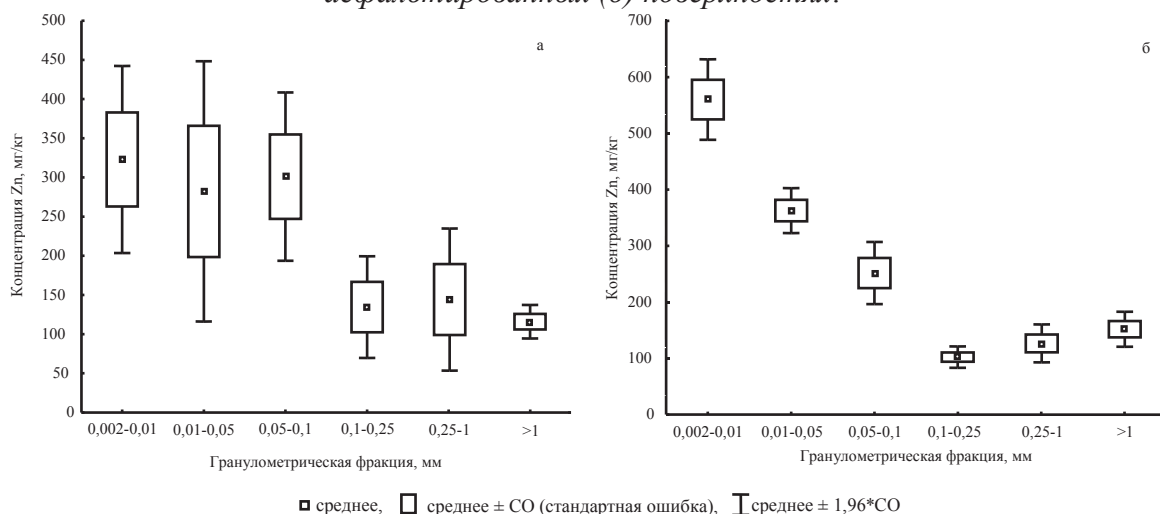


Рис. 2. Распределение Zn по гранулометрическим фракциям на грунтовых (а) и асфальтированных (б) поверхностях.

Вид распределения содержания Си по гранулометрическим фракциям на грунтовых и асфальтированных поверхностях одинаков. Максимальные концентрации Си наблюдаются во фракциях <50 мг/кг, минимальные – на более крупных фракциях. Содержание Си во фракциях <0,1 мм до трех раз выше, чем во фракциях >0,01 мм.

Наличие асфальтированных и бетонных гладких поверхностей способствует увеличению загрязнения тяжелыми металлами поверхностного грязевого осадка. Высокие концентрации металлов в грязевом осадке обусловлены переносом пылевой фракции.

При проведении эколого-геохимических исследований и оценки загрязнения селитебных зон города необходимо учитывать процессы переноса поверхностного грязевого осадка, который депонирует миграционные потоки поллютантов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 16-35-60044 мол_а_дк и 16-35-00129 мол_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. US EPA 833-B-09-002. Developing Your Stormwater Pollution Prevention Plan: A Guide for Industrial Operators, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC. 2009.
2. US EPA-833-F-08-009. Managing Wet Weather with Green Infrastructure. Municipal Handbook. Green Streets, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC. 2008.
3. Касимов Н. С. Экогеохимия городских ландшафтов / Н. С. Касимов. – М.: Изд-во Моск. гос. у-та, 1995. – 327 с.
4. Экология города / под ред. Н. С. Касимова. – М. : Научный мир, 2004. – 624 с.
5. Вадюнина А. Ф. Методы исследования физических свойств почв. 3-е изд., перераб. и доп. / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
6. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98. Центр исследования и контроля воды. Спб., 2003. – 58 с.
7. Ежегодник загрязнения почв городов Свердловской области токсикантами промышленного происхождения в 2010 году. – Екатеринбург: Государственное учреждение «Свердловский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с региональными функциями» (ГУ «Свердловский ЦГМС-Р»), 2011. – 213 с.

УДК 550.34.016

ОПЫТ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ РЕГИСТРАТОРОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ «РЕГИСТР» И «REFTEK» ПРИ ИЗУЧЕНИИ СЕЙСМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРОИТЕЛЬНОГО ОБЪЕКТА.

*Сенин Лев Николаевич¹, Сенина Татьяна Егоровна²,
Воскресенский Михаил Николаевич³, Парыгин Геннадий Иванович⁴*

¹*e-mail: selenik@rambler.ru*

³*e-mail: voskresenskiy.mn@gmail.com*

^{1,2,3,4} *Институт геофизики им. Ю. П. Булашевича УрО РАН, Россия, г. Екатеринбург.*

Аннотация. В настоящей работе расчетными методами на основе сейсмических материалов, полученных экспериментальным путем, решаются две основные задачи:

1. Проведение сопоставительного анализа измерительных каналов регистраторов сейсмических сигналов «Регистр» (ИГФ УрО РАН) и «RefTek-130» (США).

2. Определение сейсмодинамических характеристик, таких как резонансные частоты колебаний объекта в точках измерения; коэффициент усиливаемости H/V ; среднеарифметическое значение H/V ; распределение коэффициента уязвимости K_y по этажам.

EXPERIENCE UNITED HAVING REGISTRARS OF SEISMIC SIGNALS «REGISTER» AND «REFTEK-130» FOR EXPLORATION SEISMO-DYNAMIC CHARACTERISTIC BY BUILDING OBJECT.

*Senin Lev Nikolayevich¹, Senina Tatiana Egorovna²,
Voskresenskiy Michail Nikolayevich³, Parigin Gennadiy Ivanovich⁴*

¹*e-mail: selenik@rambler.ru*

³*e-mail: voskresenskiy.mn@gmail.com*

*Russian academy of sciences Ural branch Institute of Geophysics,
Russia, Ekaterinburg Sity.*

Summary. In this article decided 2 problems with use experimental seismic data:

1. Comparative analysis by measuring canals registrars of seismic signals «Register» and «RefTek-130».

2. Exploration seismo-dynamic characteristic: resonance frequency by building object; function Nakamura H/V ; coefficient by vulnerability in the each store of building object.

Известно, что при проектировании и строительстве инженерных сооружений определенное внимание уделяется их сейсмической устойчивости. Поэтому современная нормативная база в этой области предусматривает периодическое обследование строительных объектов, в том числе включающее экспозиционный сейсмический мониторинг с целью определения ряда сейсмодинамических параметров и сопоставление полученных результатов с результатами предыдущих мониторинговых исследований. В настоящей работе расчетными методами на основе сейсмических материалов, полученных экспериментальным путем, решаются две основные задачи:

1. Проведение качественного сопоставительного анализа измерительных каналов регистраторов сейсмических сигналов «Регистр» (ИГФ УрО РАН) и «RefTek-130» (США).

2. Определение сейсмодинамических характеристик, таких как резонансные частоты колебаний объекта в точках измерения; коэффициент усиливаемости H/V ; распределение коэффициента уязвимости K_y по этажам.

Все исследования проводились с использованием естественного сейсмического фона – микросейсмических шумов, которые регистрировались в течение 10 – 20 минут синхронно

по времени двумя сейсмическими регистраторами на каждом из этажей здания Института геофизики, расположенного по адресу ул. Амундсена, 100. Точки наблюдения были выбраны в фойе юго-восточного крыла здания. Их поэтажное расположение схематически показано на рисунке 1 (вертикальный профиль I).

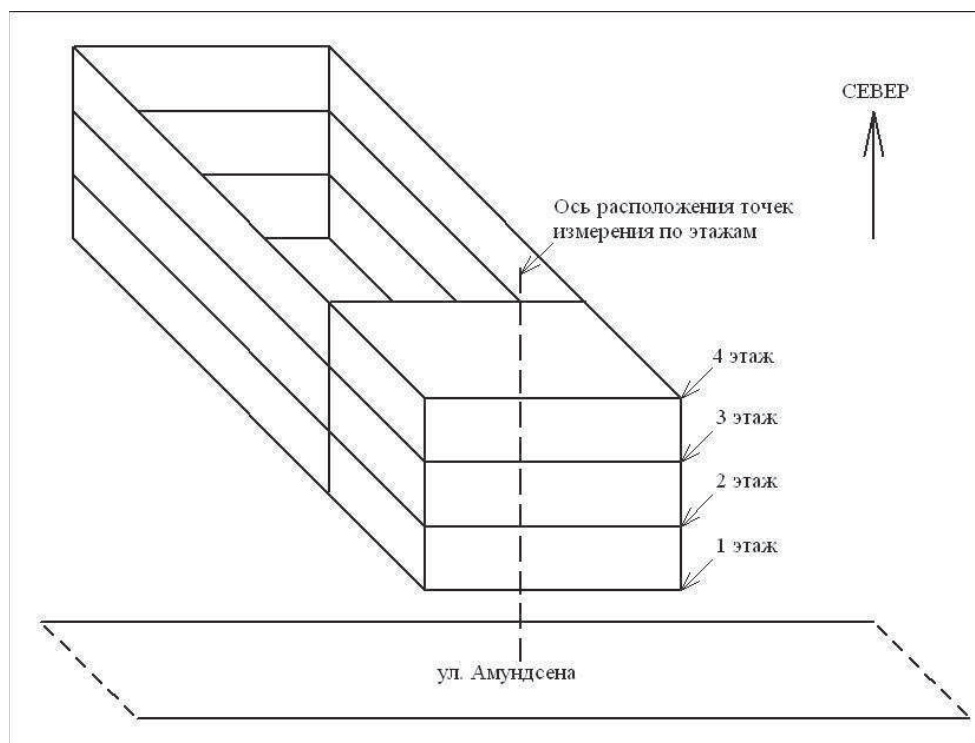


Рис.1. Схематическое расположение точек наблюдения по этажам здания ИГФ (вертикальный профиль I).

В качестве сейсмических датчиков были использованы 3-компонентные велосиметры электродинамического типа СК-1П производства КазГеофизПрибор (регистратор «Регистр» [3]) и LE-3Dlite фирмы Lennartz electronic (регистратор «RefTek» [7]). В целом АЧХ приборов достаточно близки для диапазона измерений 1 – 32 Гц. Отличие заключается в том, что коэффициент преобразования ($K_{пр.}$) прибора LE-3D равен 800 В/м/с, а сейсмоприемник СК-1П имеет $K_{пр.} = 140$ В/м/с. Однако при обработке сейсмических материалов вводилась поправка за различие $K_{пр}$ датчиков.

Все наблюдения проводились 7 марта 2017 г. в первой половине дня. Было получено 8 сейсмограмм микросейсмических шумов со средней длительностью записи 15 минут. Дальнейшая обработка полученного материала проводилась в специализированных пакетах программ, написанных в лаборатории сейсмометрии ИГФ [4, 5].

Полагая, что микросейсмические колебания представляют собой случайный процесс, стационарный во времени и пространстве [2], можно принять следующее положение. Каждая сейсмограмма достаточно большой продолжительности может быть заменена множеством коротких фрагментов такой же суммарной продолжительности. Была установлена стандартная длительность каждого фрагмента 1024 выборки, что составило порядка 8 секунд на сейсмограмме. Каждый фрагмент был проанализирован на интенсивность шумов, после чего были выбраны все фрагменты с наименьшим уровнем зашумленности. Таким образом минимизировались помехи, связанные с техногенным происхождением, например, колебания, вызванные передвижением автотранспорта по улице Амундсена. Пример описанной выше операции приведен на рисунках 2 и 3. На рис. 2А и 3А показаны обзорные сейсмограммы, полученные на площадке третьего этажа с помощью регистраторов «RefTek»

и «Регистр» соответственно. На каждой из них пунктирными линиями выделен один из множества 8-секундных фрагментов с минимальным уровнем зашумленности. На рис. 2Б и 3Б показана развертка этих фрагментов (также выделены пунктирными линиями).

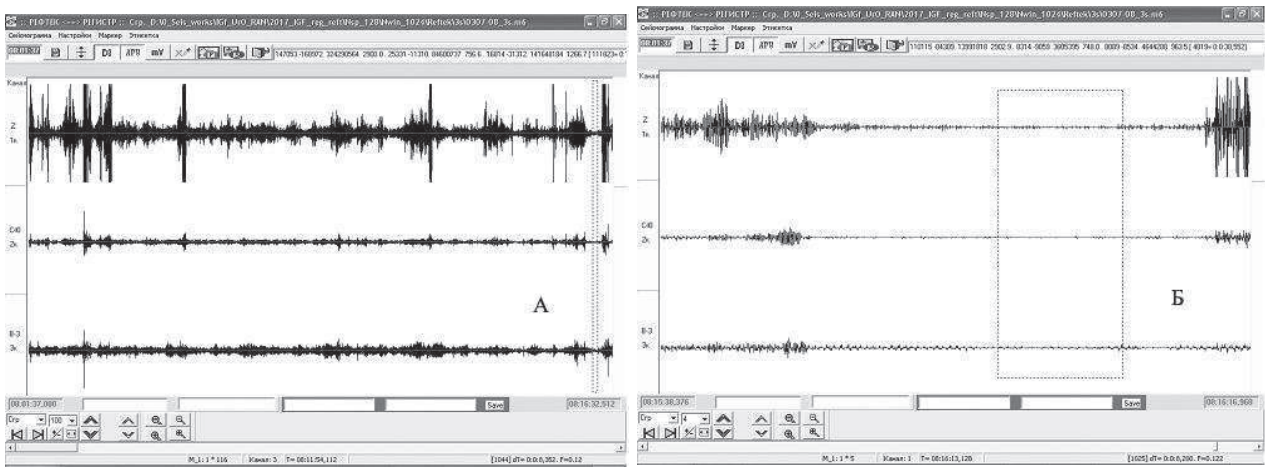


Рис.2. Сейсмограмма с регистратора «RefTek» (А) и фрагмент с минимальной зашумленностью (Б).

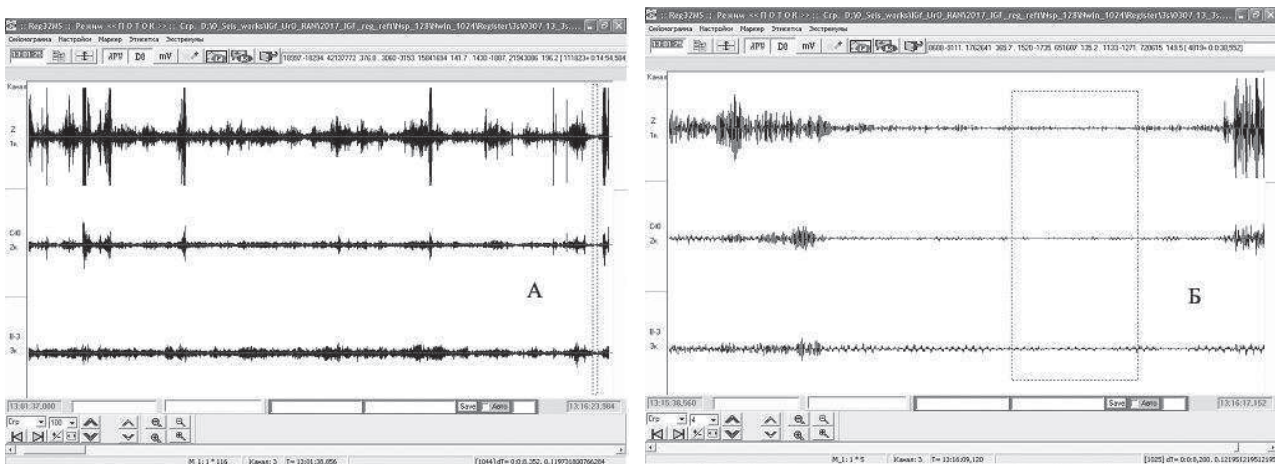


Рис.3. Сейсмограмма с регистратора «Регистр» (А) и фрагмент с минимальной зашумленностью (Б).

Дальнейшая обработка сейсмических материалов проводилась с применением известного метода Накамуры (H/V Nakamura's ratio) [6], в основе которого лежат представления о том, что влияние «тонкого слоя», расположенного непосредственно под сейсмическим датчиком на изучаемом объекте, в большей степени способствует усилению поперечной волны (S) и практически не изменяет продольную волну (P). Исходя из этого положения отношение спектральных характеристик горизонтальных компонент (X и Y) к спектру вертикальной компоненты (Z) будет характеризовать так называемую передаточную функцию, зависящую от «тонкого слоя» изучаемого объекта. Горизонтальная компонента H при этом определяется как среднее квадратичное спектров компонент X и Y, а вертикальная V соответствует спектру компоненты Z.

$$H(f) = \{[X^2(f) + Y^2(f)]^{0,5}\} / 2 \quad (1)$$

После этого вычисляется непосредственно отношение H/V

$$H/V = H(f)/V(f) \quad (2)$$

Спектры по каждой из компонент рассчитывались для всех выделенных фрагментов с минимальным зашумлением, после чего были определены среднеарифметические спектры незашумленных участков для каждой сейсмограммы. Полученные таким образом спектры подставлялись в формулу (2) и для полосы частот 0 – 32 Гц рассчитывалась так называемая функция Накамуры, определяющая коэффициент усиливаемости (H/V) в точке измерения. Графики поэтажного распределения этих коэффициентов для регистраторов «RefTek» и «Регистр» приведены на рисунках 4А и 4Б соответственно.

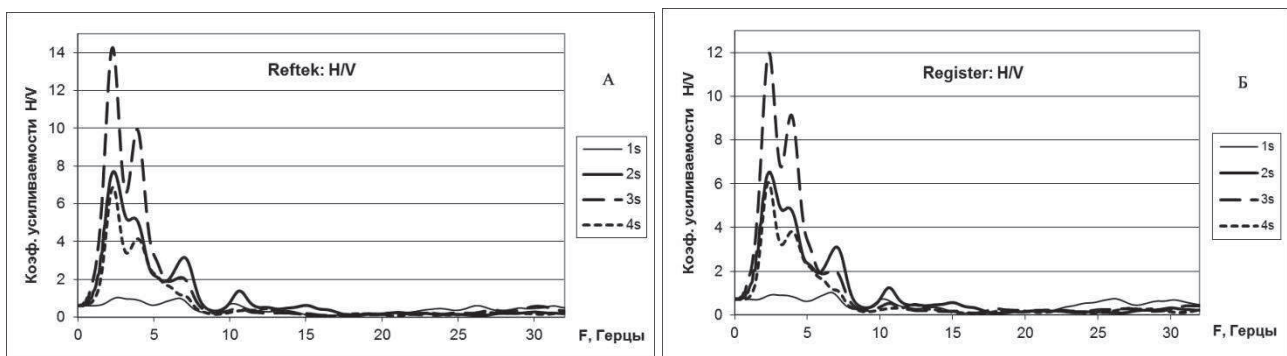


Рис.4. Поэтажное распределение функции Накамуры: (А) – «RefTek», (Б) – «Регистр».

Выводы. Сопоставление графиков, приведенных на рис. 4, позволяет сделать два существенных вывода. Во-первых, можно с уверенностью говорить об идентичности работы обоих регистраторов, из чего следует, что разработанный в лаборатории сейсмометрии ИГФ УрО РАН аппаратно-программный комплекс «Регистр» можно с успехом применять для изучения сейсмодинамических характеристик инженерных сооружений. Во-вторых, на обоих регистраторах отмечается резкое возрастание коэффициента усиливаемости на площадке третьего этажа для резонансных частот 2,3 Гц и 3,9 Гц. При этом H/V для второго и четвертого этажей в 2 раза меньше, а для первого – более, чем в 10 раз ниже. По нашему мнению – это является признаком наличия дефектов в конструктивах фойе юго-восточного крыла здания ИГФ на третьем этаже, например, в виде нарушения целостности каких-либо элементов конструкций (возникновение трещиноватости).

Полученные спектральные графики усиливаемости сотрясений на доминирующих частотах позволили определить значения коэффициентов уязвимости K_y для каждой точки по формуле [1]:

$$K_y = a^2/f \quad (3),$$

где a – максимальное значение коэффициента усиливаемости, f – соответствующая этому значению частота. На рис. 5 приведены полученные зависимости по этажам для регистраторов «RefTek» и «Регистр».

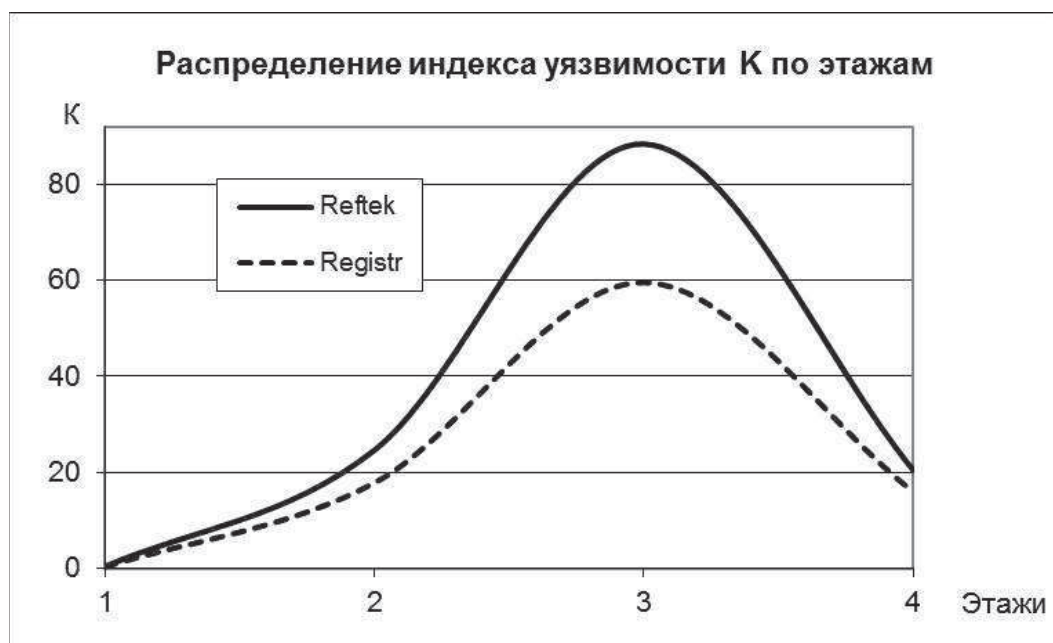


Рис. 5. Распределение индекса уязвимости по этажам.

Последний рисунок является качественным подтверждением перечисленных выше выводов, поскольку авторы не берутся судить о количественных допусках индекса уязвимости для различных инженерных сооружений, за неимением такой информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1.Аносов Г. И., Дробиз М. В. и др. Оценка сейсмической устойчивости учебного корпуса № 3 Российского государственного университета им. И. Канта с применением методики Накамуры. Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2010, № 1. Выпуск №15. С. 223 – 231.
- 2.Сейсмическое микрорайонирование // Под редакцией д. т. н. Медведева С. В. АН СССР, М: Наука, 1977. 248 с.
- 3.Сенин Л. Н., Сенина Т. Е., Воскресенский М. Н. Аппаратно-программный комплекс «Регистр-SD» для изучения сейсмодинамических характеристик объектов, находящихся под воздействием упругих колебаний // М: МАИК «Наука». ПТЭ. 2017. № 4.
- 4.Сенина Т. Е., Воскресенский М. Н. Программа обработки сейсмической информации Reg3MSD. Свидетельство № 2016618341. Зарегистрирована в Реестре программ для ЭВМ 27 июля 2016 г.
- 5.Сенина Т. Е., Сенин Л. Н., Воскресенский М. Н. Программа вычисления энергии упругих колебаний при сейсмических исследованиях Register-E. Свидетельство № 2017616131. Зарегистрирована в Реестре программ для ЭВМ 01 июля 2017 г.
- 6.Nakamura Y. A. Method for dynamic characteristic estimation of subsurface using microtremor on the ground surface // Quarterly report of Railway Technical Research Institute. 1989. V. 30. №1. P. 25-33.
- 7.Third Generation Broadband Seismic Recorder. Model 130-01. Specification. © 11, 2004. Refraction Technology Inc.

УДК 550.38:550.334

**ПРОЯВЛЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ЗЕМЛИ
В ГЕОМАГНИТНЫХ ВАРИАЦИЯХ**

Спивак Александр Александрович¹, Харламов Владимир Александрович²

¹*spivak@idg.chph.ras.ru*

²*kharlamov@idg.chph.ras.ru*

^{1,2} *ФГБУН Институт динамики геосфер РАН, Россия, Москва*

Аннотация. На основе результатов инструментальных наблюдений, выполненных на Геофизической обсерватории "Михнево" Института динамики геосфер РАН в период с 2010 г. по 2015 г., получена оценка спектров геомагнитных вариаций для разных периодов времени. Впервые показано, что спектры геомагнитных вариаций содержат ярко выраженные квазигармонические составляющие, частоты которых совпадают с частотами собственных колебаний Земли. Полученные результаты открывают новые возможности для изучения собственных колебаний Земли и уточнения их мультиплетных составляющих, а также для уточнения внутреннего строения Земли и физических характеристик ее внутренних геосфер.

**MANIFESTATION OF THE EARTH'S FREE OSCILLATIONS
IN GEOMAGNETIC VARIATIONS**

Spivak Alexander Alexandrovich¹, Kharlamov Vladimir Alexandrovich²

¹*spivak@idg.chph.ras.ru*

²*kharlamov@idg.chph.ras.ru*

^{1,2} *Institute of Geospheres Dynamics of Russian Academy of Sciences, Russia, Moscow*

Summary. Based on the instrumental observation results carried out at the Geophysical Observatory "Mikhnevo" of the Institute of Geosphere Dynamics of Russian Academy of Sciences during 2011-2015 the estimation of the spectrum of geomagnetic variations for different time periods were done. The first time it is shown that geomagnetic variations spectrums contains pronounced quasiharmonic constituents which frequencies coincide with the Earth's free frequencies. Findings open up new possibilities for the investigation of the Earth's free oscillations and more precise their multiplet constituents, also for more precise of the Earth's inner structure and physical characteristics of its inner geospheres.

Земля как космическое тело характеризуется собственными колебаниями. При этом набор частот собственных колебаний (сфероидальных ${}_nS_m$ и тороидальных (крутильных) ${}_nT_m$, где $n = 0, 1, \dots, N$; $m = 2, 3, \dots, M$) достаточно велик (насчитывается более тысячи мод собственных колебаний Земли [1,3,6,7,9,10]). Как и в любой другой механической системе собственные колебания Земли проявляются при ее возмущении в результате эндогенных либо экзогенных воздействий. В случае Земли в качестве такого возмущающего фактора выступают, в частности, сильные землетрясения [2,3-5]. Возбужденные в результате этих событий колебания Земли в целом содержат моды ее собственных колебаний, которые наблюдаются в течение достаточно продолжительного времени после события, а именно: от нескольких часов до нескольких суток в зависимости от магнитуды землетрясения [5,7,8].

Поскольку землетрясения в широком диапазоне магнитуд происходят на Земле регулярно, естественно предполагать, что Земля практически постоянно испытывает колебания, в частности, на собственных частотах с большей или меньшей амплитудой. Учитывая, что все геосферы Земли как внутренние, так и внешние связаны между собой энерго- и массообменными процессами, можно ожидать, что собственные колебания твердой Земли проявляются в процессах, протекающих во внешних геосферах, а также в вариациях

геофизических полей. Например, что касается магнитного поля, то наряду с возможными локальными электромагнитными эффектами в приземной атмосфере, вызванными опосредованным воздействием колебаний верхней твердой оболочки Земли имеется и другой механизм, вызывающий вариации главного магнитного поля и который связан с колебаниями внешнего ядра. Действительно, любые колебания Земли в целом и твердых геосфер по отдельности порождают колебания и относительные движения во внутреннем и внешнем ядре Земли. Это в свою очередь вызывает вариации токовых систем во внешнем ядре, которые согласно современным представлениям и являются источником главного магнитного поля.

В настоящей работе предложен новый подход к выделению собственных колебаний Земли на основе анализа геомагнитных вариаций, зарегистрированных на земной поверхности.

В качестве исходных данных использовались результаты регистрации магнитного поля, выполненной на среднеширотной Геофизической обсерватории «Михнево» ИДГ РАН (ГФО МНУ; 54,959°N; 37,766°E) в период 2010 – 2015 гг. Регистрация выполнялась с использованием трехкомпонентного феррозондового магнитометра LEMI-018, который располагался в специально оборудованном геомагнитном павильоне. Электронный блок магнитометра обеспечивал преобразование данных, получаемых с феррозондового датчика, их обработку и накопление с дискретностью 1 с. В качестве исходных данных для анализа были использованы ряды цифровых данных, сформированные с дискретностью 1 мин. Затем выполнялась оценка спектров на основе метода параметрической авторегрессии [6]. Авторегрессионная (AR) модель порядка p представляла собой уравнение, предсказывающее k -й член последовательности по p предыдущим:

$$x(k) = -\sum_{n=1}^p a_n x(k-n) + \varepsilon(k)$$

где a_n - коэффициенты авторегрессии, $\varepsilon(k)$ - белый шум.

Параметры $AR(p)$ -модели оценивались по методу Левинсона-Дурбина, реализующему решение уравнений Юла-Уолкера [6]. По вычисленным значениям параметров модели оценивался спектр процесса:

$$S(\omega) = \frac{1}{2\pi \left| 1 + \sum_{n=1}^p a_n e^{-i\omega n} \right|^2}$$

С учетом отличия в модах собственных колебаний Земли для достижения необходимого разрешения по частоте использовалась модель ряда порядка 20000. При этом шаг дискретизации по частоте f составлял $5 \cdot 10^{-5}$ 1/мин.

В качестве примера на рис.1 приведены результаты спектрального анализа вариаций модуля магнитного поля Земли на ГФО "Михнево" за 2014 г. Характерной особенностью спектра $S(f)$, приведенного на рис. 1, является наличие многочисленных ярко выраженных квазигармонических пиков. Более детальный анализ свидетельствует о том, что значительная часть из них близка к частотам собственных колебаний Земли. Для примера на рис.2 приведен фрагмент спектра геомагнитных вариаций для одного из участков частотного диапазона (частоты собственных колебаний Земли помечены в поле рисунков в соответствии с принятыми обозначениями).

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что частоты собственных колебаний Земли, выделенные на спектрах геомагнитных вариаций, варьируют со временем незначительно (наблюдаемое изменение частот не превышает $\sim 0,005$ мГц). В качестве примера на рис. 3 приведены для сравнения спектры геомагнитных вариаций на ГФО МНУ, вычисленные по данным 2011 г. и 2014 г., для одного из участков частотного диапазона.

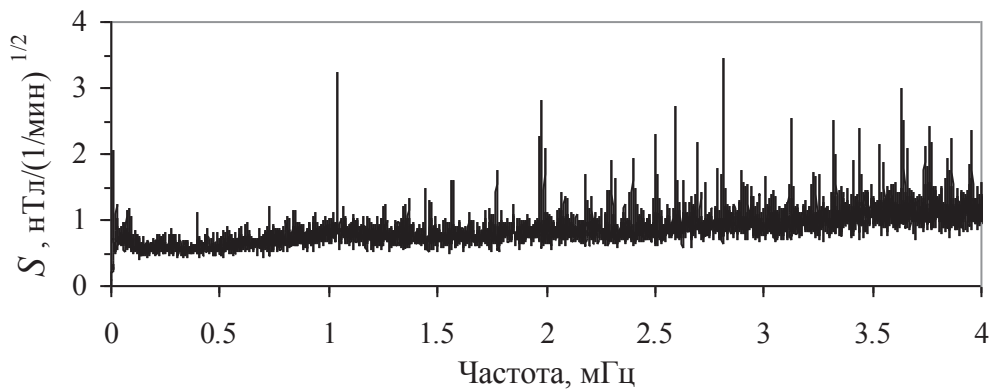


Рис.1.

геомагнитных вариаций на ГФО МНУ по данным за 2014 г.

Спектр

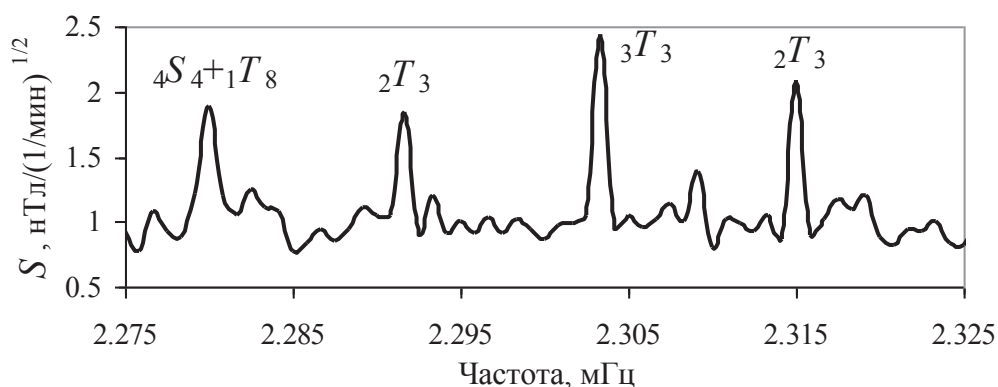


Рис.2. Фрагмент спектра геомагнитных вариаций на ГФО МНУ по данным за 2014 г.

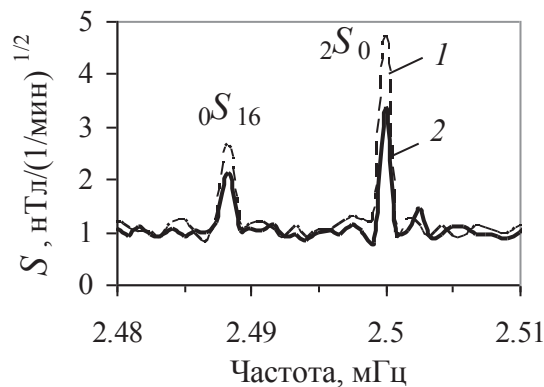


Рис.3. Фрагмент спектров геомагнитных вариаций на ГФО МНУ по данным за 2011 г.(1) и 2014 г. (2)

Анализ свидетельствует о том, что спектральные амплитуды геомагнитных вариаций на частотах собственных колебаний Земли значительно варьируют со временем. В качестве примера на рис. 4 приведены вариации спектральных амплитуд мод с частотой 0,309 Гц (мода ${}_0S_2$ с периодом 53,9 мин) и 0,647 (мода ${}_0S_4$ с периодом 25,76 мин), которые наиболее часто анализируются при изучении собственных колебаний Земли, вызванных сильными землетрясениями [3-5]. Представленные на рис. 4 данные получены в результате оценки спектров по 10-ти дневным интервалам и свидетельствуют о выраженной периодичности вариаций спектральных амплитуд с периодом около 28 сут, что соответствует сидерическому месяцу.

Полученные результаты могут быть востребованы при изучении собственных колебаний Земли, а также для уточнения ее внутреннего строения Земли.

Работа выполнена при поддержке проекта 0146-2015-0011 Программы фундаментальных исследований ОНЗ РАН IV.8.

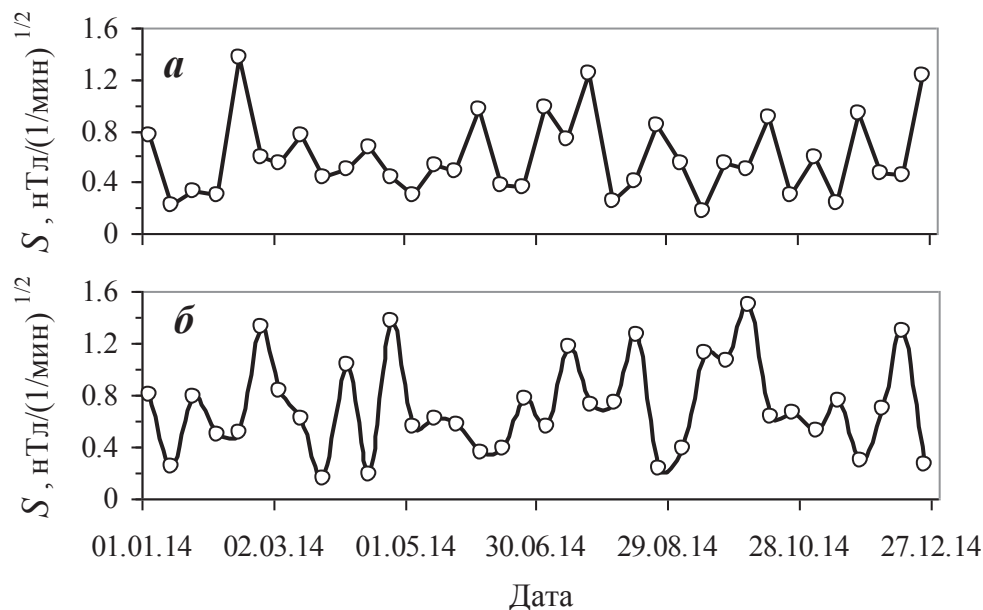


Рис.4. Вариация амплитуды спектральной плотности геомагнитных вариаций на частотах, Гц: а - 0,309 (мода ${}_0S_2$ с периодом 53,9 мин); б - 0,647 (мода ${}_0S_4$ с периодом 25,76 мин)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жарков В.Н. Физика Земных недр. М.: Наука и образование, 2012. 384 с.
2. Магницкий В.А. Внутреннее строение и физика Земли. М.: Наука, 2006. 390 с.
3. Милюков В.К., Виноградов М.П., Миронов А.П., Мясников А.В., Перельгин Н.А. Собственные колебания Земли, возбужденные тремя крупнейшими землетрясениями последнего десятилетия, по деформационным наблюдениям // Физика Земли. 2015. № 2. С. 21-36.
4. Соболев Г.А. О некоторых свойствах возникновения и эволюции колебаний Земли после землетрясений // Физика Земли. 2013. № 5. С. 12-27.
5. Соболев Г.А. Пульсации собственных колебаний Земли // Физика Земли. 2015. № 3. С. 3-12.
6. Fukao Y., Nishida N., Suda N., Nawa R., Kobayashi N. A theory of the Earth's background free oscillations // J. Geophys. Res. 2002. Vol. 107. doi: 10.1029/2001JB000153.
7. Ness N.F., Harrison J.C., Slichter L.B. Observations of the free oscillations of the Earth // J. Geophys. Res. 1961. Vol. 66. No. 2.
8. Park J., Amoroso A., Crescentini L., Boschi E. Long period toroidal Earth free oscillations from the great Sumatra-Andaman earthquake observed by paired laser extensometers in Grand Sasso, Italy // Geophys. J. Int. 2008. Vol. 178. P. 887-905.
9. Suda N., Nawa K., Fukao Y. Earth's background free oscillations // Science. 1998. Vol. 279. P. 2089-2091.
10. Tanimoto T., Um J. Cause of continuous oscillations of the Earth // J. Geophys. Res. 1999. Vol. 104. P. 28723-28739.

УДК 550.380

**ПОЛЕВЫЕ ИСПЫТАНИЯ
МАГНИТОМЕТРА-ГРАДИЕНТОМЕТРА МГП-01**

Старовойтов Владимир Петрович

skvgeoph@mail.ru

Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. Представлены методика измерений и результаты первых полевых испытаний пешеходного магнитометра-градиентометра МГП-01.

**FIELD TRIALS OF THE MAGNETOMETER-GRADIENTOMETRY
MGP-01**

Vladimir Starovoytov

skvgeoph@mail.ru

Institute of geophysics Ural Branch of Russian Academy of sciences, Ekaterinburg, Russia

Summary. The article presents measurement technique and results the first field test of pedestrian magnetometer-gradientometry MGP-01.

Измерение градиентов магнитного поля совместно с измерением собственно самого поля и его составляющих помогает в решении задач, связанных с разделением по магнитному полю влияния объектов различных по глубине или магнитному моменту, что важно при детальной разведке месторождений, для уточнения локализации рудных тел. С помощью таких измерений возможен также и поиск неглубокозалегающих металлических объектов [3].

Для решения подобных задач и предназначен прибор МГП-01 (магнитометр-градиентометр пешеходный), который измеряет элементы вектора постоянного магнитного поля на земной поверхности. Прибор состоит из 2-х магнитометров-инклинометров, работающих синхронно. Измерительные датчики с усилителями расположены на коромысле и разнесены на 1.5 м (при таком большом разnose прибор правильнее было бы назвать дифференциальным магнитометром) [1]. Такая база измерений актуальна для геологических объектов, для не очень резко меняющихся полей [2]. Измеряются, конечно, строго говоря, не градиенты, а средние значения градиентов на базе измерения [1].

По результатам лабораторных испытаний и настройки в обсерватории «АРТИ» в условиях нормального магнитного поля с использованием 3-х осевого инклинометрического стола УКИ-2, определены следующие технические характеристики прибора:

- Время одного измерения – 5.2 с.
- Ёмкость памяти – 45 минут непрерывной работы.
- Время непрерывной работы от аккумулятора – не менее 5 час.
- Диапазон измерения – до 90000 нТл.
- Собственный шум прибора (измерения в экране) равен ± 2 нТл.
- Температура эксплуатации от -10 до +60 °С.
- Абсолютная погрешность определения поля и градиентов составляет 5–30 нТл в зависимости от ориентации коромысла в пространстве.
- Положение вектора в пространстве определяется с погрешностью не хуже 0.03°.

Нужно отметить, что погрешности очень сильно зависят от размера базы измерений (1.5 м). Это связано с температурными и механическими деформациями элементов конструкции.

Для проверки работы аппаратуры и программы были проведены полевые измерения магнитного поля объектов, положение которых в пространстве известно (легкового

автомобиля и стальной трубы). Измерения проводились в районе обсерватории «Арти». В зависимости от необходимости измерения того или иного параметра и от возможности и способа горизонтальной ориентации прибора, могут быть выбраны соответствующие возможные методики измерений и, соответственно, методики обработки.

Коромысло специальным образом подвешивается на площадку, расположенную на штативе. Это может быть сделано по-разному, в зависимости от выбранной методики измерений. Площадка устанавливается горизонтально по круглому уровню.

Работы выполнялись по полному варианту методики измерений на пикете, который включает в себя следующее: начало работы – тренога на пикете, площадка горизонтируется по уровню, коромысло подвешивается сначала субгоризонтально (прицеливание, ориентирование) и производится измерение, затем коромысло навешивается снова субгоризонтально, но перпендикулярно первому измерению (линии прицеливания) и производится измерение, затем коромысло навешивается снова, но субвертикально и производится измерение. Такое «тройное» измерение принимается за одно измерение и соответственно обрабатывается.

Таким образом, в относительно небольшой области пространства, которую условно можно принять за точку, могут быть рассчитаны все градиенты полного суммарного поля (\mathbf{T}) и все градиенты составляющих этого вектора в принятой декартовой системе координат (Z , H_x , H_y).

Исходя из этого можно рассчитать и построить в пространстве вектор градиента полного поля ($\text{grad } \mathbf{T}$), вектор градиента аномального поля ($\text{grad } \mathbf{T}_a$), а также, формально, скалярную величину ($\text{div } \mathbf{T}$) и вектор ($\text{rot } \mathbf{T}$) [3].

Вектор градиента аномального поля ($\text{grad } \mathbf{T}_a$) приближенно можно считать направлением на объект, т. к., если считать объект диполем, то этот вектор отклонится от объекта не более чем на 15° [5].

Возможно, хотя и довольно грубо, определение величины модуля вектора магнитного момента (т. е. интенсивности источника поля) и его примерной ориентации в пространстве (по положению вектора ($\text{rot } \mathbf{T}$)). Возможно, хотя и довольно грубо, определение расстояния до объекта.

Если применение полного варианта измерений по каким-то причинам невозможно или не нужно, то используются упрощенные варианты измерений, но при этом резко падает информативность измерений.

В качестве примера на рис. 1–3 приведены результаты некоторых измерений.

На рис. 1 представлен пример измерений с прибором вокруг аномалиеобразующего объекта – легкового автомобиля. Наблюдается картина сходящихся векторов ($\text{grad } \mathbf{T}_a$), направленных на объект.

Вторым источником аномального магнитного поля послужила металлическая труба, лежащая на поверхности. Здесь измерения проводились как вокруг объекта, так и непосредственно над ним (см. рис. 2). Здесь наблюдается схожая картина. Для трубы магнитный момент горизонтален и направлен на север (поле практически чистый диполь). Для машины поле более сложное и вектор магнитного момента возможно не является горизонтальным. На рис. 3 представлена зависимость длины вектора модуля магнитного момента от расстояния до объекта аномалии. Погрешности в определении расстояния до объекта и величины модуля магнитного момента возможно связаны с местным локальным трендом магнитного поля, а для правильного расчета очень важен правильный выбор значений нормального поля.

Следует отметить, что на результаты измерений градиентов магнитного поля и, соответственно, всех величин связанных с ними, большое влияние оказывают помехи, связанные с мелкими поверхностными неоднородностями магнитного поля. Кроме того, погрешности могут быть связаны с тем, что для таких относительно небольших объектов размер базы измерений 1.5 м слишком велик.

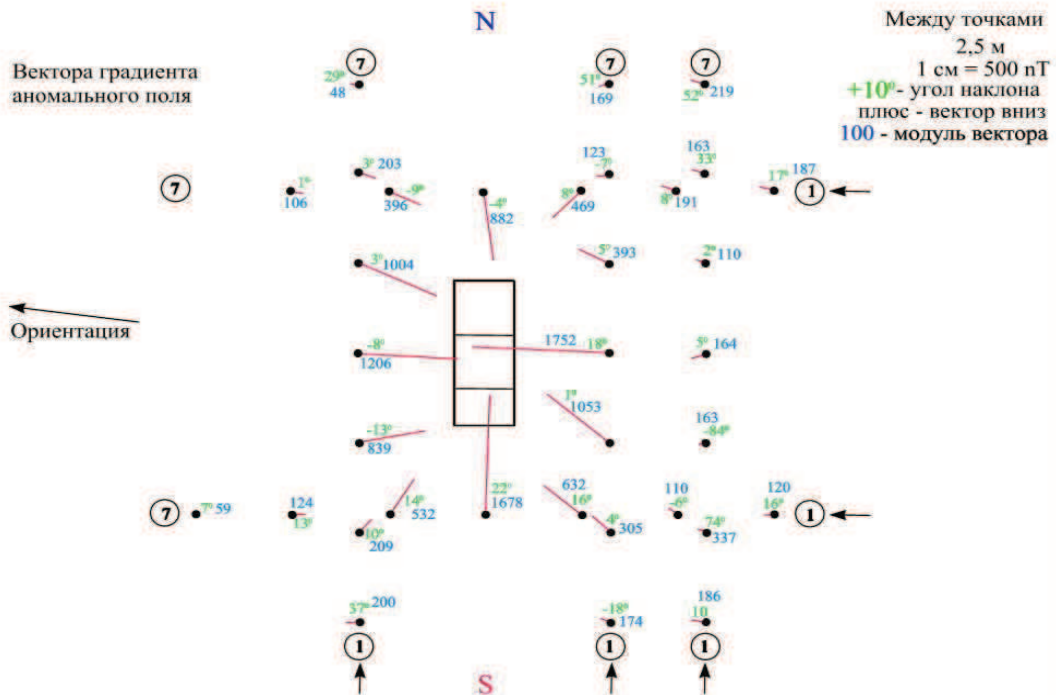


Рис. 1. Вектора градиента аномального поля от автомобиля

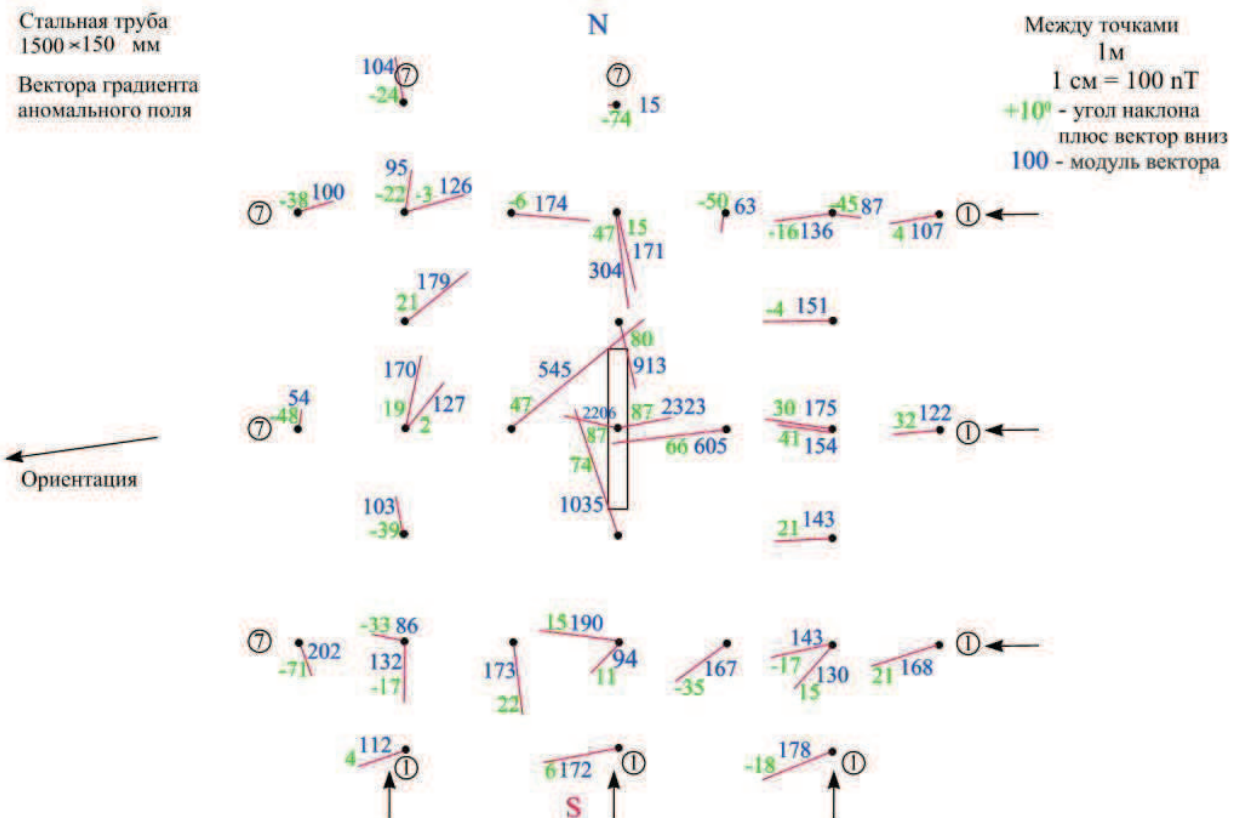


Рис. 2. Вектора градиента аномального поля от стальной трубы

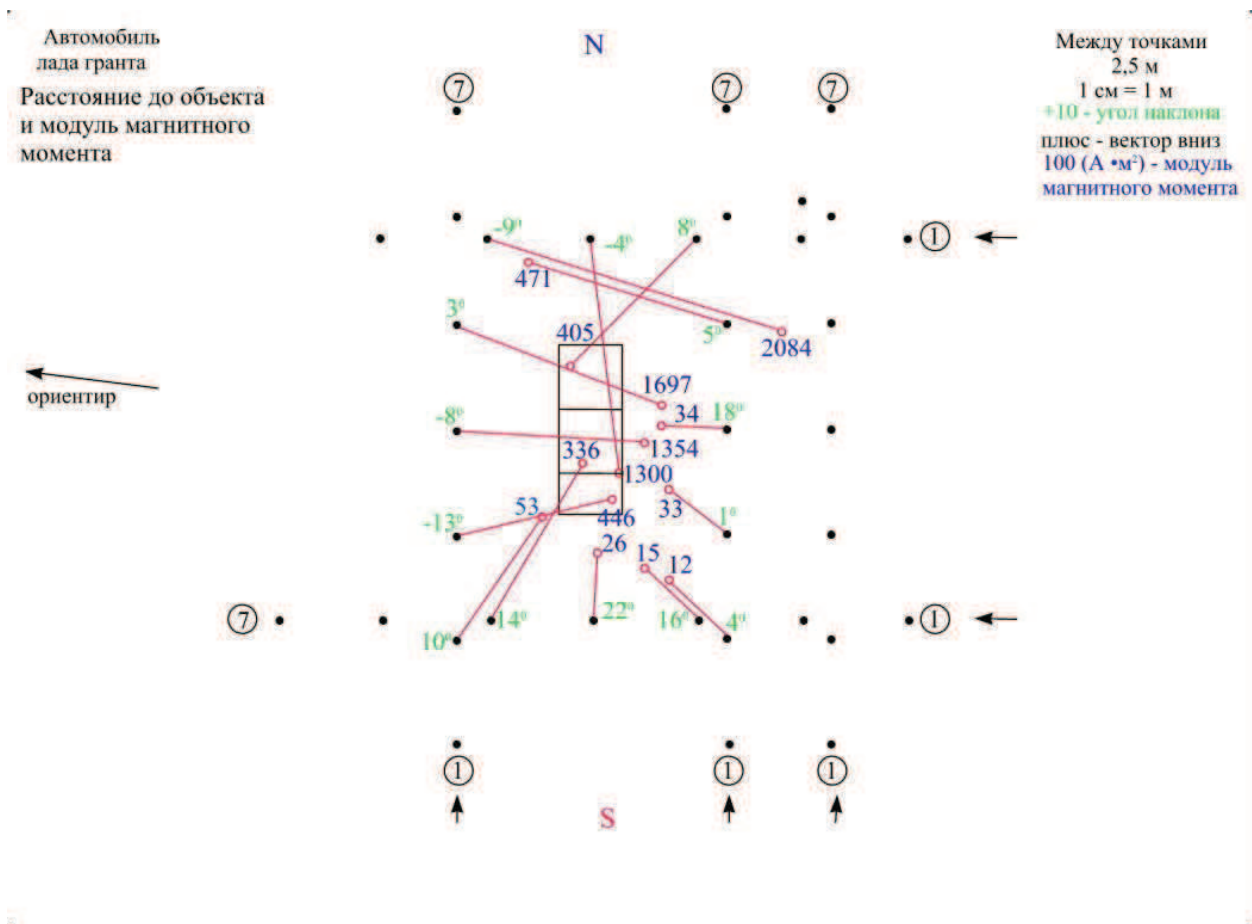


Рис. 3. Расстояние до объекта и величина модуля магнитного момента

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев Ю.В. Феррозондовые приборы. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. 188 с.
2. Инструкция по магниторазведке / М-во геологии СССР. Л.: Недра, 1981. 263 с.
3. Магниторазведка. Справочник геофизика / Под ред. В.Е. Никитского, Ю.С. Глебовского. М.: Недра, 1980. 367 с.
4. Средства измерений параметров магнитного поля / Ю.В. Афанасьев и др. Л.: Энергия. Ленингр. отд-ние, 1979. 320 с.
5. Тамм И.Е. Основы теории электричества. М.: Наука, 1966. 624 с.

УДК 550.34:551.1(470.6)

**К ПРОБЛЕМЕ ФОРМИРОВАНИЯ ВЕРХНЕМАНТИЙНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ
КЕРЧЕНСКО-ТАМАНСКОГО РАЙОНА
КРЫМСКО-КАВКАЗСКОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЗОНЫ**

*Стогний Галина Александровна, Стогний Валерий Васильевич
e-mail: stogny@newmail.ru, stogny_vv@mail.ru
Кубанский государственный университет, г. Краснодар, Россия*

Аннотация. В пределах Крымско-Кавказской сейсмической зоны выделены Керченско-Таманский и Терско-Сунженский районы верхнемантийных землетрясений с магнитудой $M \leq 4$. Распределение эпицентров верхнемантийных землетрясений Керченско-Таманского района рассмотрено по отношению к тектонической структуре консолидированной земной коры. Показано, что верхнемантийные землетрясения с глубиной очага более 50 км локализованы главным образом в пределах Фанагорийского и Индолокубанского блоков, а формирование их очагов связано с процессами дилатансии в тектонически расслоенной верхней мантии при ведущей роли глубинных флюидов.

**ON THE PROBLEM OF THE FORMATION OF UPPER-MANTLE EARTHQUAKES IN
THE KERCH-TAMAN REGION OF THE CRIMEAN-CAUCASIAN SEISMIC ZONE**

*Galina Stogny, Valery Stogny
e-mail: stogny@newmail.ru, stogny_vv@mail.ru
Kuban State University, Krasnodar, Russia*

Summary. Within the Crimean-Caucasian seismic zone, the Kerch-Taman and Tersko-Sunzhensky areas of upper-mantle earthquakes with a magnitude of $M \leq 4$ are identified. The distribution of the epicenters of the upper mantle earthquakes of the Kerch-Taman region is considered in relation to the tectonic structure of the consolidated earth's crust. It is shown that upper mantle earthquakes with a depth of the focus of more than 50 km are localized mainly within the Phanagorian and Indolocuban blocks, and the formation of their centre is associated with dilatancy processes in the tectonically stratified upper mantle under the leading role of deep fluids.

Для Крымско-Кавказской сейсмической зоны, включающей сейсмоактивные районы Крыма и Большого Кавказа, характерны коровые землетрясения. Многочисленные проявления верхнемантийных землетрясений с магнитудой $M \leq 4$ локализованы в пределах Керченско-Таманского и Терско-Сунженского районов [3, 4]. Для Керченско-Таманского района В.С. Гобаренко с соавт. [3] исследовали распределение гипоцентров землетрясений за период 1970–2013 гг. с целью создания геодинамической модели в области взаимодействия Черноморской микроплиты и Скифской плиты. Согласно этим авторам, гипоцентры землетрясений с магнитудой $M \leq 3$ Керченско-Таманского прогиба формируют сейсмофокальную зону, погружающуюся в северном направлении примерно под углом 30° , а нахождение в северной части Керченского и Таманского полуостровов эпицентров наиболее глубоких (70–90 км) землетрясений объясняется поддвигом Черноморской микроплиты под континент.

Формирование сейсмичности Крымско-Кавказской зоны обычно рассматривают в рамках плитной тектоники, а к сейсмогенерирующим структурам относят области взаимодействия плит либо микроплит. Вместе с тем, необходимо отметить различное положение границ плит (микроплит) на имеющихся схемах тектонического строения Черноморского региона. Так, по А.Н. Вардапетяну [2] граница Черноморской микроплиты с Евразийской плитой соответствует южному ограничению последней. В.Г. Казьмин с соавт. [5] за северную границу Восточно-Черноморской микроплиты принимает надвиги форланда

горно-складчатого сооружения Большого Кавказа. Отметим тезис В.В. Белоусова [1], что деформации в пределах Большого Кавказа могут возникать вследствие внутренних процессов дифференциации вещества в недрах и адвективных движений в верхних горизонтах литосферы.

С целью анализа имеющихся точек зрения на формирование сейсмичности Керченско-Таманского района представленный в работе [3] фактический материал по распределению эпицентров верхнемантийных землетрясений с $M \leq 3$ нами рассмотрен по отношению к тектонической структуре консолидированной земной коры Керченского и Таманского полуостровов.

Эпицентры верхнемантийных землетрясений Керченско-Таманского района в тектоническом отношении приурочены к Индоло-Кубанскому и Керченско-Таманскому прогибам. По [8] Керченско-Таманский прогиб, разделяющий складчатые сооружения Горного Крыма и Большого Кавказа и включающий также Таманский полуостров и юго-восточную часть Керченского полуострова, имеет наложенный характер и сформировался одновременно с началом становления Крымского и Кавказского орогенов и Индоло-Кубанского прогиба, по отношению к которому он занимает приподнятое положение.

Керченско-Таманский сейсмический район характеризуется наличием палеосейсмологических свидетельств об очень крупных (с $M \geq 6$) исторических землетрясениях. Сюда следует отнести Анапское землетрясение 800 г. до н.э. ($M = 6,5$), катастрофическое Понтикапейское землетрясение 63 г. до н. э. ($M = 6,4$), разрушившем ряд городов по обе стороны Керченского пролива, Керченское землетрясение 275 г. ($M = 6,4$) и Нижнекубанское землетрясение 1879 г. ($M = 6,0$). Восточная часть Керченско-Таманского района верхнемантийных землетрясений включает Анапский сейсмический район, в тектоническом отношении расположенный на северо-западном окончании мегаантиклинория Большого Кавказа.

Глубинная структура Керченско-Таманского и Индоло-Кубанского прогибов изучена по профилям СГС-28, СГС-29 и DOBRE-5. Профиль СГС-28 пересекает (с севера на юг) ближайшие выходы консолидированной земной коры Украинского щита, Скифскую плиту и Индоло-Кубанский прогиб. Мощность земной коры рассматриваемого региона находится в пределах 40–45 км, мощность осадочного слоя до 11 км, при этом максимальная мощность земной коры в 45 км зафиксирована для Керченского полуострова по профилю DOBRE-5 [9]. По данным [6] мощность неоген-палеогеновых осадков структуры Субботина Керченско-Таманского прогиба составляет 4,6 км, ниже залегают меловые отложения.

Схема блоковой делимости литосферы Северо-Западного Кавказа и Керченского полуострова разработана по результатам комплексной интерпретации геолого-геофизических материалов (рис. 1). Консолидированный слой земной коры в системе блоковой делимости представлен областью взаимодействия Восточно-Черноморского и Азово-Каспийского литосферных геоблоков, разграниченных Крымским и Западнокавказским разломами [7]. Предполагаемая В.В. Юдиным [10] субширотная юрско-раннемеловая Предгорная сутура расположена несколько севернее (в 15–20 км) Крымского межгеоблокового разлома. Азово-Каспийский геоблок в рамках рассматриваемой территории представлен главным образом Индолокубанским блоком Скифской плиты. В структуре гравитационного поля Керченско-Таманский и Индоло-Кубанский прогибы выделяются общим гравитационным минимумом амплитудой до 70 мГал, при этом Керченско-Таманский прогиб в плане соответствует юго-западной гравитационной ступени.

Континентальный и морской сегменты Восточно-Черноморского геоблока в рамках изучаемой площади представлены Анапским, Фанагорийским и Морским блоками второго порядка. Анапский и Морской блоки ограничены Таманским и Новороссийским разломами северо-восточного простирания, а Фанагорийский блок – межгеоблоковым Крымским разломом, а также внутриблоковыми Таманским и Бурунским разломами.

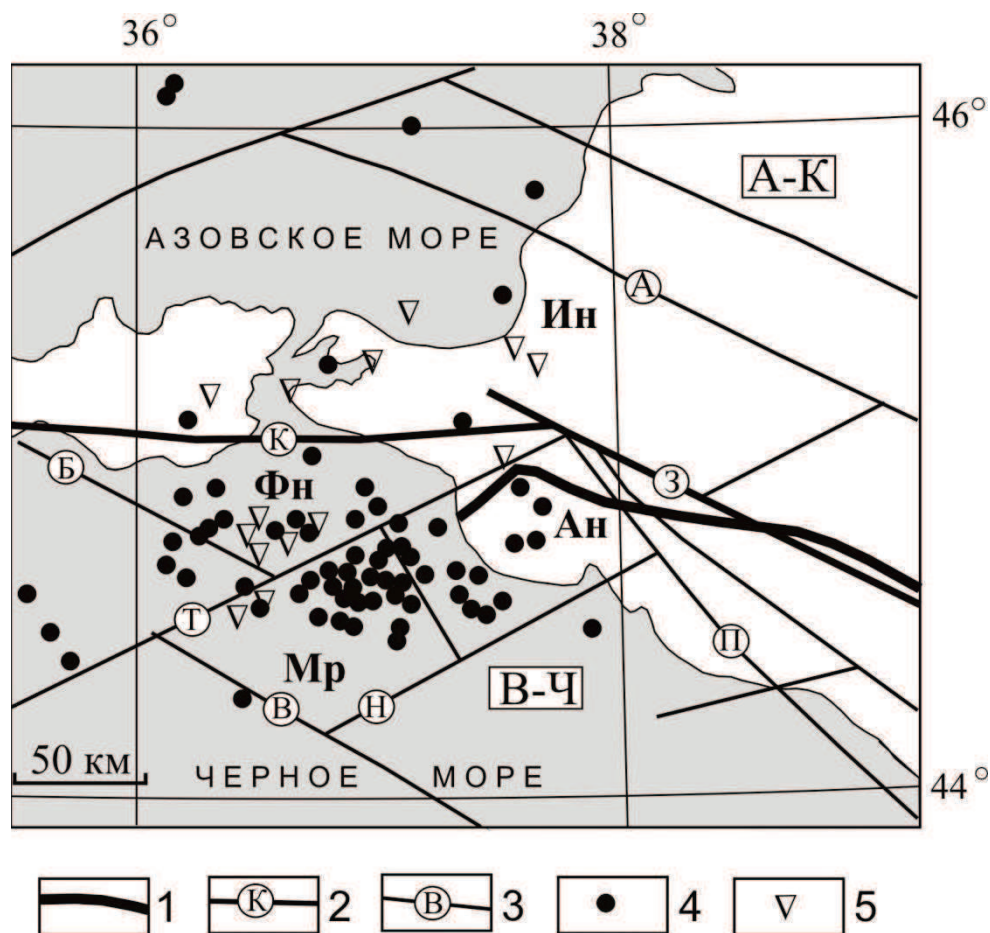


Рис. 1. Распределение эпицентров слабых ($M \leq 3$) верхнемантийных землетрясений Керченско-Таманского сейсмического района по отношению к блоковой структуре консолидированного слоя земной коры. Эпицентры землетрясений вынесены по данным [3]. 1 – северо-западная граница Большого Кавказа; 2 – межгеоблоковые разломы: 3 – Западно-Кавказский, К – Крымский; 3 – межблоковые разломы: А – Азово-Каспийский, Б – Бурунский, В – Восточночерноморский, Н – Новороссийский, П – Причерноморский, Т – Таманский; 4–5 – эпицентры слабых ($M \leq 3$) землетрясений с глубиной гипоцентра: 4 – 30–50 км, 5 – более 50 км Литосферные геоблоки: А-К – Азово-Каспийский, В-Ч – Восточно-Черноморский. Блоки: Ан – Анапский, Ин – Индолокубанский, Mr – Морской, Fn – Фанагорийский.

Эпицентры верхнемантийных землетрясений Керченско-Таманского района с глубиной очага более 50 км на схеме строения консолидированной земной коры расположены главным образом в пределах Фанагорийского и Индолокубанского блоков, причём в Фанагорийском блоке они сконцентрированы на небольшой площади (25×30 км), а в южной части Индолокубанского блока имеют рассеянный характер. Эпицентры землетрясений с глубиной очага 30–50 км локализованы в основном в Анапском и Морском блоках, ограниченных едиными Таманским и Новороссийским разломами северо-восточного простирания. Анапский блок является сейсмогенерирующей структурой одноимённого сейсмического района с землетрясениями магнитудой $M \geq 4$. Предполагается, что Анапский блок «вдавливается» в северо-восточном направлении [7].

Следует отметить, что слабые ($M \leq 3$) единичные верхнемантийные землетрясения с глубиной гипоцентра 30–50 км зарегистрированы по всей причерноморской зоне Крыма и Западного Кавказа. Гипоцентры данных землетрясений приурочены к области перехода нижний слой земной коры – верхняя мантия, при мощности земной коры 46–42 км.

Возникновение верхнемантийных землетрясений Кавказа предполагается в связи с зонами псевдосубдукции [8] либо субдукции Черноморской плиты под континентальную [2, 3, 5]. По нашему мнению, формирование очагов слабых землетрясений Керченско-Таманского района в тектонически расслоенной верхней мантии происходит в условиях дилатансии (растяжение-сжатие) при ведущей роли глубинных флюидов.

Работа выполнена по проекту РФФИ № 16-45-230343.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоусов В.В. Большой Кавказ как тектоническая лаборатория // Проблемы геодинамики Кавказа. М.: Наука, 1982. С. 9–13.
2. Вардапетян А.Н. Позднекайнозойская тектоника плит Черноморско-Каспийского региона // Океанология. 1979. Т. 19. № 6. С. 1066–1075.
3. Гобаренко В.С., Муровская А.В., Егорова Т.П., Шеремет Е.Е. Современные коллизионные процессы на северной окраине Чёрного моря // Геотектоника. 2016. № 4. С. 68–87.
4. Годзиковская А.А., Рейснер Г.А. Эндогенная позиция глубоких землетрясений Кавказа // Геотектоника. 1989. № 3. С. 15–25.
5. Казьмин В.Г., Лобковский Л.И., Пустовитенко Б.Г. Современная кинематика микроплит в Черноморско-Южно-Каспийском регионе // Океанология. 2004. Т. 44. № 4. С. 600–610.
6. Русаков О.М., Кутас Р.И. Проблемы оценки нефтегазоносности северо-восточной части украинского сектора Чёрного моря // Геофизический журнал. 2011. Т. 33. № 4. С. 50–61.
7. Стогний Г.А., Стогний В.В. Тектонические условия сейсмичности Северо-западного сегмента и южного склона Центрального сегмента Большого Кавказа // Глубинное строение, минерагения, современная геодинамика и сейсмичность Восточно-Европейской платформы и сопредельных регионов. Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2016. С. 383–387.
8. Тектоника южного обрамления Восточно-Европейской платформы / Под ред. В.Е. Хаина, В.И. Попкова. Краснодар: Кубан. гос. ун-т. 2009. 213 с.
9. Фарфуляк А.В. Природа наклонной сейсмической границы в земной коре Скифской плиты вдоль профиля DOBRE-5 // Геофизический журнал. 2015. Т.37. № 6. С. 64–77.
10. Юдин В.В. Геодинамика Крыма. Симферополь: ДИАЙПИ. 2011. 336 с.

УДК 550.837+552.08:53(3)

**РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОГРАВИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СТРОЕНИЯ
ЗЕМНОЙ КОРЫ ПО АЛАПАЕВСКОМУ ПРОФИЛЮ НА ОСНОВЕ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И ГРАВИТАЦИОННЫХ ДАННЫХ**

Сурина Олеся Викторовна¹, Вишневецкий Владимир Сергеевич², Астафьев Павел Федорович³

¹ e-mail: sur2004@inbox.ru

² e-mail: vishnev.38@mail.ru

³ e-mail: pashaek@mail.ru

^{1,2,3} *Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН, Екатеринбург, Россия*

Аннотация. В результате обработки экспериментального материала и интерпретации данных с использованием численного моделирования электромагнитных полей построен геоэлектрический разрез верхней части литосферы по Алапаевскому геотраверсу. На основе результатов геоэлектрики с привлечением гравитационных данных, согласно разработанной ранее методике, построена электрогравитационная модель строения земной коры. Полученные данные позволят дополнить, а в ряде случаев уточнить имеющуюся геолого-геофизическую информацию о составе и строении земной коры Среднего Зауралья.

**ELECTRO-GRAVITATIONAL MODEL OF THE EARTH'S CRUST ALONG
ALAPAEVSKY PROFILE USING ELECTROMAGNETIC AND GRAVITY DATA**

Olesya Surina¹, Vladimir Vishnev², Pavel Astaf'ev³

¹ e-mail: sur2004@inbox.ru

² e-mail: vishnev.38@mail.ru

³ e-mail: pashaek@mail.ru

^{1,2,3} *Institute of Geophysics of the Ural Branch of the RAS, Ekaterinburg, Russia*

Summary. As a result of processing of experimental materials and interpretation of data with use of computational modeling of electromagnetic fields the geoelectric section of the upper part of the lithosphere along Alapaevsky geotraverse is constructed. The electrogravitational model of the Earth's crust on the basis of geoelectric structure using gravity data is constructed according to the technique developed earlier. The obtained data will allow adding, and in a row cases to specify the available geological-geophysical information on composition and structure of Earth's crust of the Middle Trans-Ural.

В рамках данной работы реализован принцип построения согласованной электрогравитационной модели, заключающийся в моделировании распределения плотности верхней части земной коры в блоках, выделенных по электромагнитным данным. Основу для комплексирования двух независимых геофизических методов составили новые результаты электромагнитных зондирований, выполненные сотрудниками лаборатории электрометрии Института геофизики УрО РАН по Алапаевскому профилю протяженностью порядка 280 км (Рис. 1). Были проведены дополнительные комплексные электромагнитные исследования с контролируемым (ИЭМЗ) и естественными (АМТЗ-МТЗ) источниками электромагнитного поля в широком диапазоне частот ($100\text{кГц} \div 10^4\text{ Гц}$), в наиболее значимых для геологических обоснований участках, с апостериорной проверкой ранее выполненных зондирований. Рассматриваемое сечение включает структуры “открытого” Урала (восточную часть Восточно-Уральского прогиба (X), огромное тектоническое сооружение – Зауральское поднятие (XI)) и частично Тюменско-Кустанайского прогиба (XII) в пределах Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна. При выборе участков для проведения зондирований учитывались трудности, обусловленные влиянием техногенных помех (газопроводы, ЛЭП, железные и автомобильные дороги и крупные города).

При построении геоэлектрического разреза осуществлялись многочисленные расчеты параметров разреза (модели) земной коры и верхней мантии на основе численного моделирования в одномерной и двухмерной средах. На заключительном этапе разработки модели использовалась инверсионная автоматизированная программа Л.Н. Пороховой, позволяющая исследовать тонкую структуру геоэлектрического разреза, исходя из предположения о градиентном изменении сопротивления с глубиной и без привлечения априорной информации о среде.

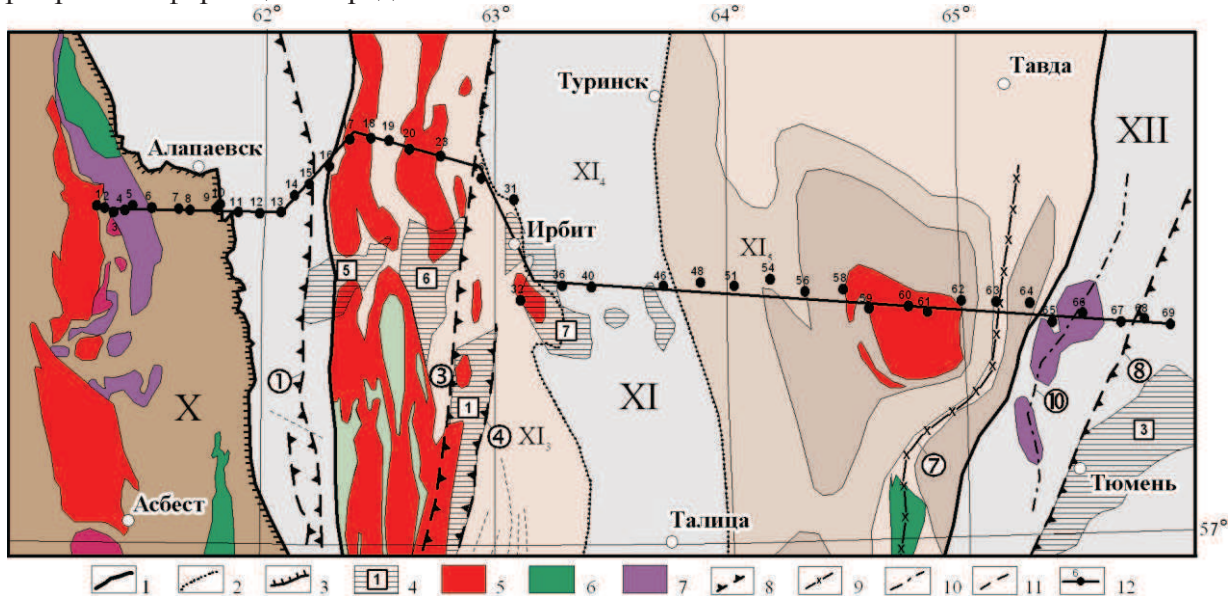


Рис. 1. Схема структурно-тектонического районирования докембрийского складчатого фундамента Среднего Зауралья

1 – границы структур I порядка: X – Восточно-Уральский прогиб, XI – Зауральское поднятие, XII – Тюменско-Кустанайский прогиб; 2 – границы структур II порядка: XI₃ – Камышловский мегантиклинорий, XI₄ – Талицкий мегасинклинорий, XI₅ – Ницинско-Шадринский мегантиклинорий; 3 – граница “открытого” Урала; 4 – тектонические и эрозионно-тектонические впадины в палеозойском фундаменте: ① – Анохинская, ③ – Тюменская, ⑤ – Бичурская, ⑥ – Бобровская, ⑦ – Звериноголовская; 5 – гранитовые субформации: граниты нормальные; 6 – габбро, габбро-нориты, габбро-диориты; 7 – сильно серпентинизированные ультрабазиты; 8 – глубинные разломы, обусловленные появлением траппового магматизма: ① – Бичурско-Копейский, ③ – Анохинский, ④ – Ирбитский, ⑥ – Тюменско-Ливановский; 9 – глубинный разлом с интрузией базитов: ② – Лучинский; 10 – глубинный разлом с интрузиями гипербазитов: ⑩ – Владимирско-Каргапольский; 11 – тектонические нарушения; 12 – пункты зондирования и профиль наблюдений

В разрезе четко прослеживаются все структурно-тектонические элементы, выделенные на геологической карте [1], разломы и их глубинные корни, расслоенность осадочного чехла и фундамента по геоэлектрическим параметрам. В фундаменте прослеживается большое количество горстов, грабенов, уступов, образовавшихся в результате опусканий, воздыманий и смещений его отдельных блоков (Рис. 2). Важная особенность геоэлектрического разреза заключается в различии глубинного строения литосферы Западной Сибири по сравнению с “открытым” Уралом. Высокоомная земная кора сиалического типа опускается под более проводящий чехол вышележащих толщ и становится значительно менее мощной в восточной части профиля.

Таким образом, в результате комплексных электромагнитных исследований получен новый уникальный экспериментальный материал, существенно дополняющий представление о геоэлектрической расслоенности платформенного чехла и фундамента Западно-Сибирской платформы.

В рамках настоящих исследований проанализированы преимущественно плотностные и электрические характеристики интрузивных, эффузивно-осадочных и эффузивных, метаморфических и осадочных образований и их зависимости от пористости. На основе

анализа результатов лабораторных исследований на образцах горных пород, литературных

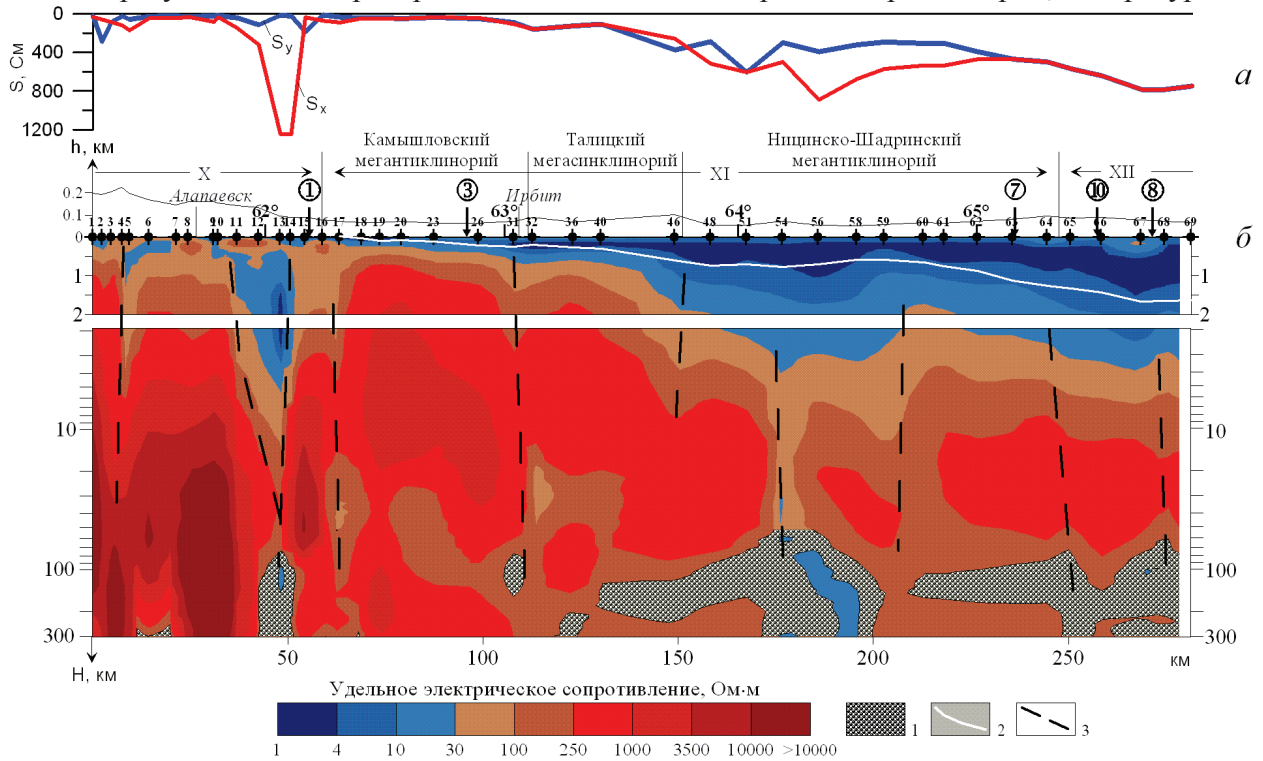


Рис. 2. Результаты комплексных электромагнитных исследований по Алапаевскому профилю

(а) – суммарная продольная проводимость литосферы для меридионального (S_x) и широтного (S_y) направлений; (б) – геоэлектрический разрез верхней части коры по данным комплексных электромагнитных зондирований; 1 – астеносферные проводники; 2 – граница доюрского основания по геологическим данным; 3 – тектонические нарушения, выделенные по электромагнитным данным

источников, фондовых материалов и каротажных данных глубоких скважин ВЕП были выявлены эмпирические зависимости между петрографическими параметрами пород (удельным электрическим сопротивлением, плотностью и пористостью). Методика опробована на обширном экспериментальном материале по ряду геотраверсов Северного, Среднего Урала и Зауралья общей протяженностью более 1500 км и описана в работах [2, 3, 4, 5, 6]. Двумерное моделирование выполнялось с помощью разработанных модулей программных средств (Н.П. Костров), интегрированных в GIS ArcView. В процессе интерпретации осуществлен подбор кривой поля силы тяжести в редукции Буге (сплошная линия на Рис. 3, а – практическая кривая, пунктир – расчетная кривая поля силы тяжести). Кривая магнитного поля (ΔT) использовалась в качестве дополнительной информации для уточнения положения основных границ между структурно-вещественными комплексами.

Значения плотности и удельного электрического сопротивления в представленной электрогравитационной модели согласуются с оценками данных физических параметров по результатам электроразведочных методов на постоянном токе (ВЭЗ, ДЭЗ, БКЗ), по данным каротажа немногочисленных глубоких скважин и петрофизических исследований в лабораторных условиях на образцах горных пород. В целом, электрогравитационная модель носит обобщающую пространственную характеристику рассматриваемой территории, поскольку пункты зондирования местами располагаются на значительном удалении от профиля и могут отражать детали различной литологии горных пород.

Анализ полученных результатов позволяет проследить следующие особенности:

- верхняя часть разреза сложена неметаморфизированными мезокайнозойскими отложениями платформенного типа и слабодислацированными образованиями пермотриаса и нижней юры, обычно заполняющими неровности фундамента (осадочные, терригенно-осадочные и эффузивно-осадочные породы с плотностью 2,28 – 2,65 г/см³, что согласуется с

данными [7]. Юрские и более молодые осадки (пески, глины, опоки) имеют сопротивление $1\div 30$ Ом·м. Глубже залегают отложения, включающие кору выветривания и терригенные породы с повышенным удельным сопротивлением, мощность которых увеличивается в восточном направлении до 2 и более км. Иногда они изогнуты в складки, повторяющие изогипсы фундамента;

- фундамент в разрезе имеет сложное внутреннее строение, представлен сильнодислоцированными и метаморфизованными толщами осадочных и вулканогенных пород докембрия и палеозоя, моноклинально погружающихся на восток. Их плотность оценивается в пределах $2,60 - 2,85$ г/см³ в зависимости от химического состава интрузивных и эффузивных пород, метаморфических процессов, пористости и др.

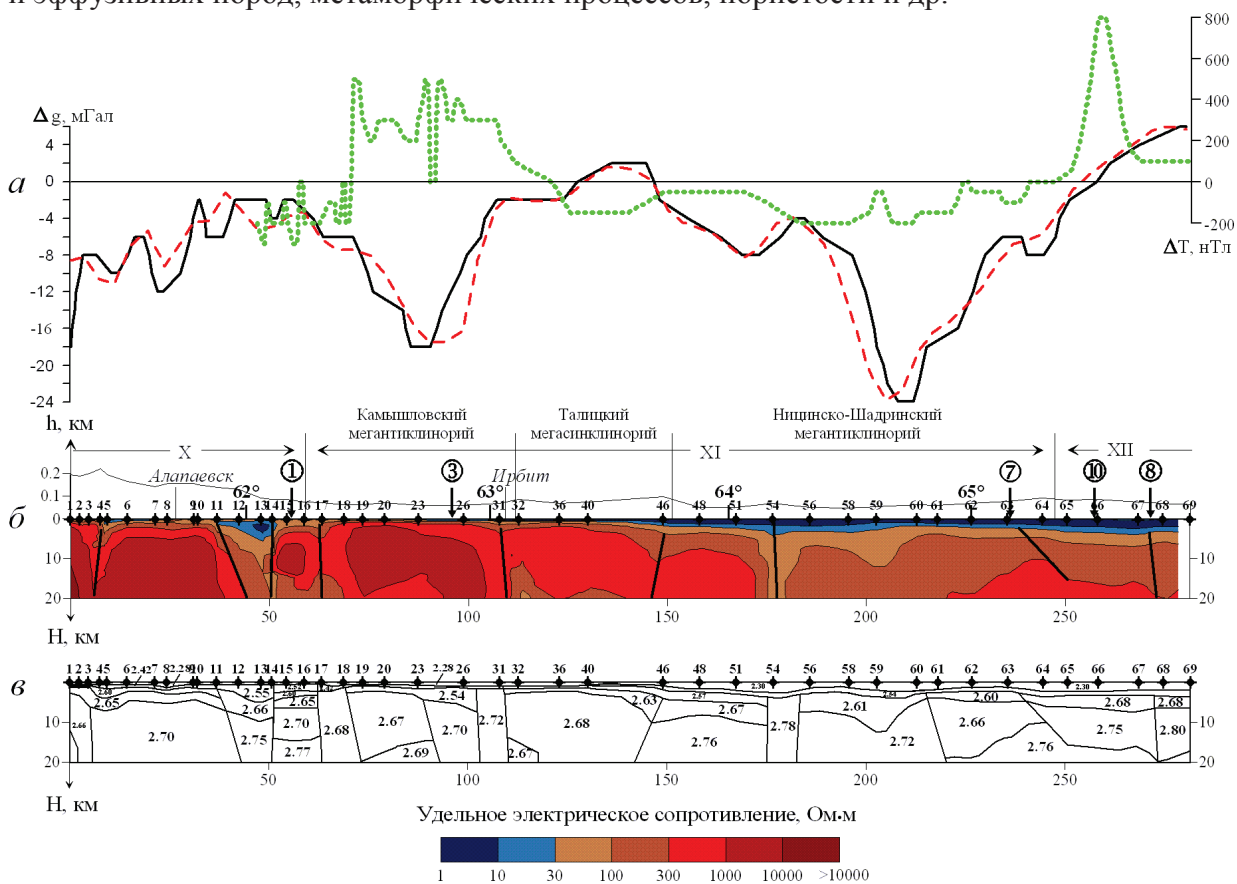


Рис. 3. Результаты 2D интерпретации

(а) – кривые аномалии силы тяжести (Δg): наблюдаемая кривая (черный), расчетная кривая (красный пунктир) и магнитного поля (ΔT); (б) – геоэлектрический разрез верхней части коры по Алапаевскому профилю по данным комплексных электромагнитных зондирований; (в) – плотностная модель

В модели четко отмечается блоковое строение литосферы, разделенное глубинными разломами. Пространственно рассматриваемую территорию можно разбить на III блока:

I- восточная окраина Восточно-Уральского прогиба (X на рис. 1, 2), представленная высокоомными палеозойскими породами Урала с сопротивлением более 1000 Ом·м и плотностью $2,60 - 2,75$ г/см³. Граница с Зауральским поднятием (XI на рис. 1, 2) маркируется зоной аномально высокой проводимости, сопровождающейся глубинными разломами, корнями уходящими в астеносферу. На графиках суммарной продольной проводимости она выделяется локальным участком резкого увеличения градиента электропроводности (Рис. 2 а);

II- переходная область в пределах Камышловского мегантиклинория и Талицкого мегасинклинория, к которой пространственно приурочено большинство выделенных на рис. 1 триасовых грабен-рифтов (Анохинский, Бичурский, Бобровский, Звериноголовский и др.), заполненных эффузивно-осадочными породами с проявлением базальтового вулканизма. Их

плотность оценивается в пределах $2,42 - 2,67 \text{ г/см}^3$, сопротивление $30 \div 300 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Камышловский мегантиклинорий представлен крупными гранитными массивами – Бичурским и Бобровским, которые отчетливо выражены в гравитационном поле, как область пониженных значений силы тяжести. Контактующим с гранитами гнейсовым комплексам отвечает сложная интенсивная положительная магнитная аномалия (Рис. 3 а). Талицкий мегасинклиний сложен терригенно-карбонатными породами со средней плотностью $2,66 \text{ г/см}^3$. Восточная граница этой области выделяется крутыми глубинными разломами, вплоть до астеносферных проводников и, вероятно, пространственно разделяет “открытый” Урал и Западно-Сибирскую платформу. Что находит свое отражение и на графиках суммарной продольной проводимости;

III- структуры молодой Западно-Сибирской платформы в пределах Ницинско-Шадринского мегантиклинория и частично Тюменско-Кустанайского прогиба. Высокоомная земная кора сиалического типа под вышележащими проводящими толщами в этой части профиля становится значительно менее мощной и погружается на глубины 5 и более километров. В пределах Ницинско-Шадринского мегантиклинория отрицательными аномалиями гравитационного поля (Рис. 3 а) четко выделяются крупные массивы гранитоидов (пп. 58-62 на рис. 1). Граница Зауральского поднятия и Тюменско-Кустанайского прогиба сопровождается цепочкой ультраосновных пород (серпентинитов), что свидетельствует о наличии разломной зоны глубинного заложения, которой отвечает интенсивная положительная магнитная аномалия (Рис. 3 а).

Таким образом, анализ эмпирической зависимости физических параметров (удельного электрического сопротивления, плотности и пористости горных пород) и комплексная интерпретация гравиметрических материалов и данных геоэлектрики дают возможность произвести петрофизическую и структурно-тектоническую трактовку полученных результатов. Построение согласованных электрогравитационных моделей значительно повышает информативность, позволяя получать ценные сведения о расслоенности и обоснованные оценки петроплотностных характеристик осадочного чехла и фундамента ЗСП до глубин порядка 20-30 км.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований ОНЗ РАН № 7 (№ 15-18-5-54).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тектоническая карта Урала (домезозойский складчатый фундамент) м-ба 1:1000000 / Ред. И. Д. Соболев. ПГО “Уралгеология”. - Свердловск, 1983.
2. Сурина О.В., Дьяконова А.Г., Редозубов А.А. Корреляция физических параметров при построении электрогравитационной модели на примере Среднего Зауралья // Известия вузов. Горный журнал. 2012. № 7. С. 94-101. ISSN 0536-1028.
3. Сурина О.В. Согласованные электрогравитационные модели строения земной коры по трем субширотным геотраверсам Среднего Зауралья // XIII Уральская молодежная научная школа по геофизике. Сборник докладов. - Екатеринбург: ИГф УрО РАН, 2012. С. 200-203.
4. Сурина О.В., Дьяконова А.Г. Принцип построения электрогравитационных моделей на основе электромагнитных данных // Известия вузов. Горный журнал. 2013. № 5. С. 163-170. ISSN 0536-1028.
5. Сурина О.В., Дьяконова А.Г. Разработка электрогравитационной модели верхней части литосферы по Серовскому профилю (Северный Урал) // Литосфера. 2015. № 6. С. 101-115.
6. Сурина О.В., Дьяконова А.Г. Разработка модели распределения плотности в верхних частях земной коры Тагильской мегазоны на основе электромагнитных и гравитационных данных (Вижайский профиль) // Уральский геофизический вестник. 2016. № 2. С. 71-79. ISSN 1991-0223.
7. Ананьева Е.М., Винничук Н.Н., Иванов К.С. и др. О плотности пород востока Урала и фундамента Западно-Сибирской платформы. - Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 114 с.

УДК 550.831+550.838+551.241

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИЙ ГЛУБИНЫ ФУНДАМЕНТА
И ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЗЕМЛИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ
СТРУКТУРНЫХ КАРТ***Тарантин Михаил Викторович**e-mail: gptmv@mi-perm.ru**ГИ УрО РАН, г. Пермь, Россия*

Аннотация. Продемонстрирован пример применения метода группового учета аргументов (МГУА) для построения модели связи глубины залегания кристаллического фундамента и физических полей Земли, измеренных на ее поверхности. Полученная модель использована для построения карты. Результат удовлетворительно соотносится с известными особенностями строения рассмотренной территории.

**STRUCTURAL MAP CONSTRUCTION USING CORRELATIONS OF BASEMENT
DEPTH AND PHYSICAL EARTH FIELDS***Michail Tarantin**e-mail: gptmv@mi-perm.ru**MI UrB RAS, Perm, Russia*

Abstract. An application of the group method of data handling for construction of the model relation of the basement depth and some physical Earth surface fields is presented. The obtained model was used for basement depth mapping. The results satisfy the known features of the investigated area's structure.

Измерения петрофизических величин и естественных полей Земли можно разделить на две большие группы – прямые измерения, когда наблюдается непосредственно искомая величина, и косвенные, когда искомая величина вычисляется по материалам выполненных работ. Косвенные же методы в свою очередь можно подразделить на функциональные и корреляционные. Корреляционные методы вычислений широко используются в геофизике, например, связь плотности пород и скорости распространения в них сейсмических волн используется при сопоставлении скоростных и плотностных моделей строения недр.

Представление информации в виде карты предполагает непрерывный ряд значений картируемой величины в соответствующих координатах. Измерения же любой величины, как правило, носят точечный характер, предполагающий дальнейшую интерполяцию, в том числе, для построения карты. Естественно, для различных величин сети точек измерений различны, и иногда корреляционные методы позволяют увеличить густоту сети данных.

Настоящая работа направлена на построение карты кристаллического фундамента на основе корреляционных связей его глубины с физическими полями Земли – гравитационным, магнитным, тепловым, рельефом земной поверхности и глубиной раздела Мохо. В качестве исследуемой выбрана территория на границе Кировской области, Пермского края и республики Удмуртия (рис. 1).

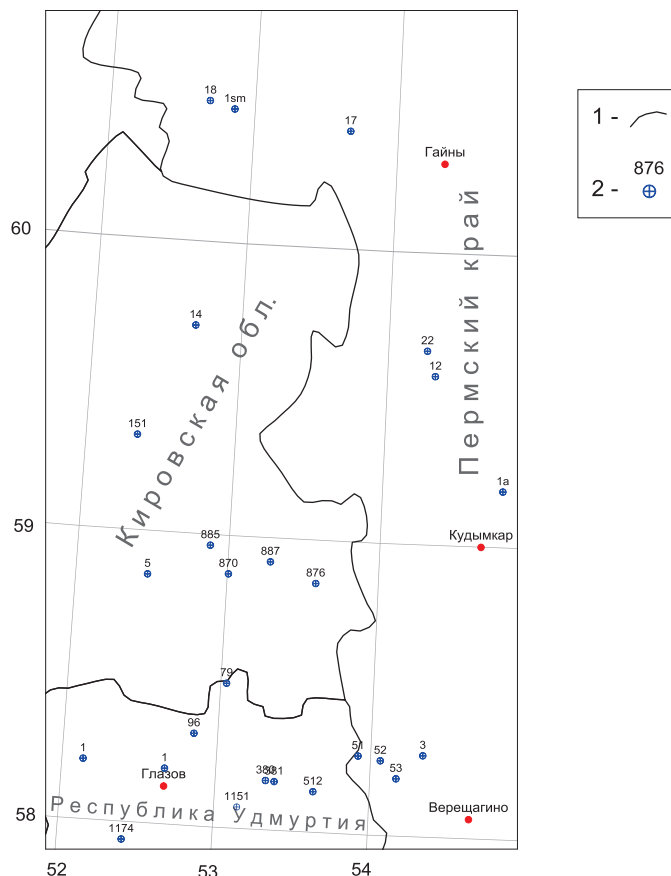


Рис. 1. Территория исследования: 1 – административные границы; 2 – скважины, вскрывшие фундамент, и их номера

Для построения карт фундамента был применен метод группового учета аргументов (МГУА), позволяющий построить нелинейную модель какого-то процесса, зависящего от нескольких параметров [3, 4]. В качестве независимых переменных были выбраны измеренные значения потенциальных полей Земли – гравитационного, магнитного, теплового потока [2], рельефа земной поверхности; кроме них, использовались глубины раздела Мохо [7] и модуль полного горизонтального градиента гравитационного поля. Все эти величины имеются в виде карт. По ряду скважин, то есть в некоторых точках, были взяты значения искомой величины – абсолютные отметки поверхности кристаллического фундамента. Полученные модели связей всех параметров в точках (скважинах) были использованы затем для построения площадных вариантов распределения искомой величины, то есть для построения карты поверхности фундамента. Логично ожидать, что чем плотнее и равномернее по будущей площади распределены скважины, тем надежнее и, возможно, адекватнее результирующие построения.

Полученные карты можно сравнить с построениями, выполненными другими авторами [1, 5, 6]. Согласно этим работам для исследуемой территории характерно общее восточное погружение границы, наличие крупной впадины (Калтасинского авлакогена) к юго-востоку и локального приподнятого участка (Коми-Пермяцкого свода) в северной части.

Имеющиеся данные позволяют построить в точках расположения скважин нелинейную математическую модель связи одной величины с несколькими другими, а затем полученную связь использовать для построения двумерной карты. Данные в точках скважин являются, следовательно, «обучающей» выборкой для используемого метода. Отметим также, что выбранные исходные данные не обнаружили статистически значимой связи между собой, коэффициенты корреляции не превысили 0,2.

В качестве типа преобразующей функции была выбрана нелинейная функция двух переменных вида (1)

$$f(x_1, x_2) = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_1 \cdot x_2, \quad (1)$$

а среди всего многообразия реализаций метода группового учета аргументов – вариант релаксационно-итеративного алгоритма, по своей сути напоминающий метод последовательного приближения. При таком подходе к вычислениям при усложнении модели Y к ней добавляется одна новая переменная из исходного набора X :

$$Y^{n+1} = f(Y^n, X). \quad (2)$$

Вычисления, как следует из названия метода, проводятся поэтапно, причем в данном случае количество этапов заранее не известно и определяется критерием качества модели. В настоящей работе критерий качества был выбран комплексным – значение коэффициента корреляции результата моделирования и известных данных и максимальная абсолютная ошибка. Очевидно, что лучшим считается вариант с максимальным коэффициентом корреляции при минимальной абсолютной ошибке.

На первом этапе происходит перебор всех пар исходных переменных и подстановка их в модельную функцию. Несколько моделей Y (в данной работе – четыре), обеспечивающих наилучшее качество модели на текущем этапе, принимаются за дополнительные переменные и присоединяются к исходному набору (X_i). На следующих этапах переменные из расширенного таким образом набора вновь попарно подставляются в модельную функцию, и она вычисляется снова. Очевидно, что при этом имеет смысл вычислять лишь значения функции для пар вида (X_i, Y_j^{n-1}) , то есть задействуя одну переменную исходного набора и одну – с предыдущего этапа. Как только качество модели перестает повышаться, процесс можно прерывать во избежание накопления ошибок. На практике процесс останавливается, когда увеличение качества становится незначительным. Поскольку на каждом этапе сложность модели увеличивается на единицу, номер заключительного этапа определяет сложность результирующей модели.

Полученная модель является не физической, а вычислительной [3], однако позволяет выделить определяющие факторы (переменные) для исследуемого процесса. Следует отметить, что окончательная результирующая модель не обязательно дает лучшие результаты на каждом из этапов подбора, именно поэтому целесообразно рассматривать несколько лучших моделей на каждом этапе. На рис. 2 представлены зависимости комплекса критериев качества – коэффициента корреляции и максимальной разности результатов моделирования и скважинных данных лучших четырех моделей от сложности. Как видно, начиная с некоторого шага абсолютная ошибка моделирования начинает устойчиво расти; график же коэффициента корреляции не имеет каких-либо особенностей. Вероятно, это связано с невозможностью удовлетворения условий в нескольких точках из имеющихся. По этой причине было решено рассматривать в качестве наиболее адекватной модель с минимальной абсолютной погрешностью (соответствующий этап отмечен на рис.2 штриховой линией).

В результате работы используемого метода в вычислительную схему вошли все выбранные переменные. Полное выражение для F записать очень сложно ввиду не только большого количества переменных, но и сложности базового выражения (1). Исходные переменные в данном случае никак не коррелируют с вычисляемой величиной – соответствующие коэффициенты не превышают 0,35. Однако, уже на втором этапе модель имеет критерий качества $R=0,817$, а полученная при этом карта $Y^2 = f(Y^1, X)$ обладает основными чертами результирующей. Дальнейшее развитие модельного представления приводит лишь к уточнению морфологии поверхности.

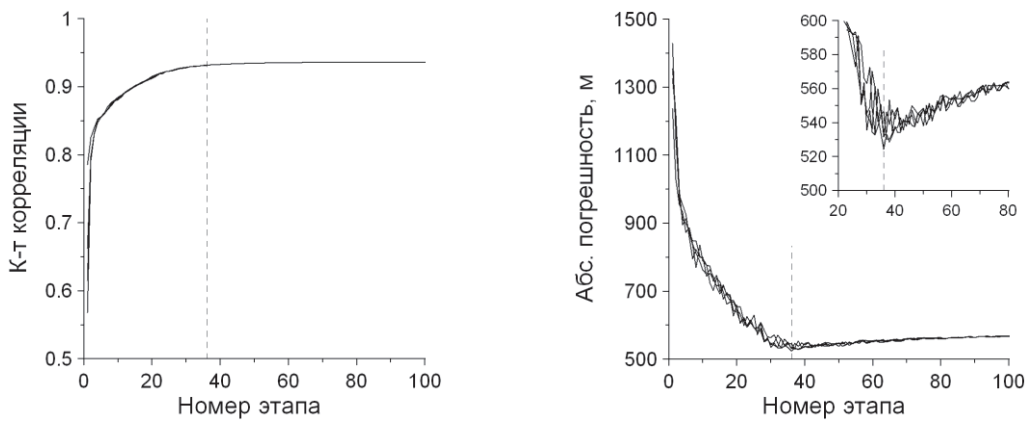


Рис. 2. Изменение характеристик качества модели при ее усложнении

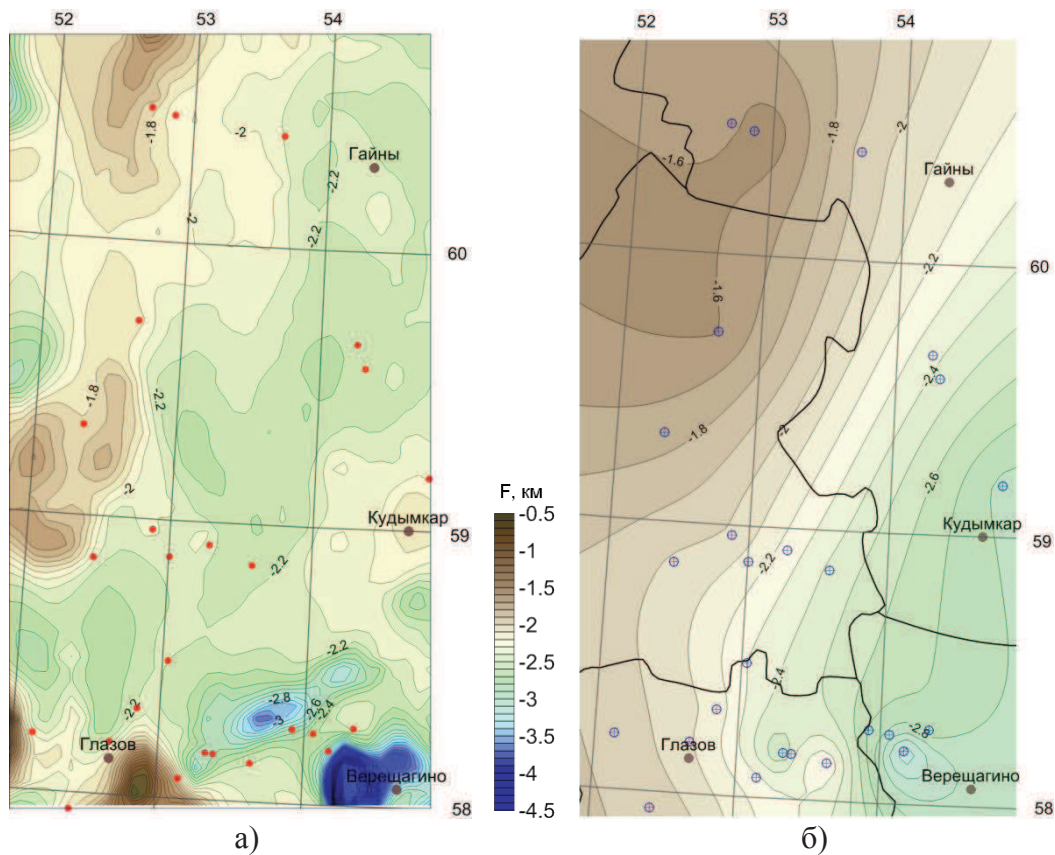


Рис. 3. Структурные карты поверхности фундамента, построенные с применением МГВА (а) и по скважинным данным (б)

Как видно, результирующая карта (рис. 3а) отражает основные особенности строения рассматриваемой территории, отражающиеся и в картах других авторов [1, 5, 6]: северо-западное погружение отражает наличие Казанско-Кажимского авлакогена, на карте отмечаются приподнятые участки Коми-Пермяцкого свода на севере и западе, Ярского купола Татарского свода на юго-западе, Кезско-Сарапульской и Верещагино-Куединской погруженных зон на юго-востоке территории. Карта же, построенная непосредственно по данным скважин (рис. 3б), отражает лишь общую тенденцию юго-восточного погружения границы.

Таким образом, построенная на основе корреляционных связей карта поверхности фундамента обладает большей детальностью, а использованная обучающая выборка может считаться представительной для данной территории. Последнее, вероятно, связано с равномерностью распределения скважин по площади и единообразием геологического

строения территории. Корреляционные построения такого рода могут быть альтернативой функциональной интерполяции в случае, когда сеть реперных точек редка по сравнению с размерами площади и может описать лишь «региональные» изменения наблюдаемой величины.

Работа выполнена при поддержке проекта УрО РАН № 15-18-5-23 и гранта РФФИ № 17-45-590302 р_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоконь Т.В., Горбачев В.И., Балашова М.М. Строение и нефтегазоносность рифейско-вендских отложений востока Русской платформы – Пермь: ИПК «Звезда», 2001. – 108 с.
2. Булашевич Ю.П., Щапов В.А. Геотермическая характеристика Урала / в кн. Применение геотермии в региональных и поисково-разведочных исследованиях. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1983, с. 3-17.
3. Ивахненко А. Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. – Киев: Наук. думка, 1982. 296 с.
4. Муравина О. М. Возможности метода группового учета аргументов при статистической обработке петрофизических данных // Вестник ВГУ, серия: геология. 2009. № 2. с 150-154.
5. Новоселицкий В.М., Проворов В.М., Шилова А.А. Физические свойства пород осадочного чехла севера Урало-Поволжья – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1985. 133 с.
6. Проворов В.М. Состояние и основные результаты региональных нефтепоисковых работ в Удмуртской республике // Геология нефти и газа. 2005. № 3. С.2-11.
7. Grad M., Tiira T., ESC Working Group. The Moho depth map of the European Plate // Geophys. J. Int., 2009, т. 176. с. 279-292. doi: 10.1111/j.1365-246X.2008.03919.x

УДК 622.02:537

**ЛИТОЛОГО-СТРУКТУРНЫЕ И ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
ИЗВЕСТКОВЫХ МАССИВОВ КАК СПЕЦИАЛЬНЫЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ
ФАКТОРЫ СЫРЬЕВОЙ ОЦЕНКИ МИНЕРАЛЬНОЙ БАЗЫ СОДОВОГО
ПРОИЗВОДСТВА (НА ПРИМЕРЕ ЧАНЬВИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)**

*Тимохин Александр Владимирович
e-mail: timohin.igduran.geo@mail.ru*

Институт Горного Дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. Электрометрия в объемной постановке раскрывается как инструмент измерений и петрофизической, структурно-сырьевой оценки известкового массива уникальной чистоты и сохранности. Прикладная интерпретация позволила определить параметры содержания полезного ископаемого и потенциал извлечения при действующей технологии отработки и обогащения. Спрогнозировано использование измеренных петрофизических свойств, как эталонных при исследованиях и сырьевой оценке карбонатных оруденений и известковых массивов различного промышленного назначения, как маркеров геологических процессов.

**LITHOLOGICAL, STRUCTURAL AND PETROPHYSICAL CHARACTERISTICS OF
THE CALCAREOUS MASSIFS AS A SPECIAL FUNDAMENTAL FACTORS OF THE
COMMODITY EVALUATION OF MINERAL BASES SODA PRODUCTION (FOR
EXAMPLE CHANVISKOGO DEPOSITS)**

*Alexander Timokhin
e-mail: timohin.igduran.geo@mail.ru*

Institute of Mining of Ural Branch of Russian Academy of Science, Ekaterinburg, Russia

Summary. Electrometry is proposed as a tool for petrophysical properties, quality and parameters of limestone production in the field of unique clean. Quantitative interpretation allowed to define the content and mineral extraction under the current processing technology of rock mass. Proposed measured petrophysical properties to use as the reference for the primary evaluation of carbonate mineralization and lime deposits for various purposes and as marks geological processes.

Скально-терригенные, карбонатные массивы предуральских и зауральских сводовых поднятий, так называемых «краевых пенепленов», составная часть и морфологическая неотъемлемая особенность горных систем. Вместе с общераспространенными ископаемыми в их черте на Урале сконцентрированы месторождения магнезитов, бокситов, углей и, собственно, известняков. Генезис залежей магнезитов и бокситов связывается со вторичными магмо-процессом и метаморфизмом, в углях отмечен только метаморфизм. Пенепленам свойственны нагорные геодинамические условия, локальные и региональные. Вещественные преобразования, тектонические условия и петрофизические следствия крайне выгодно исследовать, имея доступ и средства изучения исходных известковых массивов, как на примерах измерений образцов, так и горных объемов. Высокочистым известнякам, можно предполагать, что свойственен минимум их изменений за счет вторичных процессов, следуемых за геологическим «временем» осадконакопления. Залежи, как осадочные образования, по термодинамическим р-, Т- условиям приравниваются низкотемпературным. Существенно, что всегда в них имеющиеся окаменелости (остатки фауны и флоры) дают основания геологической датировки образования и вторичных процессов [1-3].

Цель работы – измерение электропроводности и раскрытие связи с составом, направленные на решение задач отдельного предприятия, позволяют прогнозировать свойства общей спектральной природы [4]. Уникальная чистота известняка на Чаньвинском

месторождении – фактор предельных свойств, как универсальных эталонов исследований и сырьевой оценки карбонатных оруденений и известковых массивов любого промышленного назначения.

Месторождения известняка располагаются на разном удалении от главной, магматической гряды Урала, вдоль западного и восточного склона. Известковое сырье востребовано, насчитывается до 8 видов его применения: в качестве флюсов в металлургии, корректирующих добавок к габбро, диабазу минераловатного клинкера, цементов, в содовом производстве и др. В силу морфологии, геодинамических условий и нагорного генезиса ресурсная часть (CaCO_3) включает примеси, фракции или контактирует с фациями определенных составов. Известны: доломитизация (MgO), ожелезнение (Fe), глинизация (Al_2O_3 , как земельная форма- глинозем, или осадочный грунт- закарстованность), углистые включения. Предуралье и зауралье, в силу промышленных свойств известковой минеральной базы, отчасти специализируются [2]. Например, березниковская минеральная база (Чаньва, Пермский край) и у г. Стерлитамак (Башкирия) – центры содового производства; г. Сухой Лог (Свердловская область) – промышленная база цементной продукции.

Рудничная методика электрометрии. Информацию о литологическом строении получают в ходе детальной разведки, включающей бурение (по общей сети 200x200, в рудных телах 100x100, реже 50x50 метров) и опробование. Эксплуатационной разведка: геофизические измерения по сгущающей сети обеспечивают планирование, обоснование схем отработки. Новая постановка петрофизических измерений и металлометрической интерпретации дает принципиальные возможности высокоточной сырьевой оценки, основанию селекции горной массы по качеству, в решении ряда задач корректировки переделов и обогащения [3-4].

Методику рудничной электрометрии и подходы объемной разведки обеспечивают наблюдения в идентичной среде средне- и мало-глубинного поля; зондирования и съемки по площади; учет неоднородностей. Эл. зондирования строго по сети скважин не выполняются. Линии всегда вблизи или пересекают геологические контакты. Установки ВЭЗ размещаются на дистанции от аномалий, выявляемых по рисунку опережающей съемки площадного срединного градиента ПСГ. Тогда, влияние химических изменений можно наблюдать, и по линейному (латеральному) распределению сопротивления на профилях ПСГ, пересекающих контакты, и на графиках зондирований [1, 3- 4].

Линии АВ в ПСГ вдоль блоков в первых моделях равноудалены от откосов. Влияние водных свойств на измерения должно быть равным. Карбонатным породам свойственен трещинно-карстовый тип фильтрации; дренаж – одна из функций откосов, формируемых в ходе горных работ. Практически осушенной оказывается область у поверхности – область разрыхления. Но глубже известняк естественной плотности, не измененный взрывами при отбойке верхних и соседних блоков, природную влажность пониженных значений сохраняет. Потому, линии располагались на дистанции от бермы, ограничивающей откос, тем большей, чем больше высота блока. И, напротив, влияние и скачки влажности можно изучать, если одна из линий ВЭЗ в крест уступа пересечет блок на участке его максимальной высоты.

Результаты измерений. В границах карьера, на 3-х горизонтах: 225, 235, 245 были изучены горные блоки на площади 19.05 га. Крупные участки различного засорения были выделены в ходе измерений прошлых лет [2]. Методика ПСГ позволила локализовать зоны равномерно глубинного распределения сопротивления. В их пределах при всех уровнях глинизации были измерены параметрические ВЭЗ, часть которых принята эталонными, в силу параллельных нисходящих графиков – обязательное условие интерпретационной схемы (рис. 1). Способ вычисления состава и используемые уравнения «теории поля» изложены ранее в работах [1, 3-4]. Линейно-угловые размеры протяженных линий ПСГ, выполненных на втором этапе, выдерживались для недопущения выхода кажущихся сопротивлений за пределы параллельного диапазона. Измерения (шаг 18 м) и расчеты использовались при составлении итоговой карта изолиний глинизации ($\sum C_{\text{глин}}$, %).

Суммарное засорение составило 20.96 %. Засорение до 5 % зафиксировано на 12.4 % территории, от 5 до 15 % - на 31.6%, от 15 до 25 – на 23.6%, от 25 до 40 – на 19.9%, от 40 до 70 – на 12.5%. Перерабатывается горная масса с содержанием глин не более 25 %. Было бы ошибкой списывать в отходы 19.9 + 12.5 = 32.4 % обмеренных объемов (~ 3.38 млн тонн). Продуктную массу развала формирует отбойка при буровзрывных работах БВР. В линейно неоднородных блоках имеет место продольная селекция, выкладка разных составов. Если доля глин больше предела обогатимости (очистения), горная масса вывозится в отвал, потери относят на технологическое разубоживание. Процесс зависит от углов откоса (физико-механических свойств блока), от функции их отличий от углов плоскостей контактов «руда-порода». Потери рассчитываются и нормируются [5]. Для расчетов исходными данными выступают параметры залегания и локализации глинистых образований.

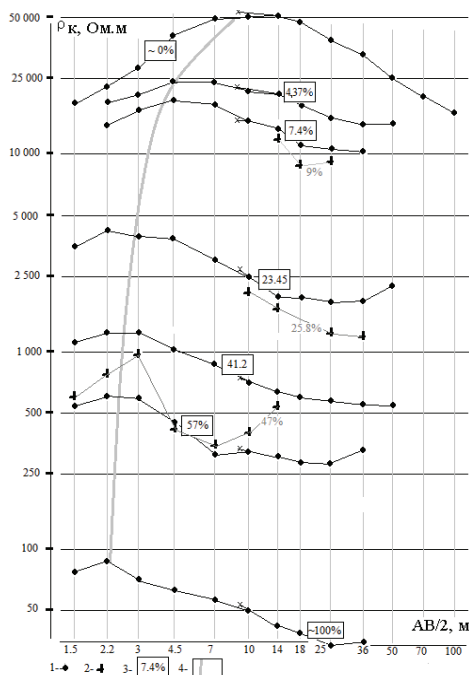


Рис. 1. Полевые ВЭЗ при различной глинизации, равномерной в объеме блока.

1- точки сопротивлений r_k (Ом.м) на графиках ВЭЗ, измеренных на блоках равномерной «засоренности»; 2- то же на «кусочно»- однородных блоках; 3- заглинизованность блока %, 4- линия глубин подошвы слоя разрыхления при БВР на блоках различной глинизации.

Литолого-структурная интерпретация. Восточный борт карьера («висячий бок» залежи) на контакте с углистыми породами слагает темно-цветная «оторочка». Здесь известняк имеет примеси в земельном виде: доломитизирован и ожелезнен, содержит глинозем. К западу все участки продуктивные: осветленный известняк. Куски при отбойке сохраняют форму чистых кристаллов- скошенный параллелепипед. Имеются окаменелости морской фауны девонского периода. Фактор засорения – зоны повышенного и высокого содержания глин ПВСГ. Термин введен авторами работы [2]. Скальный массив – слоистая толща падением 26.5° на восток. Короткая тыльная грань, свойственная идеальному кристаллу $CaCO_3$, наклонена на запад под углом 53° . По ней между глыбовыми и малыми, скально-плитчатыми «формами» развиты полувертикальные трещины. Их заполняют зоны ПВСГ при постоянной локализации глин: в слое №1- с содержанием 1 %, в №2- с 20.2 %, в №3- с 50%, в №4- с 90%. В результате интерпретации получены инженерно-геологические разрезы, характеризующие засорение массива (рис.2). В интерпретации использовались данные съемки ПСГ и ВЭЗ (рис. 3).

Вычислены наклоны «плоскостей отрыва/ отражения» при БВР. Рост глинизации формирует переход из области единственно упругой деформации в известняках № 1, до упруго-пластической и пластической в загрязненных № 2, № 3, № 4. Глубина разрыхления от действия БВР, как показала интерпретация первых сопротивлений на графиках ВЭЗ (рис.1),

понижается № 1=5.65 м; № 2=3.1 м, № 3=2.3 м, № 4=1.8 м. Если в скальном массиве угол отрыва (откоса) совпадает с углом падения «короткой» грани, т.е. для слоя № 1 он составляет 53° – следствие кристаллического строения и залегания. То в слоях 2, 3, 4 при повышении пластической компоненты растет и угол: №2= 67.54° , №3= 72.95° , № 4= 76.5° .

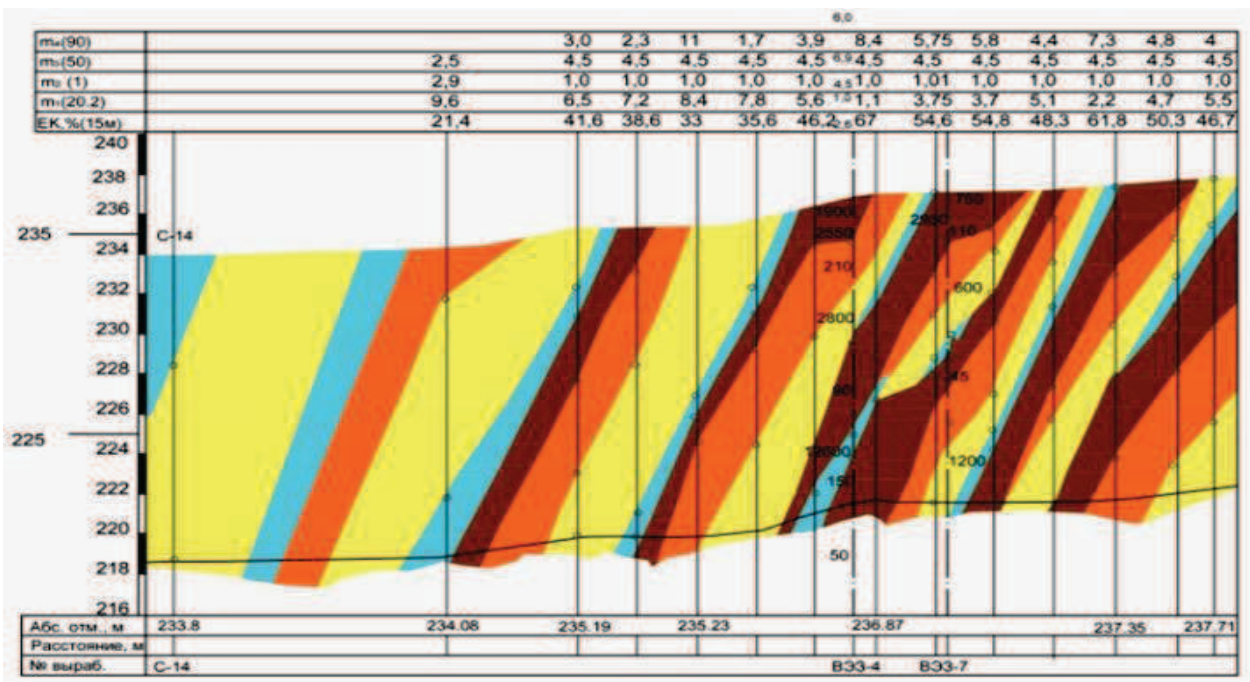


Рис. 2. Инженерно-геологический разрез участка максимального загрязнения по данным количественной интерпретации измерений по методике ПСГ и ВЭЗ (2015 г.).

Цифры вдоль профиля ПСГ: $m_i(90)$ - мощность, м.; индекс- номер слоя ПВСГ от 1 до 4; в скобках содержание глины, %; $\Sigma C_{г-15}$ - содержание глины в разрезе до глубины 15 метров, %. Направление- запад слева, восток справа; минимальное расстояние между измерениями- шаг= 6 метров. Обозначение цветом приводится на рисунке 3.

Выводы. 1. На изученной площади ресурс CaCO_3 составляет 79.04 объемных %. Отходы в отвал составят 27.82 %, включая 13.61 % из забоев и 14.21 % с площадки предобогащения. Чистый CaCO_3 составит 69.2174 % от добытой горной массы, а от имеющегося ископаемого 87.57 %. Геометрическая интерпретация по данным электрометрии показателей залегания контактов с ПВСГ, углов наклона откосов, формируемых взрывом, позволила выполнить высокоточные расчеты естественного засорения и технологических потерь.

2. Термин «закарстованность», выражающий естественное «засорение», не корректен. Слои глины «развиты» в плоскостях кристаллической структуры. Признаков карстопроявлений: суффозии или литологического типа на Чаньвинском месторождении не имеется [6, 7].

3. Аномальные сопротивления чистого известняка идентичны измеренным в условиях бокситового рудника (СУБР) [1, 3-4]. От уровня практически «сухого» известняка в 50 000 – 70 000 Ом.м понижение к уровню 12000- 14000 обусловлено влажностью в области глубин, не затрагиваемой взрывами при отбойке верхних и соседних горизонтов (блоков).

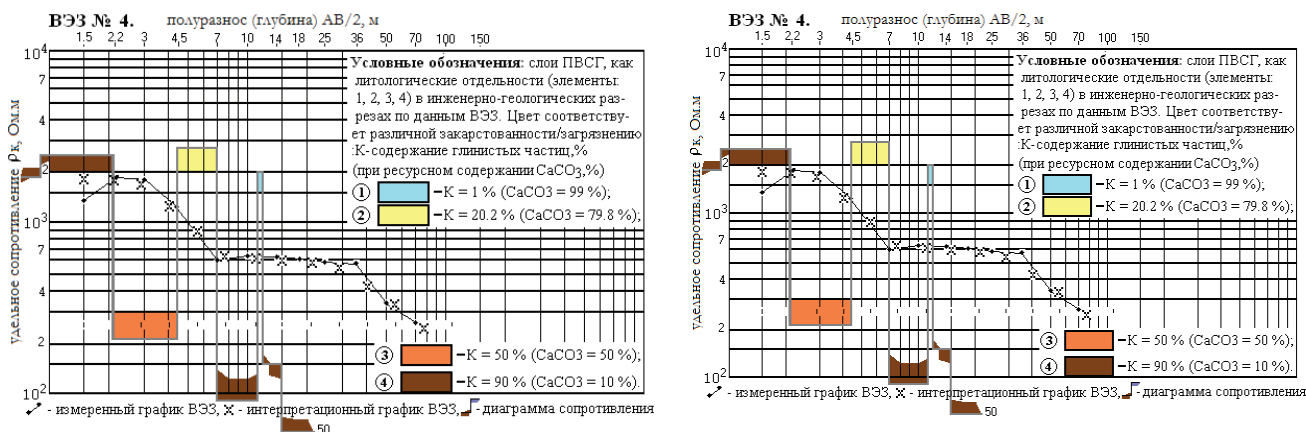


Рис. 3. Количественная интерпретация полевых графиков ВЭЗ (№№ 4, 7).

Результаты исследования минеральной базы содового производства подкрепляют идею единственности петрофизических решений металлометрического анализа широкого перечня магматических и осадочных месторождений. Диапазоны эл. свойств известняков уникальной чистоты и степени сохранности, методы и подходы измерений, интерпретации геофизических данных – базовый пример, раскрывающий возможности изучения и сырьевой оценки карбонатных месторождений широкого перечня промышленного использования, фундаментальных исследований петрофизических маркеров геологических процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петрофизическая основа применения электротрии на карбонатных массивах месторождений бокситов (ОАО «СУБР») и магнезитов (ОАО «Комбинат магнезит») / А.В. Тимохин, Ю.В. Лаптев // Горный информационно-аналитический бюллетень.– 2007.- № 3.- С. 267 – 271.
2. Кудряшов А. И. Чаньвинское месторождение известняков / Кудряшов А. И., Фомин В. И., Колесников В. П. – Пермь: [Тип. купца Тарасова], 1999. – 82 с.
3. Геометризация оруденений с применением электротрии (на примере месторождений огнеупоров и бокситов) / А.В. Тимохин, Ю.В. Лаптев, Р.С. Титов, А.М. Яковлев // Изв. вузов. Горный журнал. – 2012.– №6.– С. 94- 102.
4. Петрофизическая характеристика и геохимическая регистрация (металлометрический принцип) рудных полей, представленных различными гео-типами Mg, Al, Fe-минерализации, при разномасштабной сырьевой оценке / А.В. Тимохин, Ю.В. Лаптев, В.Д. Кантемиров, Р.С. Титов, А.М. Яковлев // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей: сб. VIII науч. чтен. памяти Ю.П. Булашевича./ИГФ РАН.- Екатеринбург, 2015.- С. 326- 330
5. Типовые методические указания по нормированию потерь твердых полезных ископаемых при добыче/ Госгортехнадзор СССР – М., 1972. – 154 с.
6. Соколов Д.С. Основные условия развития карста.- М.: Госгеолтехиздат, 1962.- 322 с.
7. Карстогенный режим фильтрации как фактор полезного сигнала электротрии для регистрации геометрии пустот и сплошности / Тимохин А.В., Лаптев Ю. В., Кантемиров В.Д., Титов Р.С., Яковлев А. М. // СПб: Инженерная защита. - 2015.– спецвыпуск №1.– С. 116- 126.

УДК 537.636: 577.3

**КАРТА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННОГО МАГНИТНОГО ШУМА
ЕКАТЕРИНБУРГА И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ***Тягунов Дмитрий Сергеевич**e-mail: tds-07@mail.ru**Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН, Екатеринбург, Россия*

Аннотация. Представлена карта-схема распределения техногенного магнитного шума по площади Екатеринбурга и в его окрестностях. Показано, что магнитный шум Екатеринбурга сосредоточен в его центральных районах и по амплитуде может достигать ~1500 нТл. Отдельно приведены значения амплитуды техногенного магнитного шума, измеренные вблизи высоковольтных линий электропередач и метрополитена.

**A MAP OF THE DISTRIBUTION OF MAN-MADE MAGNETIC NOISE OF
EKATERINBURG AND ITS ENVIRONS***Tyagunov Dmitriy**e-mail: tds-07@mail.ru**Institute of geophysics Ural Branch of Russian Academy of sciences, Ekaterinburg, Russia*

Summary. The paper presents a map of the distribution of man-made magnetic noise of the central part of Ekaterinburg and its surroundings. It is shown that the magnetic noise of Ekaterinburg concentrated in the central areas and the amplitude can reach ~1500 nT. Shown separately amplitude man-made magnetic noise measured near high-voltage power lines and underground stations.

Исследованию низкочастотного электромагнитного шума техногенного происхождения в последнее время стали уделять большое внимание, особенно в промышленных городах [1, 2, 5, 8, 9]. В связи с интенсивным ростом крупных городов резко увеличивается их энергетическая насыщенность, связанная с развитием всех видов электрического транспорта, резким увеличением числа автомобилей, увеличением жилого сектора в виде плотной застройки, развития городской инфраструктуры и т.д. В результате этого уровень электромагнитных излучений в современных городах значительно увеличился во всем диапазоне частот. Все это привело к тому, что низкочастотные электромагнитные поля не только создают помехи в работе чувствительной электронной аппаратуры, но и могут привести к ее полной неработоспособности. Кроме этого, техногенное электромагнитное излучение низких частот влияет на работу геомагнитных обсерваторий, искажая изучение естественных геомагнитных вариаций [4]. Имеется сложность применения электромагнитных методов в инженерной геофизике, проводимые в районах сильно зашумленных техногенным электромагнитным шумом. Поэтому изучение распределения магнитного шума низких частот техногенного происхождения является актуальной проблемой, особенно, крупных промышленных городов. Техногенный магнитный шум, создаваемый различными электромагнитными источниками таких крупных городов, как Екатеринбург, преимущественно сосредоточен в области частот 0.01-100 Гц и многократно превышает по амплитуде вариации геомагнитного поля в данном диапазоне частот [6].

Для измерения составляющих вектора магнитной индукции был использован датчик магнитного поля, работающий на основе магнитомодуляционного преобразования сигнала с его автопараметрическим усилением. Диапазон частот измеряемого магнитного поля 0.01 Гц ÷ 200 Гц. Порог чувствительности в указанном диапазоне частот – не более 0.1 пТл при коэффициенте преобразования 62.05 мВ/нТл. Выходные сигналы датчика магнитной индукции подавались на многоканальный 24-х разрядный аналогово-цифровой

преобразователь (АЦП), выход которого соединен с переносным компьютером, управляющим работой АЦП и сохраняющим данные измерений в цифровом виде в отдельном текстовом файле [3, 6].

При измерении магнитной индукции городского электромагнитного шума одна из горизонтальных компонент, V_x , была направлена по магнитному меридиану, а составляющая магнитной индукции V_z устанавливалась по вертикали с помощью уровня. Датчик располагался на немагнитном штативе вдали от явных локальных источников электромагнитного излучения. Координаты точек измерения фиксировались с помощью GPS-приемника. Время регистрации шумового сигнала в каждой точке измерения составляло 30 минут. Для построения карты распределения техногенного магнитного шума по площади Екатеринбурга и в его окрестностях было проведено около 100 измерений.

Построение карты техногенного магнитного шума выполнено в геоинформационной системе Golden Software Surfer 8.0 с применением геостатистического метода (kriging). Для моделирования были взяты средние значения модуля магнитной индукции $|V|$ каждой точки измерения, которые определяются по средним значениям амплитуд компонент магнитной индукции V_x , V_y , V_z . При помощи векторного графического редактора Corel Xara 2.0 построенное в геоинформационной системе распределение магнитного шума было наложено на карту города. При этом, за основу была взята карта Екатеринбурга в масштабе 1:600000.

Чтобы не исказить общее распределение техногенного магнитного шума по площади города, значения амплитуды $|V|$ от силовых линий электропередач (ЛЭП), метрополитена и железнодорожного транспорта при построении карты не учитывались. Магнитный шум, создаваемый электропоездами метро, имеет импульсный характер, амплитуда которого от пика до пика по горизонтальным составляющим магнитной индукции может составлять до 6000 нТл, вертикальной составляющей до 10000 нТл, $|V|$ - до 10500 нТл [7]. Помехи, вызываемые ЛЭП напряжением 500 кВ, создаются в основном за счет частоты 50 Гц и ее гармоник. На расстоянии ~5 м от ЛЭП амплитуда магнитного шума по горизонтальным составляющим может составлять до 1000 нТл, вертикальной составляющей до 2500 нТл, $|V|$ - до 2700 нТл. С увеличением расстояния от ЛЭП амплитуда магнитного шума резко падает и может составлять до 50 нТл по горизонтальным составляющим, до 100 нТл по вертикальной составляющей и модулю магнитной индукции.

Полученная в результате измерений карта распределения городского техногенного магнитного шума Екатеринбурга представлена на рис. 1.

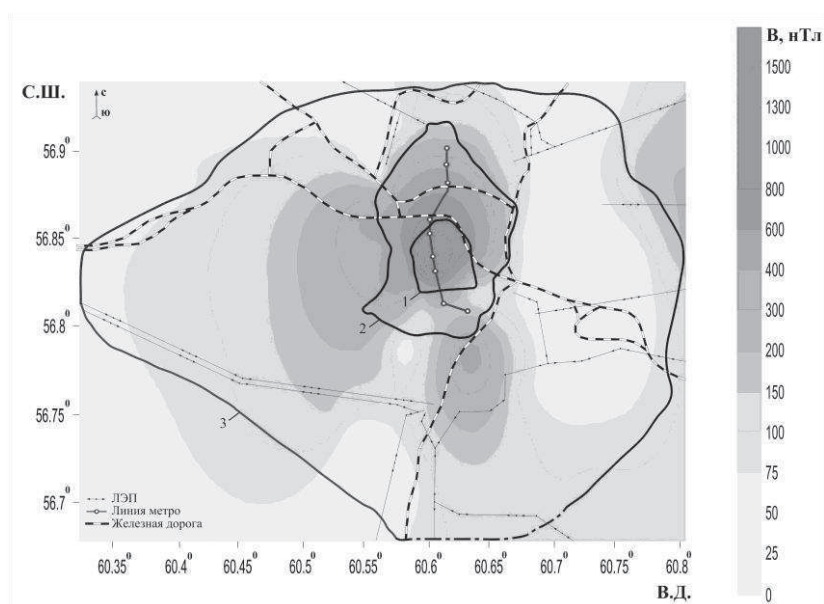


Рис. 1. Карта распределения техногенного магнитного шума по площади Екатеринбурга. 1 – центр Екатеринбурга; 2 – объездная дорога города; 3 – ЕКАД (пунктирной линией обозначен отсутствующий в настоящее время участок дороги)

В качестве отдельных источников электромагнитного шума на карту были нанесены силовые ЛЭП напряжением 500 кВ, расположенные в пределах кольцевой автомобильной дороги, линия метрополитена и железнодорожная дорога. Видно, что магнитный шум распределен по площади исследуемой территории неравномерно. Создаваемый промышленным городом магнитный шум, сосредоточен в основном в его центральных районах и в окрестностях объездной дороги, среднее значение амплитуды которого по горизонтальным составляющим магнитной индукции B_x , B_y составляет от 150 нТл до 500 нТл, вертикальной B_z - до 800 нТл, $|B|$ - до 1500 нТл. Такие значения амплитуды магнитного шума, полученные в результате измерений, обусловлены тем, что в этих участках город потребляет самое большое количество электроэнергии, поскольку на этой территории расположены производственные и перерабатывающие предприятия и организации, проходят линии электропередач постоянного и переменного тока, железнодорожные линии электрической тяги высокого напряжения. Именно там сосредоточен городской и пригородный автотранспорт, который при перемещении или при вращении создает изменение магнитного поля. Помимо этого, в пределах центральных районов города и их окрестностей имеется энергоемкая инфраструктура сферы услуг, крупные жилые дома и т.п. Все это требует потребления огромного количества электрической энергии. За пределами объездной дороги, в окрестностях ЕКАД, мощные источники промышленных помех отсутствуют, поэтому городской магнитный шум там заметно меньше (рис. 1).

Не смотря на то, что техногенный магнитный шум крупных промышленных городов создается совокупностью всех техногенных источников, отдельные локальные источники этого шума могут значительно превышать среднюю интенсивность магнитного шума центральной части города.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-35-60004.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

18. Беляев Г.Г., Чмырев В.М., Клейменова Н.Г., Козырева О.В. Электромагнитный ультранизкочастотный фон мегаполиса (г. Москва) // Геомagnetизм и аэрономия. 2003. Т. 43, № 5. С.697-701.
19. Колесник А.Г., Колесник С.А., Бородин А.С., Шошин Е.Л., Федичев М.А. Электромагнитный фон городских территорий диапазона промышленных частот // Вестн. Том. гос. ун-та. 2007. № 297. С.161-164.
20. Сокол-Кутыловский О.Л. Автопараметрический датчик магнитной индукции // Датчики и системы. 2009. № 1. С.37-39.
21. Сокол-Кутыловский О.Л., Тягунов Д.С. Влияние техногенных магнитных полей на геомагнитные измерения в обсерваториях // Измерительная техника. 2012. № 9. С.58-60.
22. Спивак А.А., Локтев Д.Н., Рыбнов Ю.С., Соловьев С.П., Харламов В.А. Геофизические поля мегаполиса // Геофизические процессы и биосфера. 2016. Т. 15, № 2. С.39-54.
23. Тягунов Д.С., Сокол-Кутыловский О.Л. Спектральное распределение городского магнитного шума в диапазоне низких частот // Вестник. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2016. № 3(31). С.58-64.
24. Тягунов Д.С. Метрополитен как один из источников электромагнитного шума // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. Ч. 4, № 7(49). С.159-163.
25. Уткин В.И., Тягунов Д.С., Сокол-Кутыловский О.Л., Сенина Т.Е. Загрязнение окружающей среды в связи с воздействием электромагнитного поля на частотах 0.05-20 Гц // Геоэкология. 2010. № 4. С.106-112.
26. Уткин В.И., Тягунов Д.С. Пространственное распределение городского техногенного магнитного шума в частотном диапазоне 0.01 – 30 Гц // Докл. РАН. 2013. Т. 453, № 3. С.334-336.

УДК 551.242

**ОСОБЕННОСТИ ТЕКТОНИКИ И РЕЛЬЕФА ОКЕАНИЧЕСКОГО ДНА
ГРЕНЛАНДСКОГО БАСЕЙНА СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ**

*Усенко Сергей Владимирович^{1,2}, Бойко Анатолий Николаевич²,
Прохорова Татьяна Викторовна¹
¹e-mail: usenko@mitp.ru, tatprokh@mitp.ru*

¹*Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, г. Москва,
Россия*

²*Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта, г. Москва, Россия*

Аннотация. Изучены неоднородности рельефа океанического дна Норвежско-Гренландского региона. Севернее хребта Мона в рельефе дна выделены линейно вытянутые субширотные морфоструктуры, представляющие собой горстовые хребты разделенные прогибами, даны их характеристики. Показано, что выделенные MS в рельефе морского дна сформировались после образования осадочного чехла и не отображаются в структуре магнитных аномалий Гренландского бассейна. В пределах хребта Мона намечены поперечные разломы, вероятно имеющие сбросо-сдвиговую природу и определяющие его блоковое строение.

**THE TECTONICS AND SEAFLOOR RELIEF IN THE GREENLAND BASIN, NORTH
ATLANTIC**

*Sergey Usenko¹, Anatoly Boyko², Tatiana Prokhorova¹
¹e-mail: usenko@mitp.ru, tatprokh@mitp.ru*

¹*Institute of Earthquake Prediction Theory and Mathematical Geophysics, Russian Academy of
Science, Moscow, Russia*

²*Smidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Science, Moscow, Russia*

Summary. We studied seafloor inhomogeneities in the Norwegian-Greenland region. North of the Mohns Ridge we have identified nearly east-west trending elongate morphostructures that are horst ridges separated by troughs. They were formed during post-Quaternary time, and are not reflected in the structure of the magnetic anomalies. We have tentatively identified faults within the Mohns Ridge that show normal-oblique movements and control the blocky structure of the ridge.

Рассматривается район Норвежско-Гренландского бассейна – его центральный сегмент, ограниченный Ян-Майенской и Гренландской разломными зонами, а также Гренландской и Норвежской континентальными окраинами. Центральное положение в регионе занимает спрединговый хребет Мона (Mohns Ridge), который является осью симметрии для прилегающих к его флангам Гренландской и Лофотенской котловин.

Хребет Мона относится к срединно-океаническим хребтам с низкой скоростью спрединга [2].

Предметом наших исследований - латеральные неоднородности океанского дна и проявление современных тектонических движений во внутренних областях региона (за пределами континентальных окраин). Нами использованы материалы по батиметрии, магнитометрии и гравиметрии [4], сейсмометрии, сейсмичности, тепловому потоку, представленные в мировых геолого-геофизических базах данных и доступные интернет-пользователям: Global Mapper v.10, GeoMapApp.exe (Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University).

Исследуя морфологические особенности рельефа дна Норвежско-Гренландского океанического бассейна мы проанализировали карты SRTM15 (Shuttle Radar Topography Mission), STRM30.v.5 [1, 5, <http://topex.ucsd.edu/www.html/martopo.html>]. За рабочую основу взяты карты SRTM30.v.4 и v.5. Норвежско-Гренландский океанический бассейн к северу от Ян-Майенской зоны разломов представлен глубоководными котловинами: Гренландской и Лофотенской, разделенными активной срединной осью хребта Мона (Mohn Ridge).

Севернее от хребта Мона расположена область, представленная в рельефе дна субширотными протяженными линейно вытянутыми морфоструктурными образованиями (в дальнейшем морфоструктуры (MS)) в виде эшелонированных гряд и прогибов (рис. 1, рис. 2). Эти MS в известных нам научных публикациях не обсуждались. Они ориентированы к хребту Мона под углом $\sim 30^\circ$ и в ряде случаев простираются в пределы рифтовой долины. Эта область аномального рельефа ограничена южной частью Гренландской разломной зоны в месте сочленения хребтов Мона и Книповича, а на юге и юго-западе контролируется Ян-Майенской зоной разломов (JMFZ). В районе подхода Ян-Майенского разлома к подножию континентального склона Гренландии (напротив – Keiser Franz Joseph Fiord) наблюдается конвергентный характер сопряжения этих линейно вытянутых MS. С запада на восток MS имеют в плане «веерное» строение.

Мы пронумеровали линейно-вытянутые MS с юга на север от L1 до L6 и построили профили рельефа дна вкrest их простираения. На всех разрезах расположение MS вдоль профилей имеет «волнообразный» характер с чередованием антиформ и синформ. Вдоль разрезов относительная высота поднятий отчетливо уменьшается с юга на север.

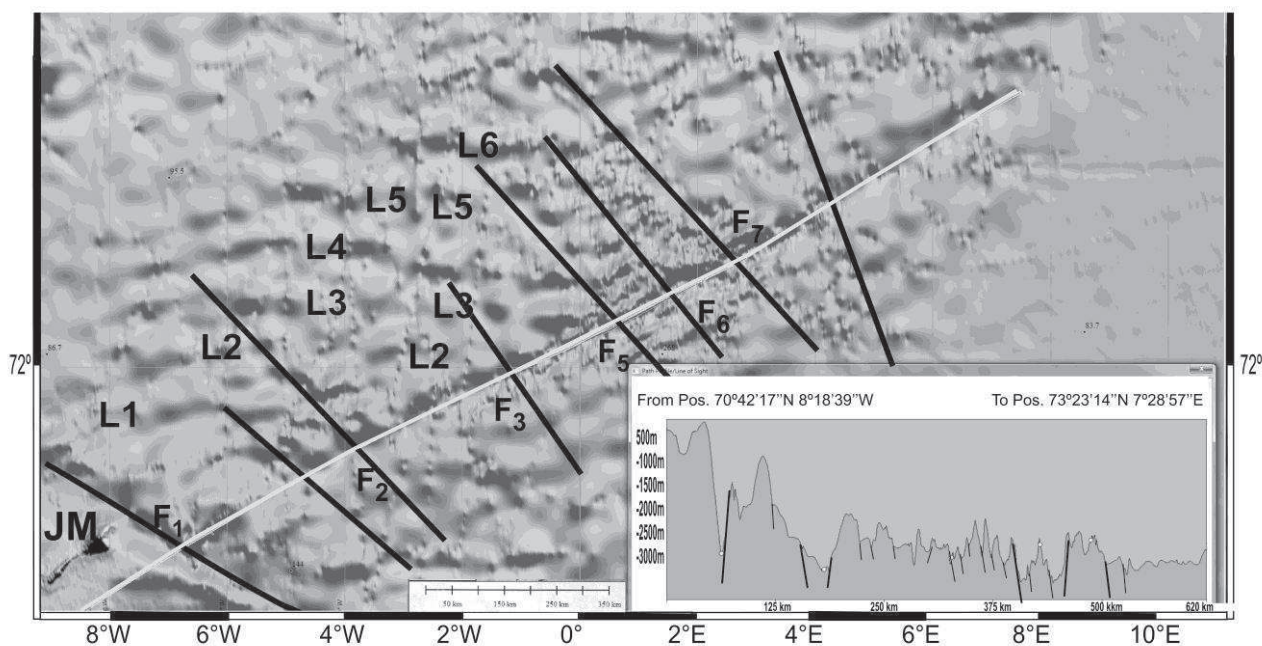


Рис.1. Расположение батиметрического профиля вдоль рифтовой долины хребта Мона (светлая линия). L1- L6 – MS, JM – остров Ян-Майен; F1-F8 – разломы. На врезке – разрез рельефа дна.

Можно отметить некоторые общие тенденции: 1 – увеличение глубин расположения поднятий в северном направлении; 2 – уменьшение с юга на север относительных амплитуд поднятий; 3 – сохранение соизмеримых величин расстояний между грядами поднятий при среднем значении 25 км (своеобразный период повторяемости).

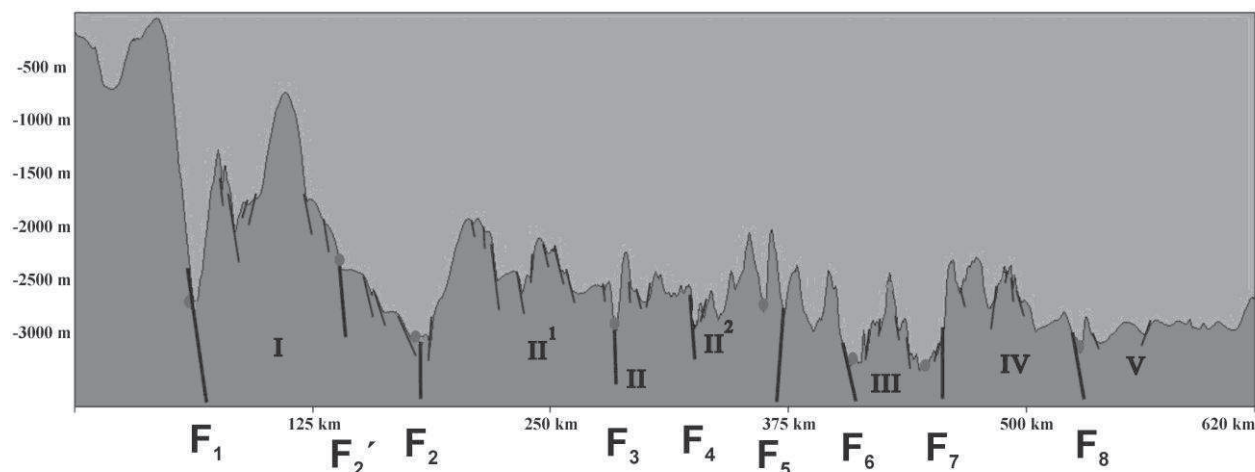


Рисунок 2. Профиль рельефа дна вдоль рифтовой долины хребта Мона. F1-F8 – разломы; I-V – возможный вариант выделения блоков хребта по латерали.

Для определения особенностей регионального морфоструктурного плана морского дна региона нами построены региональные профили рельефа дна на основе карты STRM-30.v.4.

Главной морфоструктурой океанского дна рассматриваемого региона является спрединговый хребет Мона с хорошо выраженной рифтовой долиной. Для изучения латеральных особенностей строения хребта построены разрезы рельефа дна, ортогональные простиранию рифтовой долины и разрез вдоль долины (рис. 1, рис. 2). Глубина рифтовой долины по латерали изменяется от 2630 до 3500 м, наибольшим глубинам соответствует и более выраженный (по ширине) профиль. По выраженности (ширине и глубине) рифтовой долины вдоль простирания (с юго-запада на северо-восток от профиля к профилю) можно выделить три различных участка (I-IV), (V-VII) и (VIII-XI). Участок (V-VII) расположен между намеченными нами разломами F6 и F7, которые ограничивают обособленный в рельефе блок океанского дна (рис. 3), он характеризуется более «высокочастотным» фоном рельефа (с повышенной степенью дробности).

На продольном разрезе рифтовой долины хребта Мона глубина воды изменяется от 59 м до 3304 м (рис. 2). Наименьшее значение соответствует приподнятому блоку хребта Ян-Майен, формирующего южный борт трансформного разлома. Впадина трансформного разлома имеет отметку глубины -2768 м. В рельефе продольного разреза рифтовой долины отмечаются четыре наиболее глубокие узкие впадины с глубинами: 3102 м, 2970 м, 3305 м, 3305 м (рис. 2), которые делят рифтовую долину и сам хребет на пять морфологически обособленных блоков. Справедливо предположить, что эти выраженные впадины приурочены к разломным зонам глубинного заложения. Интересным совпадением является то, что III блок, ограниченный разломами F6 и F7 (рис. 3), приурочен к точке проникания MS L4 в рифтовую долину. Для оценки характера тектонических нарушений, намеченных в пределах хребта Мона, нами были проанализированы механизмы очагов землетрясений (рис. 3).

Ян-Майенский трансформный разлом уверенно определяется как левосторонний сдвиг, его активная часть от хребта Колбейнсей до хребта Мона составляет порядка 213 км.

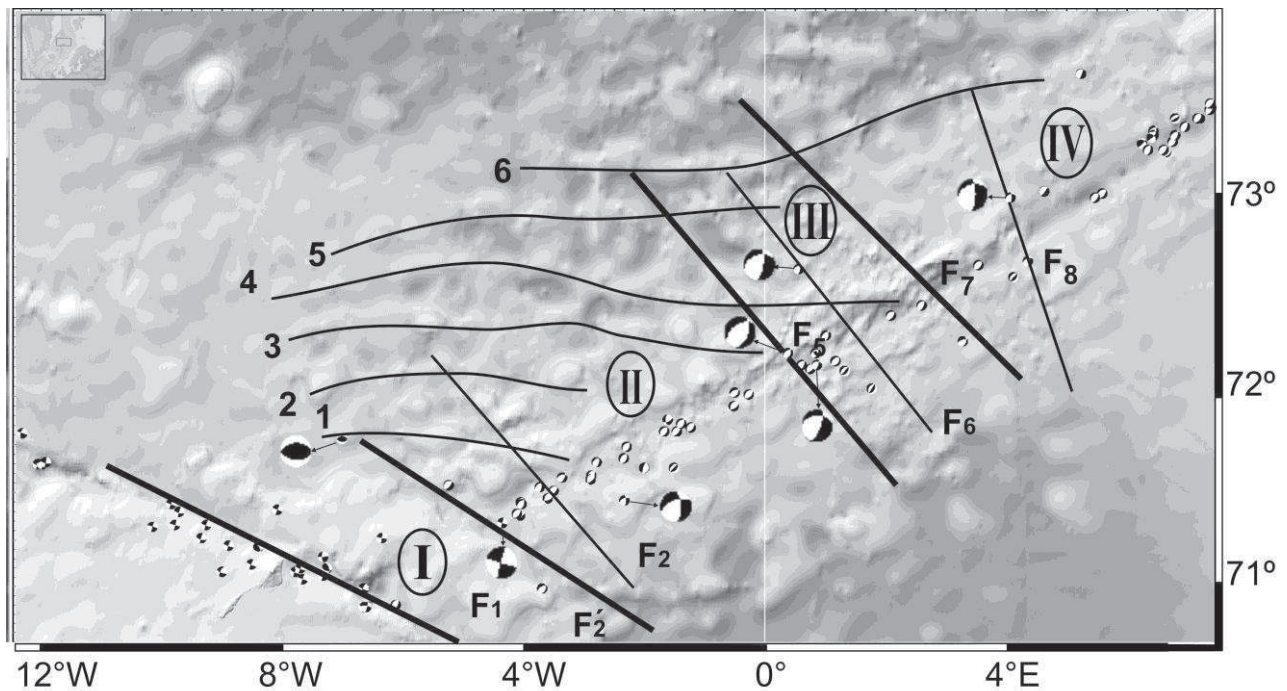


Рисунок 3. Распределение фокальных механизмов очагов землетрясений и разломные нарушения на хребте Мона (батиметрическая основа SRTM-30 v.5). I-IV – основные блоки хребта Мона; F1-F8 – намеченные разломы. Линии 1-6 – обсуждаемые неоднородности рельефа морского дна.

Диаграммы механизмов землетрясений вдоль рифтовой долины хребта Мона в большей мере отвечают сбросовым смещениям по разломам, локально представлены сдвиговые, сбросо-сдвиговые и в редких случаях взбросы (рис. 3). При анализе распределения диаграмм механизмов землетрясений и их приуроченности к выделенным ранее границам блоков можно предположить, что граница между блоками I и II, по-видимому, имеет природу левостороннего сдвига, а границы между блоками II и III, III и IV носят характер левосторонних сбросо-сдвигов. Учитывая характер механизмов землетрясений, приуроченных к границам намеченных блоков хребта Мона, яркую выраженность поперечных впадин рифтовой долины, разделяющих эти блоки, можно предположить слабовыраженную трансформную природу разломов.

В блоке I, где рифтовая долина практически не прослеживается, наблюдается отсутствие сейсмичности.

В областях, прилегающих к зоне Западно-Ян-Майенского трансформного разлома и флангов хребта Мона, в области развития обсуждаемых MS, наряду с опусканиями блоков по сбросам, отмечаются и взбросы (подъем участков дна) с амплитудой 300-500 м.

Интересной особенностью является пространственное субширотное простирание этих линейно вытянутых MS относительно основных тектонических структур региона, континентальных окраин, спредингового хребта Мона, Западно-Ян-Майенской зоны разломов. Сейсмостратиграфический анализ временных сейсмических разрезов свидетельствует об их «молодом» возрасте, образование этих MS происходило после формирования четвертичных осадочных отложений. С юга на север они формируют эшелонированную череду субширотно вытянутых горстовых гряд. Расстояние между их вершинами с юга на север близко к величине 25 км (своеобразный период повторяемости). В северном направлении также происходит увеличение глубин до вершинной части и уменьшение относительных амплитуд поднятий. Это может быть связано с ослаблением величины тектонической активности с юга на север.

Без данных бурения и данных о скорости распространения сейсмических волн в этих структурах трудно оценить их состав. По внешнему облику они напоминают магматические

тела, по составу однотипные с акустическим фундаментом, т.е. базальты. При этом не отображаются в магнитном поле.

В плане расположение выделенных MS в Гренландском бассейне ограничено осевой аномалией рифтовой долины хребта Мона и аномалией C13. Образование этих MS свидетельствует об интенсивной тектонической активности в исследуемом регионе в недавнем геологическом прошлом.

При этом своеобразным «эпицентром» этих тектонических движений, на наш взгляд, являлась зона Ян-Майенского трансформного разлома (JMFZ).

Область развития линейно вытянутых MS L1-L6 (к северо-западу от хребта Мона) на карте гравитационных аномалий в редакции Буге [4] представлена обособленной зоной гравитационного поля со значениями 5 – 15 мГал. К северу расположена область отрицательных аномалий Гренландской впадины. К югу и юго-востоку наблюдаются положительные аномалии от 25 до более 50 мГал. Эти повышенные значения аномалий Буге отвечают флангу хребта Мона и обособленному блоку земной коры, к которому приурочены наиболее высокие значения (более 50 мГал) гравитационного поля.

Изучение особенностей рельефа срединного хребта Мона свидетельствует о блоковом характере его строения. Намеченные поперечные впадины в пределах рифтовой долины (рис. 2) прослеживаются и на флангах хребта. Эти поперечные впадины имеют глубины значительно больше, чем рифтовая долина, и обычно характерны для зон трансформных разломов [3]. На это указывает также характер механизмов очагов землетрясений (рис. 3), позволяющий предполагать сдвиговую компоненту по разломам, приуроченным к поперечным впадинам рифтовой долины.

Морфологические особенности строения хребта Мона, его пространственное расположение в зоне меньшей, чем зона, ограниченная магнитными аномалиями C5 (9.6 млн. лет), особенности строения осадочного чехла позволяют предположить, что его образование происходило в период 4-10 млн. лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

27. Becker J. J., Sandwell D. T., Smith W. H. F., Braud J., et al. Global Bathymetry and Elevation Data at 30 Arc Seconds Resolution: SRTM30_PLUS // Marine Geodesy. 2009. V. 32. P. 355-371. doi:10.1080/01490410903297766
28. Eldholm O., Thiede J., Taylor E. Evolution of the Norwegian continental margin; background and objectives // Proceedings of the Ocean Drilling Program, Part A, Initial Reports. 1987. V. 104. P. 5-25. doi: 10.2973/odp.proc.ir.104.101.1987
29. Грачев А. Ф. Рифтовые зоны Земли. Москва : Недра, 1987. 284 с.
30. Olesen O., Ebbing J., Lundin E., Mairing E., et al. An improved tectonic model for the Eocene opening of the Norwegian-Greenland Sea: use of modern magnetic data // Mar. Petrol. Geol. 2007. V. 24. P. 53-66. doi:10.1016/j.marpetgeo.2006.10.008
31. Smith W. H. F., and Sandwell D. T. Global Sea Floor Topography from Satellite Altimetry and Ship Depth Soundings // Science. 1997. V. 277. P. 1957-1962. doi:10.1126/science.277.5334.1956

УДК 550.34

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГЛУБИН РОЕВЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ХРЕБТА ГАККЕЛЯ ПО СПЕКТРАМ ПРЯМЫХ ВОЛН

Федоренко Ирина Валентиновна

e-mail: fedorenko.irina.v@yandex.ru

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика
Н.П. Лаверова РАН, г. Архангельск, Россия

Аннотация. Построена теоретическая модель изменения спектра мощности прямой волны землетрясения хребта Гаккеля с расстоянием. Оценена разрешающая способность станции ZFI по выявлению изменения глубин роевых землетрясений с помощью спектров прямых волн.

DEFINITION OF DEPTH'S VARIATIONS OF GAKKEL RIDGE'S SWARM EARTHQUAKES USING SPECTRUMS OF DIRECT WAVES

Irina Fedorenko

e-mail: fedorenko.irina.v@yandex.ru

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Arkhangelsk, Russia

Summary. The theoretic model of variation of direct wave's power spectrum with distance was made. Ability of ZFI station for discovering changes of swarm depths using direct wave's power spectrum was estimated.

Введение. Хребет Гаккеля является труднодоступным для изучения районом Арктики. Число прибрежных стационарных сейсмических станций невелико. Поэтому определение глубины по кинематическим характеристикам затруднено. Известно, что от того, по каким слоям прямая волна прошла свой путь от очага к станции, зависит изменение ее частотного состава. Следовательно, разница в глубине событий одного механизма должна отражаться в спектральном составе их прямых волн. Изменение формы и величины спектра зависит от расстояния. Тогда для его использования в качестве характеристики глубины необходимо оценить, на каких расстояниях разница в его форме будет заметна, а на каких нет.

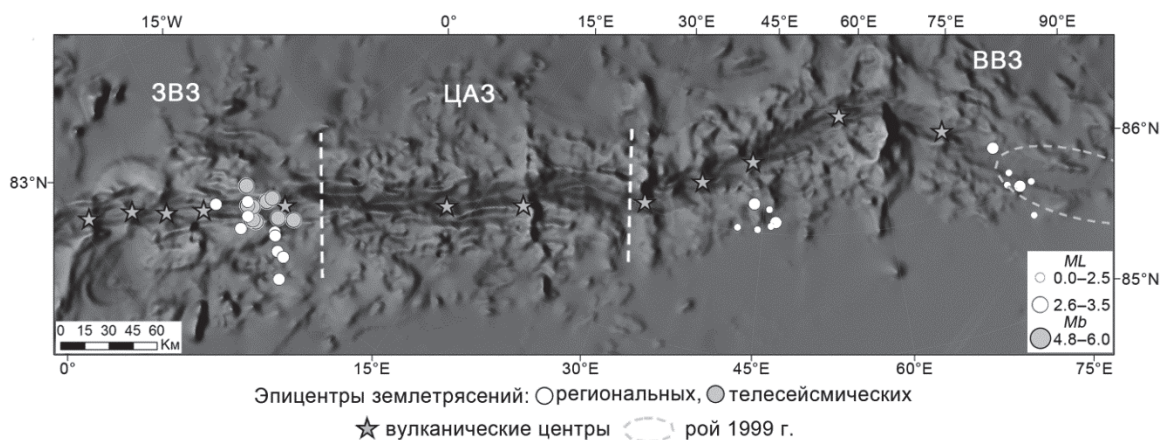


Рис. 1. Карта распределения роевых землетрясений

Зоны: ZB3 – западная вулканическая, CA3 – центральная амагматическая, BB3 – восточная вулканическая; вулканические центры (звездочки) по данным [10]

По региональным и телесеизмическим данным выявлено, что на хребте Гаккеля в западной и восточной вулканических зонах происходят роевые землетрясения (рис. 1) [7, 11].

Предположим, что они связаны с подъемом магмы и имеют один механизм генерации. Однако неизвестно, каковы глубины этих событий и меняются ли они во времени. Целью работы являлось определение, на каких расстояниях можно наблюдать различия в форме спектров прямых волн при расположении очага в разных структурах.

Исходные данные и методика вычислений. Прежде всего, необходимо определить, как меняется путь прямой волны при расположении очагов в разных слоях на хребте Гаккеля. Предположим два возможных варианта: осадочный слой и базальтовый. Для этого нужны глубинные разрезы. Однако их число в данном районе невелико (рис 2а).

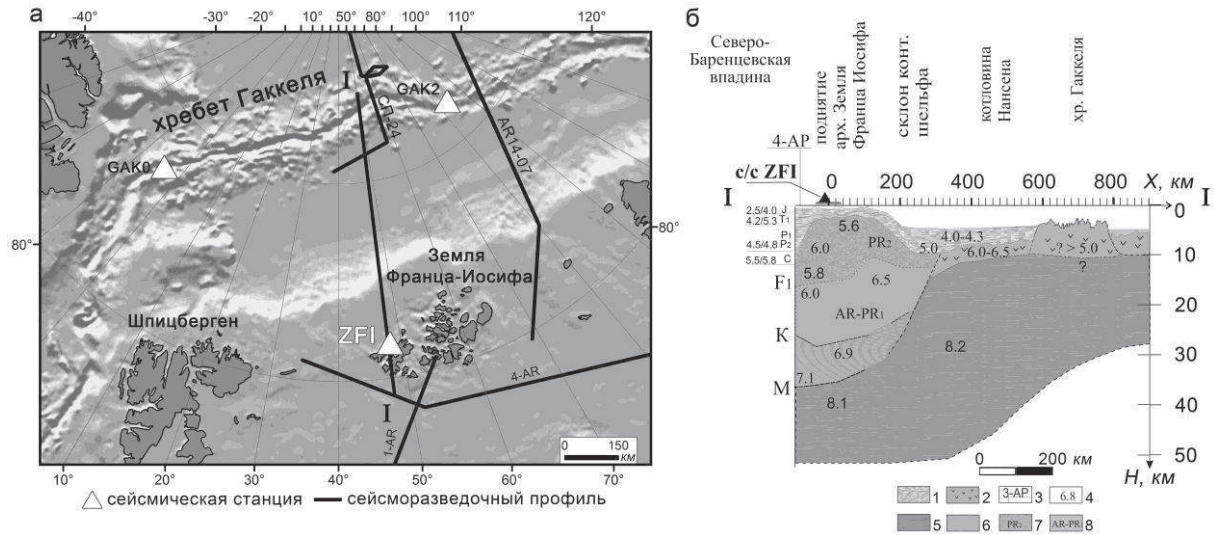


Рис. 2. Сейсморазведочные работы в Евразийском бассейне:

а – карта расположения сейсморазведочных профилей; б – обобщенный разрез [1]
 1 – осадочный чехол, 2 – океанический акустический фундамент, 3 – точки пересечения геотраверсов, 4 – скорости Р-волн, км/с, 5 – верхняя мантия, 6 – базитовая часть консолидированной коры, 7 – верхнепротерозойский фундамент (Pr2), 8 – верхняя сиалическая часть консолидированной коры (AR-PR1)

В таблице 1 указаны мощности осадочного и базальтового слоев в западной и восточной зонах хребта по результатам приведенных на рис. 2а экспедиций.

Таблица 1

Глубины осадочного и базальтового слоев хребта Гаккеля

Экспедиция	Профиль	ЗВЗ		Профиль	ВВЗ	
		Осадочный слой, км	Базальтовый слой, км		Осадочный слой, км	Базальтовый слой, км
Северный полюс-24 [6]	–	–	–	55°E	0	7
AMORE2001 [12]	GAK0, 5°W	1.5	2	GAK2, 84°E	2	5.7
Арктика-2014 [4, 5]	–	–	–	AR14-07, 90°E	0.4–0.8	3–5

В ЗВЗ осадочный и базальтовый слои почти равны по мощности. В ВВЗ мощность осадочного слоя меньше базальтового. На рис. 2б представлен обобщенный разрез, построенный в работе [1] на основе профилей, показанных на рис. 2а. Из него видно, что из-за наличия между хребтом Гаккеля и архипелагом Земля Франца-Иосифа котловины Нансена, прямая волна в любом случае значительную часть пути пройдет по осадочному слою.

Для построения теоретической модели зададим некоторый импульс в очаге землетрясения в виде функции:

$$F(t) = t^{16} e^{-16t} \sum_{k=4}^{12} \sin 2\pi k t + 0.4 \cdot \text{randn size } t,$$

где $\text{randn size } t$ – функция, которая формирует массив соразмерный с матрицей t , элементами которого являются случайные величины, распределенные по нормальному закону с математическим ожиданием 0 и среднеквадратическим отклонением 1 [8]. Предположим, что он представляет собой Р-волну. Изменение спектра мощности S_0 с расстоянием описывается следующим образом [10]:

$$S = S_0 \cdot e^{-\frac{2\pi f r}{Qv}} \cdot \frac{1}{r^2},$$

где S – спектр мощности сигнала на расстоянии r , км; S_0 – спектр мощности сигнала в очаге; Q – добротность среды; v – скорость распространения упругой волны, км/с; f – частота, Гц. Добротность среды зависит от частоты следующим образом [3]:

$$Q(f) = Q_0 \cdot \left(\frac{f}{f_0}\right)^n,$$

где Q_0 – добротность на некоторой референтной частоте f_0 (как правило, 1 Гц), n – частотный параметр, близкий к единице и зависящий от неоднородности среды региона. Значения параметров среды, взятые для расчета, приведены в таблице 2. Величины добротности приняты приближенно по модели Земли АК135 [9].

Таблица 2

Значения параметров среды, принятые для расчета

Слой \ Параметр	v_p , км/с [12]	Q_{P0} [9]	n
Осадочный	3.6	163.35	0.9
Базальтовый	4.7	1478.30	0.9

Рассмотрим два случая расположения сейсмической станции: на поверхности льда над хребтом Гаккеля и на архипелаге Земля Франца-Иосифа (ZFI). Покажем, как в каждом случае изменится спектр мощности при прохождении волны только по осадочному слою, акустическому фундаменту и в смешанной среде. Пусть в первом случае $r=5$ км, во втором $r=700$ км. Расчеты проведены в программе Scilab [13]. Из рис. 3 видно, что различимое визуальное изменение формы спектра мощности наблюдается только при $r=700$ км и если на пути прохождения волны преобладают осадки. Следовательно, наблюдение изменений спектра можно вести по данным станции ZFI и бессмысленно с помощью временных станций на льду.

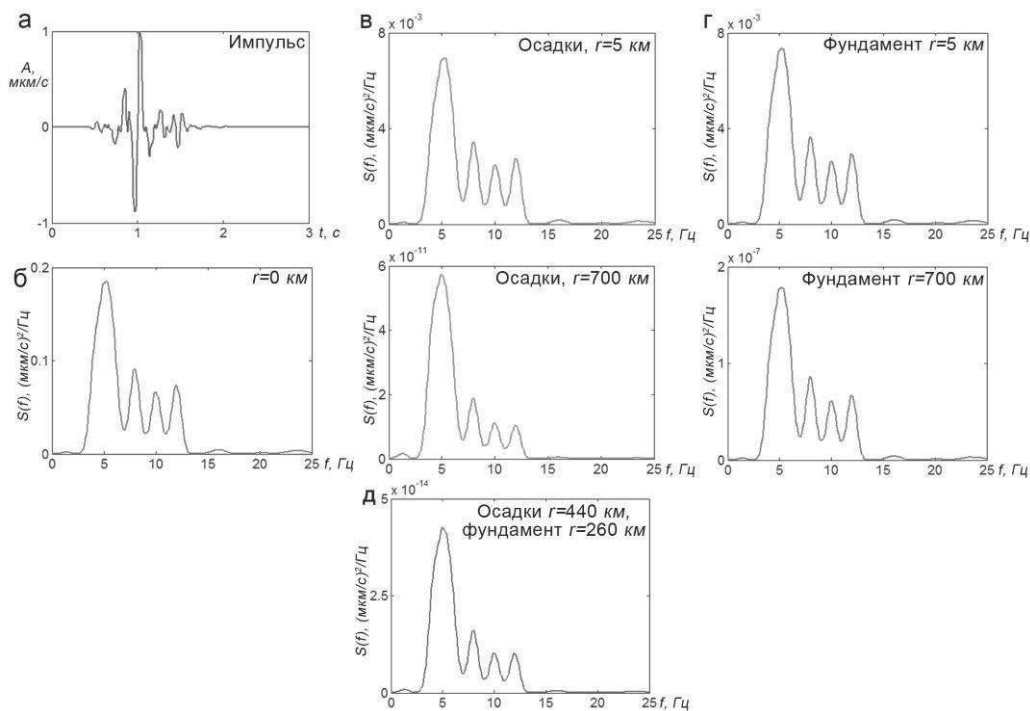


Рис. 3. Изменение спектра мощности импульса P волны с расстоянием: а – импульс в очаге; б – его спектр мощности; в – в осадочном слое, г – в акустическом фундаменте, д – в смешанной среде

Выводы. Показано, что с помощью островных арктических станций можно подойти к решению вопроса об изменении глубины роевых землетрясений ультрамедленного хребта Гаккеля. На расстояниях порядка 700 км наблюдается изменение формы спектра мощности прямой волны при разных глубинах землетрясений. Однако оно незначительно и зависит также от формы спектра в источнике. Станция ZFI является одной из наиболее удобных, так как охватывает как западную, так и восточную зоны хребта Гаккеля. Другие островные станции, такие как KBS, SPA0 подходят для анализа, преимущественно, западной зоны.

Работа выполнена при поддержке Гранта президента РФ № МК-7387.2016.5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антоновская Г.Н., Басакина И.М., Капустян Н.К., Рогожин Е.А. О связи новейших сейсмических данных с геолого-геофизическими полями и строением литосферы Баренцевоморского региона // Тектоника современных и древних океанов и их окраин. Том 1. Материалы XLIX Тектонического совещания, посвященного 100-летию академика Ю.М. Пушаровского. М.: ГЕОС, 2017. С. 10–16.
2. Боганик Г.Н., Гурвич И.И. Сейсморазведка: Учебник для вузов. Тверь: Издательство АИС, 2006. 744 с.
3. Добрынина А.А., Чечельницкий В.В., Саньков В.А. Сейсмическая добротность литосферы юго-западного фланга байкальской рифтовой системы // Геология и геофизика. – 2011. Т. 52, №5. С. 712–724.
4. Казанин Г.С., Иванов Г.И., Казанин А.Г., Васильев А.С., Макаров Е.С. Экспедиция «Арктика-2014»: комплексные геофизические исследования в районе Северного полюса // Вести газовой науки. 2015. № 2 (22). С. 92–97.
5. Никишин А.М., Петров Е.И., Малышев Н.А. Тектоническое строение и геологическая история Арктического океана в мезозое и кайнозое // Тектоника современных и древних океанов и их окраин. Том 2. Материалы XLIX Тектонического совещания, посвященного 100-летию академика Ю.М. Пушаровского. М.: ГЕОС, 2017. С. 37–39 и материалы устного доклада.

6. Поселов В.А., Павленкин А.Д., Погребницкий Ю.Е., Каминский В.Д., Мурзин Р.Р., Сорокин М.Ю. Структура литосферы Арктического бассейна по сейсмическим данным в связи с проблемой внешней границы континентального шельфа России // Разведка и охрана недр. 2000. №12. С. 48-54.
7. Федоренко И.В. Пространственно-временное распределение землетрясений из района хребта Гаккеля // XI Международная сейсмологическая школа: материалы докладов, Обнинск, 2016. С. 346–349.
8. Формирование массива элементов, распределенных по нормальному закону [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/ml/book2/chapter5/randn.php>.
9. Bormann P. Global 1-D Earth models // New Manual of Seismological Observatory Practice, IASPEI, GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam. 2012. DS 2.1. P. 7–11.
10. Cochran J.R. Seamount volcanism along the Gakkel Ridge, Arctic Ocean // Geophys. J. Int. 2008. V. 174. P. 1153-1173.
11. Schlindwein V. Teleseismic earthquake swarms ultraslow spreading ridges: indicator for dyke intrusions? // Geophys. J. Int. 2012. V. 190. P. 442-456.
12. Schlindwein V., Muller C., Jokat W. Microseismicity of the ultraslow-spreading Gakkel ridge, Arctic Ocean: a pilot study // Geophys. J. Int. 2007. V. 169. P. 100-112.
13. Scilab [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.scilab.org/>.

УДК 550.837

**СРАВНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗОНДИРОВАНИЙ С СИММЕТРИЧНОЙ
УСТАНОВКОЙ AMNB И ТРЕХЭЛЕКТРОДНОЙ КОМБИНИРОВАННОЙ
УСТАНОВКОЙ AMN+MNA**

*Федорова Ольга Ивановна, Горшков Виталий Юрьевич,
Маликов Александр Владимирович, Петухова Юлия Борисовна
fougeo@mail.ru, vitalaa@yandex.ru, alex.mal.1986@mail.ru, orto@k66.ru
Института геофизики им. Б.П. Булашевича УрО РАН, Россия, Екатеринбург*

Аннотация. Приводятся результаты физического и математического моделирования электрических зондирований с установками AMN+NMA и AMNB. Зондирования с установкой AMN+NMA более четко оконтуривают геоэлектрическую неоднородность и особенно ее нижнюю границу, краевые эффекты от неоднородности менее выражены по сравнению с установкой AMNB. Экспериментальные исследования подтверждают перспективность новой методики зондирований с установкой AMN+NMA в изучении неоднородных сред.

**COMPARISON OF ELECTRICAL SOUNDINGS WITH SYMMETRIC AMNB ARRAY
AND THREE-ELECTRODE COMBINED AMN + MNA ARRAY**

*Fedorova Olga, Gorshkov Vitaliy, Malikov Alexandr, Petyhova Yuliya
fougeo@mail.ru, vitalaa@yandex.ru, alex.mal.1986@mail.ru, orto@k66.ru
Institute of Geophysics UB of RAS, Russia, Ekaterinburg*

Summary. The results of physical and mathematical modeling of electrical soundings with AMN + NMA and AMNB array are presented. Soundings with the AMN + NMA array more clearly outlines the geoelectrical inhomogeneity and especially its lower boundary, the edge effects from inhomogeneity are less pronounced compared to the AMNB array. Experimental research confirm the prospects of a new sounding technique with AMN + NMA array in the study of inhomogeneous media.

Электрические зондирования на постоянном токе выполняют различными дипольными или симметричными установками. Для изучения верхней части геологического разреза чаще всего применяется метод вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) с использованием симметричной четырехэлектродной установки Шлюмберже (AMNB) (рис.1, а), что позволяет для горизонтально-слоистых сред определять мощность и удельное сопротивление слоев. Но верхняя часть разреза не всегда удовлетворяет условиям горизонтальной слоистости. Из-за влияния геологических неоднородностей возникают трудности в интерпретации полученных кривых зондирований. Приповерхностные неоднородности трансформируют кривую зондирования и вносят неверное представление о более глубинном строении среды. На малых глубинах могут возникать трудности при определении размеров геологических объектов из-за появления краевых эффектов от самих искомых объектов. Краевые эффекты также будут искажать общую структуру геоэлектрического разреза.

Основной упор развития методов электрических зондирований на постоянном токе делается на совершенствование подходов интерпретации. Для ВЭЗ существуют программы 1D, 2D и даже 3D инверсии обработки полученных данных, которые сужают рамки эквивалентности решения обратной задачи при интерпретации. Но, тем не менее, в сложных средах добиться однозначности решения невозможно.

Разрабатываются новые геоэлектрические методики и технологии измерений. Например, методы томографии электросопротивления среды [Шума Х.], где чаще используют двухэлектродную установку АМ или дипольную осевую. В МГУ разработан метод сплошных электрических зондирований (СЭЗ), в котором много общего с томографией (Бобачев. В методике СЭЗ измерения проводят с двухсторонней трехэлектродной установкой $AMN+MNB$ $C \rightarrow \infty$. Точку записи в используемых установках относят к середине разноса или к середине приемной линии. При такой методике зондирований между питающими и приемными электродами могут находиться геологические неоднородности, влияющие на электрическое поле в точке измерений и образующие краевые эффекты на разрезе кажущихся сопротивлений.

Для уменьшения искажающего влияния неоднородностей был предложен новый способ электрических зондирований с комбинированной установкой $AMN+NMA$ $B \rightarrow \infty$ [Шестаков А.Ф., Федорова О.И., 2016], в котором используется трехэлектродная установка AMN и четвертый питающий электрод (В), отнесенный на бесконечность. Зондирование осуществляется за счет перемещения крайних электродов на одинаковое расстояние от электрода (М) (рис.1. в). На каждом разносе проводятся двойные измерения. Вычисляется среднее кажущееся сопротивление по двум измерениям и значение относится к центральному электроду (М).

Для сравнения результатов комбинированных электроразондирований с трехэлектродной установкой $AMN+NMA$ $B \rightarrow \infty$ и известного метода ВЭЗ с симметричной четырехэлектродной установкой $AMNB$ выполнили математическое моделирование зондирований над проводящим шаром в однородном полупространстве и физическое над проводящим параллелепипедом, помещенным в воду.

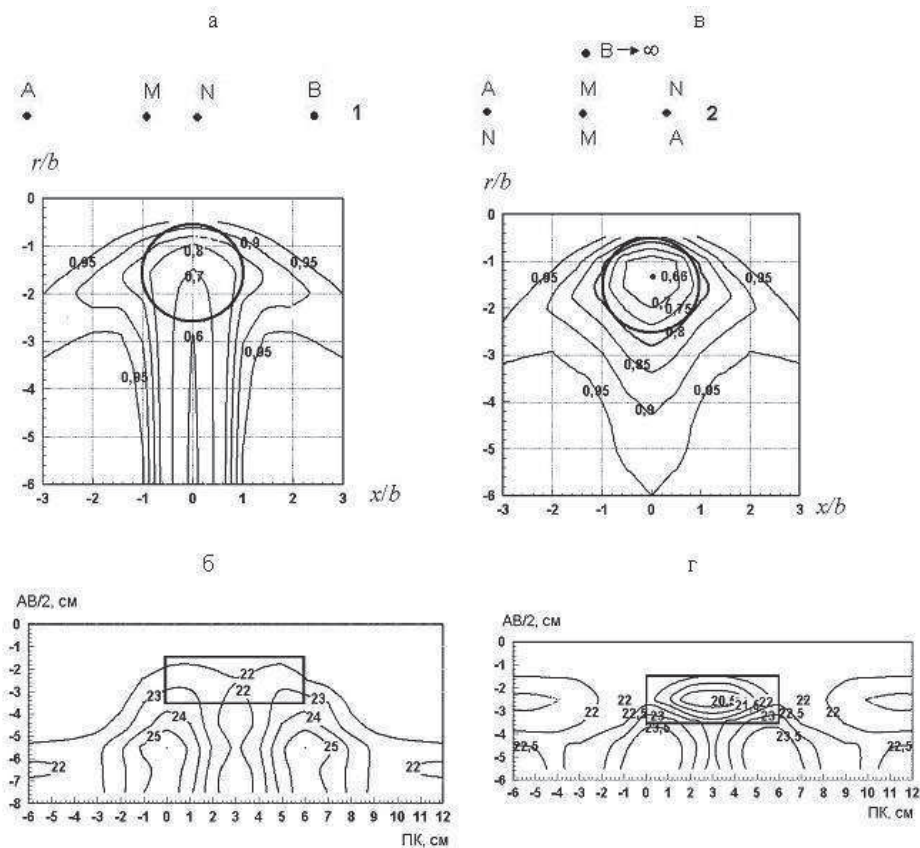


Рис.1. Разрезы кажущихся сопротивлений ρ_k/ρ_1 над проводящим шаром и параллелепипедом с установками: $AMNB$ – а, б; $AMN+NMA$ – в, г.

На разрезах кажущегося сопротивления над шаром в обоих случаях выделяется верхняя кромка шара и наблюдаются краевые эффекты (рис1. а, в). На разрезе ρ_k/ρ_1 при

зондировании с установкой AMN+NMA изолинии сопротивлений концентрируются внутри шара, они замкнуты и ниже шара сопротивление близко к значению сопротивления вмещающей среды (рис.1. в). На разрезе ВЭЗ (рис.1.а) изолинии не замкнутые и вытянуты вниз, создавая ложный аномальный эффект.

Результаты физического моделирования над параллелепипедом из нержавеющей стали (2 x 6 x 8 см), помещенного в бак с водой, схожи с теоретическими расчетами над шаром (рис1. б). Над объектом аномальная зона пониженного сопротивления так же распространяется в глубь разреза. В методе с установкой AMN+NMA аномалия находится в разрезе непосредственно на месте изучаемого объекта, имеются боковые эффекты меньшей интенсивности, чем с установкой AMNB (рис.1 г).

В методе AMN+NMA за счет того, что разносится не только питающее заземление (А), но и приемное (N), а потом они меняются местами, то, во-первых, увеличивается расстояние между приемными заземлениями (M) и (N), во-вторых, полученные значения ρ_k осредняются, что приводит к уменьшению интенсивности краевых эффектов.

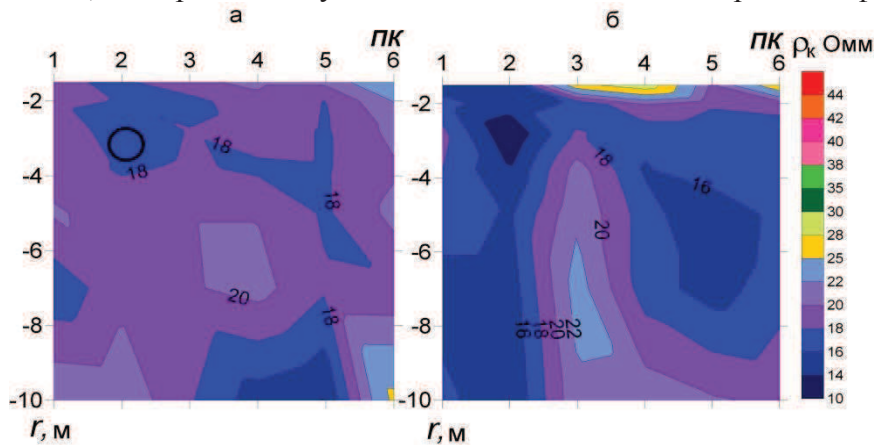


Рис.2. Результаты электрзондирований над водоводом. Разрезы ρ_k : а – установка AMN+NMA $B \rightarrow \infty$; б – установка AMNB. О – проекция водовода.

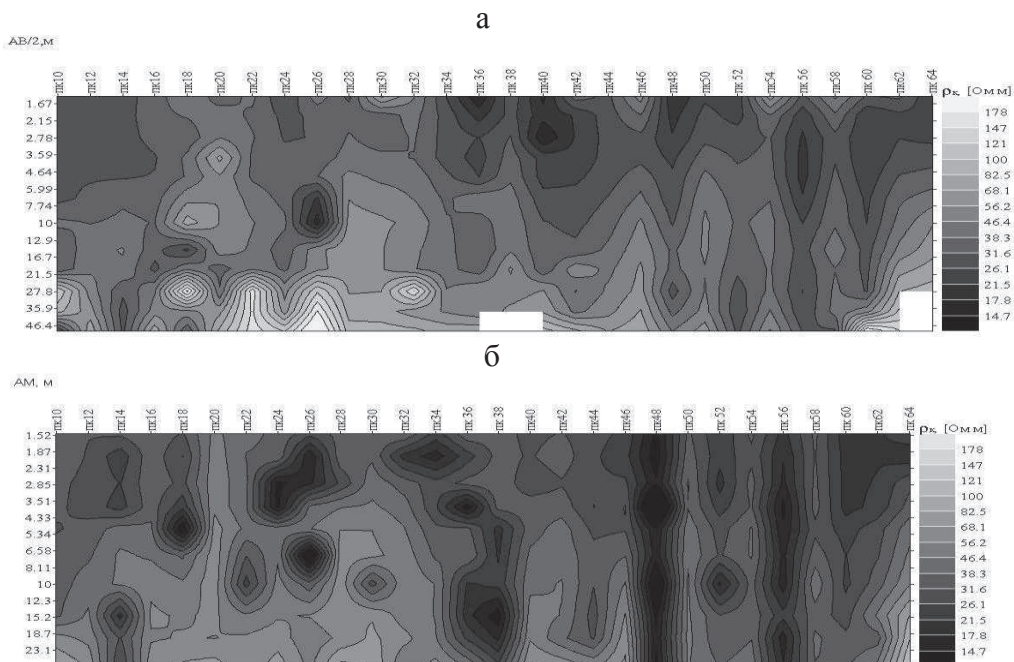


Рис.3. Результаты электрических зондирований на грунтовой плетине с установками AMNB (а) и AMN+NMA (б).

Натурный эксперимент провели над водопроводной трубой, расположенной на глубине 3 м. На обоих разрезах кажущихся сопротивлений наблюдаются геоэлектрические

неоднородности как повышенного, так и пониженного электросопротивления (рис.3). Но разрезы достаточно отличаются по структуре. В комбинированных зондированиях неоднородности более локализованные, чем на разрезе ВЭЗ, где результаты измерений дают интегральную характеристику среды за счет чего структура разреза преимущественно блочная. Водопроводная труба выделяется обеими установками на пикете 2. По ВЭЗ эта область на разносах 3-4 м более контрастна ($\rho_k < 14$ Ом), чем по комбинированным зондированиям ($\rho_k < 18$ Ом), но в целом проводящая аномалия не локализуется вертикальными электрическими зондированиями, а вытягивается на глубину.

На рисунке 3 представлены результаты электрозондирований, полученные при изучении состояния грунтовой плотины (высота 10 м, длина 650 м), ограждающей водоем-отстойник. В западной и центральной частях плотины в методе AMN+NMA довольно четко выделяются электропроводные локальные аномалии, как на малых разносах, так и на разносах 7-10-15 м в районе подошвы плотины (рис.3. б). На обоих разрезах наблюдаются вытянутые в глубь низкоомные аномалии (пикеты 48, 52, 56, 60), которые по методу AMN+NMA имеют минимальные значения кажущихся сопротивлений 10-17 Ом. Это указывает на сильную обводненность грунта.

Результаты электрозондирований показали неоднородное состояние насыпного материала. В основании западной части полотна плотины комбинированным методом AMN+NMA фиксируются локальные проводящие неоднородности, по которым возможны утечки воды из отстойника. В методе ВЭЗ не везде фиксируются аномалии.

Физическое и математическое моделирование показало, что предложенная методика зондирований с установкой AMN+NMA имеет преимущества над широко применяемым методом ВЭЗ, использующим симметричную установку AMNB: более четкое оконтуривание геоэлектрической неоднородности и особенно ее нижней границы; краевые эффекты от неоднородности менее выражены. Экспериментальные исследования подтверждают перспективность новой методики зондирований в изучении неоднородных сред.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобачев А.А., Марченко М.Н., Модин И.Н., Перваго Е.В., Урусова А.,В., Шевнин В.А. Новые подходы к электрическим зондированиям горизонтально-неоднородных сред. Физика Земли // 1995. № 12. С. 79-90.
2. Shima H. The Effects on Reconstructed Images Surrounding Resistivity Structures in Resistivity Tomography. Report, presented at 59 th Annual International SEG Meeting, Dallas. 1989.
3. Шестаков А.Ф., Федорова О.И. Способ геоэлектроразведки. Патент №2581768, 2014
4. Федорова О.И. Моделирование электрозондирований с установками AMNB и комбинированной трехэлектродной установкой AMN+NMA над локальными неоднородностями // Уральский геофизический вестник. Екатеринбург: УрО РАН, 2016. №2. С. 81 – 85.

УДК 550.341

**ВОЗМОЖНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ СЛЕЖЕНИЯ МЕСТНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ
В БЛИЖНИХ ЗОНАХ ВОДОХРАНИЛИЩ УЗБЕКИСТАНА.**

*Хамидов Лутфулла Абдуллаевич., Артиков Фарход Рустамович,
Хамидов Хайрулла Лутфуллаевич
e-mail: hamidov_l@mail.ru*

Институт сейсмологии им.Г.А.Мавлянова АН РУз, Узбекистан, Ташкент

Аннотация. В настоящее время оценка локальной сейсмичности вызванных инженерной деятельностью человека является необходимостью после того, как в мировой практике зарегистрировались несколько землетрясений, вызвавших разрушение различных инженерных сооружений – в том, числе и плотин водохранилищ сопровождавшихся человеческими жертвами. В статье излагается возможности организации слежения местной сейсмичности и результаты реализации новых цифровых систем инженерно-сейсмометрических наблюдений с современной базой обработки сейсмометрической информации на территориях Чарвакского, Андижанского, Гиссаракского и Тупалангского водохранилищ Узбекистана.

**POSSIBILITIES OF ORGANIZATION OF LOCAL SEISMIC TRACING
IN THE MIDDLE ZONES OF THE RESERVOIRS OF UZBEKISTAN.**

*Khamidov Lutfulla Abdullaevich., Artikov Farhod Rustamovich,
Khamidov Khairulla Lutfullaevich
E-mail: hamidov_l@mail.ru*

*Institute of Seismology named after GAMavlyanov of the Academy of Sciences of the
Republic of Uzbekistan, Uzbekistan, Tashkent*

Summary. Currently, the assessment of local seismicity caused by human engineering activities is a necessity after several earthquakes in the world have been registered that caused the destruction of construction sites, dams with human victims. The article describes the possibilities of organizing the tracking of local seismicity and the results of the implementation of new digital systems of engineering seismic observations with a modern seismic information processing base in the territories of the Charvak, Andijan, Gissarak and Tupalang reservoirs of Uzbekistan.

Основной целью организации слежения местной сейсмичности являются изучение региональной или местной сейсмической активности эксплуатируемых территории или локального его участка (например, района водохранилищ, АЭС, ГЭС, рудников, шахт, открытых карьеров и т.д.) [1,2,3]. В результате локации сейсмических источников и определения их параметров (времени в очаге, координат эпицентра, глубины гипоцентра - в случае землетрясения и магнитуды) появляются новые, инструментальные данные о состоянии распределения современных землетрясений в ближних зонах техногенных объектов. Эти данные, совместно данными об исторических землетрясениях, используются для оценки сейсмичности. На основе распределения землетрясений, оценки их параметров (сейсмической активности, максимальной магнитуды землетрясения) определяет контуры сейсмогенных зон и оценивают сейсмический риск территории. Организацией слежения местной сейсмичности производится выбор из всех возможных вариантов тех, которые дают наиболее устойчивый результат, которые часто описываются в виде минимизации целевого функционала.

Оценка параметров сейсмичности локальных участков в ближних зонах водохранилищ включает в себя: оценку уровня региональной сейсмичности по действующей шкале; построение карт площадного распределения местных и региональных землетрясений;

определение активности и наклона графика повторяемости (A_{10} , γ) землетрясений. Известно, что определение сейсмической активности A_{10} и наклона графика повторяемости γ основано на повторяемости землетрясений как фундаментальном свойстве сейсмического процесса. Их использование связано, в частности, с наблюдаемым иногда уменьшением наклона графика повторяемости перед сильными сейсмическими событиями [4,5]. Наклон графика повторяемости γ рассчитывается исходя из непрерывного экспоненциального распределения землетрясений по классам [6]. Анализ вариаций возможен лишь при достаточно большом количестве землетрясений. Например, при $\gamma=0,5$ и $N=100$ среднеквадратичное отклонение S_γ составляет 0.05, то есть 10%. Активность A_{10} рассчитывается из числа землетрясений N и наклона графика повторяемости γ и приводится к площади 10^3 км^2 (для ближних зон водохранилищ по площади зоны влияния) и временному интервалу один год.

В районах интенсивной эксплуатации водохранилищ Узбекистана уже более 30 лет работали ряд сейсмических станций (с/с Чарвак – вдх.Чарвак, с/с Кампират – вдх.Андижан, с/с Шабада – вдх.Гиссарак и др.) [4,5,7,8]. Но материалы их не привлекались к составлению местных каталогов землетрясений. Последние десятилетия, эти станции вели работы по контролю устойчивости плотин соответствующих водохранилищ, их материалы практически не были использованы при оценке локальной сейсмичности. Первые сведения о том, что в районе водохранилищ происходят техногенные землетрясения, были получены в 1976 году, когда детальный анализ записей сейсмического события специалистами по оценке устойчивости плотин позволил говорить о том, что ряд микросейсмических событий в районе Чарвакского и Андижанского водохранилищ на самом деле являются микро тектоническими землетрясениями.

Для более детального обсуждения этого вопроса использованы расчеты и построены различные карты, отражающие особенности сейсмичности за отдельные периоды наблюдений - карты эпицентров, карты сейсмической активности, а также параметры графика повторяемости землетрясений по нескольким водохранилищам Узбекистана.

Чарвакское водохранилище. В Приташкентском районе за период от начала детальных сейсмологических наблюдений до начала эксплуатации гидросооружения в рабочем режиме (1960-1972гг.) выделяются несколько зон концентрации эпицентров: в северо-восточной части района, где непосредственно расположено Чарвакское водохранилище [1,6]. Сюда приурочен очаг Бурчмуллинского землетрясения в 58км. (1959, $M=5.0$) к востоку от г.Ташкента. Заметим, что здесь ранее проводились взрывные работы и возможно высокая концентрация толчков связана с тем, что в каталог занесена часть взрывов.

На картах эпицентров других интервалов времени практически выделяются те же зоны. Карта эпицентров землетрясений ($K \geq 8$) непосредственно Чарвакского района за 1973-1999гг отражает распределение эпицентров за период после строительства и введения в эксплуатацию водохранилища. На ней наблюдается увеличение плотности эпицентров в северо-восточной части Чарвакского района. Здесь в 1977г произошло два землетрясения средней силы $K=11,3$ и $K=11,7$. и на юго-востоке от п.Чарвак в этом же году произошло Таваксайское землетрясение ($M=5,2$) . Спустя десять лет землетрясение с $K=12$ произошло в 30км. северо-западнее Чарвака.

На карте эпицентров, за последующие 10 лет отмечены три эпицентра землетрясений в 15-25 км в южном и юго-западном направлении от водохранилища. В 1993г произошло землетрясение с $K=10,3$. Через полгода в 1994г восточнее, произошло землетрясение с $K = 11,9$. И в 1995г севернее, землетрясение с $K=12,4$. Все сильные землетрясения Чарвакского района, произошли в этой же зоне, включая и Бурчмуллинское землетрясение 1959г. ($K=14$) [6,8]. За различные периоды времени наклон графика повторяемости практически менялось незначительно, но ошибка определения $\gamma \pm \sigma$ увеличилась значительно. Это видимо, связано с понижением уровня представительности землетрясений за 1989-2002 годы.

На картах активности за предшествующие годы, построенным за периоды времени $T=5-8$ лет, выделяются эти же участки повышенной активности. В табл.1 представлены значения угла наклона графика повторяемости для периодов, по которым строились карты

эпицентров [1,5,6,8].

Таблица 1.

Значения угла наклона графика повторяемости $\gamma \pm \sigma$ и сейсмической активности A_{10} в различные периоды наблюдений района Чарвакского водохранилища

Интервалы, годы	Классы K	Угол наклона $\gamma \pm \sigma$	A_{10}
1960-1972гг	8-11	0.49 ± 0.02	0.04
1973-1989гг	8-11	0.48 ± 0.06	0.03
1989-1999гг	8-11	0.49 ± 0.09	0.02
2001-2009гг	8-11	$0,43 \pm 0,04$	0,03
2009-2010гг.	9-11	$0,44 \pm 0,03$	0.024
2010-2016гг	8-11	0.42 ± 0.05	0.021

Северо-восточная часть Чарвакского района выражена как одна из зон повышенной активности. Бурчмуллинское землетрясение (1959г) приурочено к этой же зоне, также как и последующие сильные землетрясения 1977, 1987 и 1993-1995 гг. То есть это зона стабильной повышенной активности.

Андижанское водохранилище находится в восточной части Ферганской долины, на границе с Республикой Киргизстан. Для изучения особенностей сейсмичности ранее были выбраны две площади вокруг водохранилища: большая, в радиусе 90-100 км и меньшая в радиусе 35-40 км. Общая площадь первой составляет 42000 кв.км [2,8]. Анализ имеющихся материалов был проведен с привязкой к этим площадям. Наиболее наглядную пространственную картину распределения сейсмичности отражали карты эпицентров землетрясений. Сначала анализированы распределение эпицентров землетрясений ($K \geq 11$) всего района Андижанского водохранилища за 1963-1995гг. За указанный период в районе произошло 6 сильных землетрясений $K > 13$ ($M > 5$). Угол наклона графика повторяемости землетрясений (гамма γ) показывает соотношение сильных и слабых толчков. Увеличение гамма (γ) означает увеличение соотношения слабых толчков по отношению к сильным. Уровень графика повторяемости, сейсмическая активность A_{10} , также как временной фактор, вариации этих параметров характеризовало изменение сейсмической обстановки в регионе. В табл.2 представлены значения параметров гамма γ и A_{10} для двух районов, рассчитанные за различные интервалы времени.

Таблица 2.

Значения количественных показателей повторяемости и активности района Андижанского водохранилища в различные периоды наблюдений [12,13].

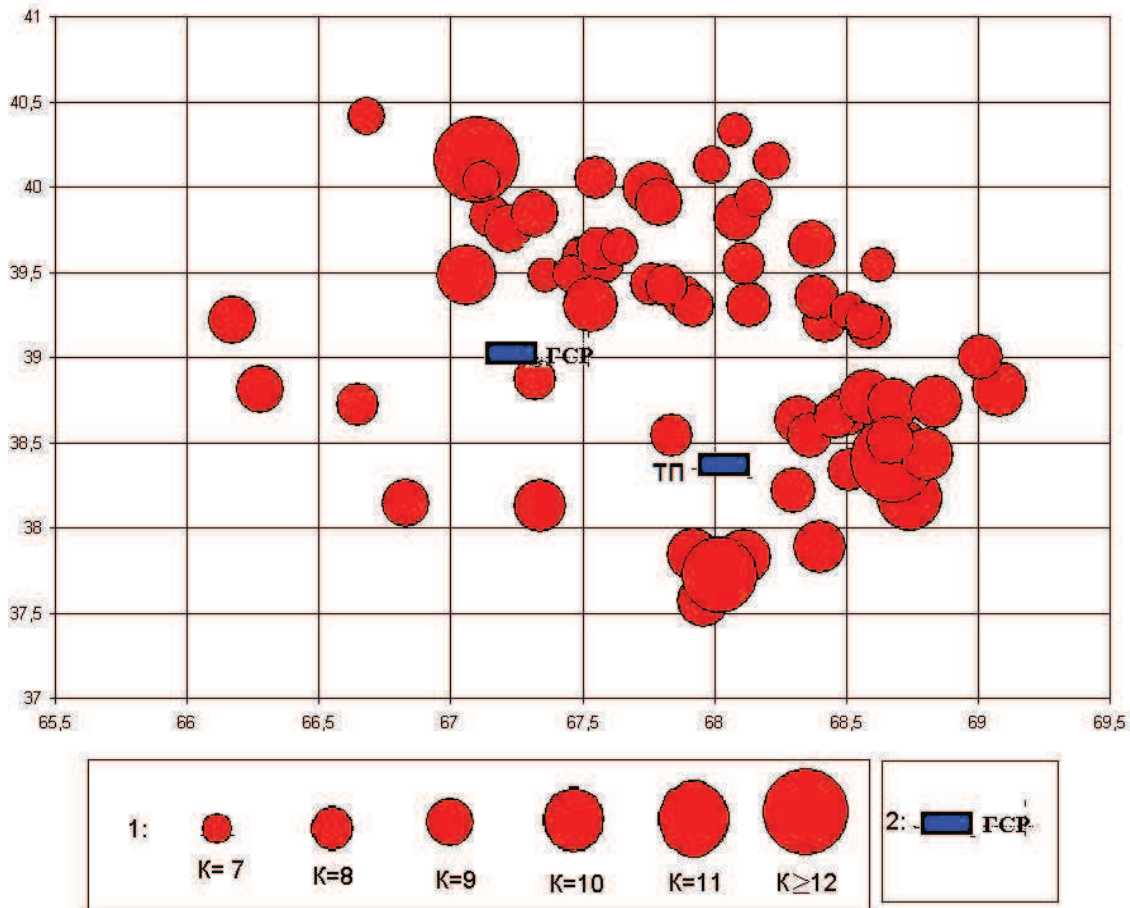
Период времени	$S1=42000 \text{ км}^2$		$S2=7400 \text{ км}^2$	
	γ	A_{10}	γ	A_{10}
1963 – 1971	$0.51 + 0.04$	0.15	$0.47 + 0.02$	0.18
1972 – 1983	$0.52 + 0.03$	0.20	$0.47 + 0.02$	0.26
1983 - 1986	$0.52 + 0.05$	0.17	$0.59 + 0.02$	0.17
1987 - 1995	$0.57 + 0.02$	0.30	$0.57 + 0.01$	0.36
1995 - 2005	$0.53 + 0.04$	0.28	$0.56 + 0.02$	0.24
2005 – 2015	$0.52 + 0.02$	0.23	$0.44 + 0.01$	0.14

При сравнении изменений значений сейсмических параметров за весь период выявляется, что локальный максимум смещается к северо-западу. В целом активность по району хотя и незначительно, но увеличивается. Поэтому о сейсмичности района Андижанского водохранилища можно отметить следующее: во время строительства и эксплуатации Андижанского водохранилища отмечается повышение значений основных показателей: значение A_{10} увеличилось, наблюдается общее увеличение N числа землетрясений.

При детальном изучении сейсмичности зоны Гиссаракского и Тупалангского водохранилищ в Южном Узбекистане были выявлены слабые местные землетрясения с $K=8$. Расстояние между Гиссаракским и Тупалангским водохранилищами составляет менее 100 км (рис.1), что позволило рассматривать их совместно. За современный период проявление вышеуказанных сотрясений увеличилось с октября 2008 года на записях сейсмических станций, работающих в ждущем режиме, и с мая 2009 года на цифровых записях, на объекте Гиссаракского и Тупалангского водохранилищ. Данные слабые сейсмические толчки активизировались в марте-мае 2010 года и августе и сентябре 2011 года, когда уровень воды в водохранилищах поднялся выше отметки $H = 100$ м [4,9].

Возможно увеличение γ связано с усилением слабой сейсмичности в области будущего сильного землетрясения, а последующее уменьшение вызвано объединением разрывов и образованием более крупных.

Из рассмотрения вышеназванных значений наклона графика повторяемости γ видно, что расхождение в значениях γ лежит в пределах ошибок. Это позволяет считать, что до создания в районе водохранилищ средне долговременное значение параметра γ графика повторяемости существенно не изменялось. Таким образом, за средне долговременное значение угла наклона графика повторяемости для данного района следует принять $\gamma=0,53\pm 0,08$ [1,10]. Для последних двух интервалов значение γ графика повторяемости резко уменьшилось, в данный период началось заполнение водохранилищ и их сработка (рис.1).



1- энергетические классы по увеличению; 2- условное место расположения водохранилищ
 Рис. 1. Распределение местных и дальних очагов землетрясений в ближней зоне Гиссаракского и Тупалангского водохранилищ.

Известно, что подготовка сильного тектонического землетрясения в районе водохранилищ характеризуется значимым уменьшением параметра γ [1,10].

Перед землетрясениями $M=4,04\div 4,6$ уменьшение γ происходило на 16%.

Перед землетрясением $M=5,0$ уменьшение составляло 28%.

Для землетрясений $M=3,9\div 4,3$, вызванных воздействием водохранилища - резким снятием нагрузки наблюдался обратный эффект - увеличение параметра γ до 20%.

Выводы: В отличие от Приташкентского района и Ферганской долины, для территории Узбекистана, расположенной западнее 68° ВД и ниже 40° СШ получены лишь средние значения A_{10} сейсмической активности. Для построения карты сейсмической активности данных о землетрясениях было недостаточно, поэтому определяющее значение при сейсмическом районировании этой территории придавалось фактам уже проявившихся сильных землетрясений. В результате на участках с одним и тем же фоном сейсмической активности $A_{10}=0,25$ была установлена различная балльность. Анализ изменений количества сброшенных напряжений, т.е. количество близких землетрясений за 2008-2013гг. на фоне низкой сейсмичности при росте объема воды на водохранилищах Чарвак, Андижан, Гиссарак и Тупаланг показало, что при росте объема воды в водохранилищах в радиусе 50км наблюдается рост количества сбросов напряжений.

Работа выполнена при поддержке проекта ФА-Ф-8-008 Программы фундаментальных исследований Агентство развития науки и технологии при КМ РУз и Академии наук РУз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lutfulla Hamidov, Local Seismicity of Reservoir Areas Based on Digital Seismometric Observations.// IV International Conference "Problems of Cybernetics and Informatics" (PCI2012), September 12-14, 2012.-vol. III.- Baku, Azerbaijan.- P.85-89.
2. Плотникова Л.М., Уломов В.И. Разработать техническое задание и создать инженерно-сейсмометрическую службу на Чарвакской плотине на основе изучения локальной сейсмичности. - Ташкент: ИС АН УзССР, 1980, С.68-84.
3. Dams and development. The Report of the World Commission on Dams. EARTHSCAN. London and Sterling, VA. November 2000. P. 404.
4. Хамидов Л.А., Шукуров М.А. Локальная сейсмичность зоны деформационного влияния Гиссаракского водохранилища.// Материалы III-Международной сейсмологической школы.- «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных»- Кисловодск, 20-24-октября 2008 г.- С.211-216.
5. Касымов С.М., Джураев Н.М., Тимбеков И.Х., Мирзаев В.М. Сейсмическое микрорайонирование площадей строительства гидротехнических сооружений Узбекистана.- Ташкент: Фан.- 1974.- 155с.
6. Плотникова Л.М., Матасова Л.М., Суров В.П., Махмудова В.И. Особенности проявления землетрясений в районе Чарвакского водохранилища в период максимального заполнения.//Сейсмологические исследование в Узбекистане.-Фан:Ташкент.-1979.-С.46-53.
7. Тимбеков И.Х., Джураев Н.М., Туйчиева М.А. О достижениях комплексных инженерно-сейсмологических исследований, проведенных в районе предстоящего строительства гидротехнических сооружений в сейсмоактивных зонах Узбекистана.// Проблемы сейсмологии в Узбекистане, -Ташкент: «Янги авлод» - №3, 2006- С.54-63.
8. Хамидов Л.А., Зияудинов Ф.Ф. Фахриддинов Ж.Ф., Хамидов Х.Л., Шукуров М.А. Сейсмичность зон деформационного влияния водохранилищ Узбекистана// 11-Сергеевские чтения юбилейная конференция, посвященная 95-летию со дня рождения академика Е.М. Сергеева (1914-1997), Москва, 23-24 марта 2009 г.-С.123-128.
9. Хамидов Л.А., Зиявитдинов К.Ф., Шукуров М.Ш. Жесткостные характеристики массивов горных пород в ближней зоне водохранилищ.// Журнал Геология и минеральные ресурсы. - №4, 2010.- С.34-39.
10. Алимухамедов И.М., Шукуров З.Ф., Хамидов Х.Л., Зиёмов Б.З., Фахриддинов Ж.Ф. Показатели локальной геодинамической активности земной коры зон водохранилищ // ГиМР- Ташкент, 2014.- №5 - С.16-21.

УДК: 550.360; 551.583

ИЗУЧЕНИЕ СВОБОДНОЙ ТЕПЛОВОЙ КОНВЕКЦИИ В БУРОВЫХ СКВАЖИНАХ. РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

*Хацкевич Богдан Дмитриевич, Демежко Дмитрий Юрьевич,
Миндубаев Мансур Габдрахимович
disaybl@yandex.ru, ddem54@inbox.ru, mansur_mg@mail.ru
Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, Российская Федерация*

Аннотация. Описаны результаты экспериментальных исследований свободной тепловой конвекции, возникающей в вертикальной водонаполненной трубе (скважине) в условиях положительного температурного градиента. Приводится описание лабораторной установки, моделирующей скважинные условия. Тепловая структура конвективных течений оценивается с помощью инфракрасной съемки внешних стенок трубы.

STUDY OF FREE THERMAL CONVECTION IN BOREHOLES. RESULTS OF LABORATORY EXPERIMENT

*Khatskevich Bogdan Dmitrievich, Demezhko Dmitry Yurievich,
Mindubaev Mansur Gabdrahimovich.
disaybl@yandex.ru, ddem54@inbox.ru, mansur_mg@mail.ru
Institute of Geophysics UB of RAS, Yekaterinburg*

Abstract. Results of experimental investigations of the free thermal convection which appears under positive thermal gradient in vertical water filled pipes (boreholes) are described. A laboratory setup which reproduces borehole conditions also described. A thermal structure of the free thermal convection currents is estimated by means of infrared thermography of the outer wall of the pipe.

В водонаполненных буровых скважинах свободная тепловая конвекция (СТК) возникает, когда вследствие положительного температурного градиента более теплый и, следовательно, более легкий флюид располагается ниже холодного и тяжелого. Восходящие и нисходящие потоки стремятся выровнять плотностные и температурные неоднородности, однако температурное поле в горных породах поддерживает положительный градиент.

Возникновение и развитие СТК определяется значением безразмерного числа Рэлея. Для скважинных условий (вертикальный цилиндр):

$$Ra = \frac{g\beta r^4}{\nu a} G, \quad (1)$$

где g - ускорение свободного падения, β - коэффициент объемного температурного расширения, ν - кинематическая вязкость, a – температуропроводность, r – радиус скважины, G – температурный градиент. Входящие в это соотношения параметры β , ν , a , в свою очередь, зависят от температуры. Конвекция возникает когда Ra превышает некоторое критическое значение Ra_{crit} . Последнее для скважины лежит в пределах 68-216 в зависимости от отношения теплопроводностей заполняющей скважину жидкости и окружающего ее массива λ_f/λ_m [1]:

$$Ra_{crit} = \frac{96}{5(1+7\lambda_f/\lambda_m)} \left[(33+103\lambda_f/\lambda_m) - \sqrt{3(2567+14794\lambda_f/\lambda_m + 26927(\lambda_f/\lambda_m)^2)} \right] \quad (2)$$

Когда стенки скважины теплоизолированы ($\lambda_f/\lambda_m \rightarrow \infty$) $Ra_{crit} = 68$, если же массив представляет собой идеальный проводник тепла ($\lambda_f/\lambda_m = 0$), тогда $Ra_{crit} = 216$.

Организовать систему наблюдений в реальной буровой скважине, позволяющую детально оценить структуру течений при различных числах Рэлея и температурных градиентах, весьма проблематично. Известные лабораторные методы исследования структуры СТК довольно приблизительно имитируют реальные условия буровой скважины. Обычно используется стеклянная водонаполненная труба, внешние стенки которой теплоизолируются, а необходимый температурный градиент обеспечивается подогревом воды в нижней части трубы [3,4,5]. В реальных же скважинах температурный градиент поддерживается именно теплообменом с породами. Информацию о структуре СТК получают либо с температурных датчиков, внедренных непосредственно в трубу [3], либо – путем наблюдения (фото и видео регистрации) за движением непрозрачных частиц через стеклянные стенки [3,4,5]. В первом случае детальность получаемой картины ограничивается количеством датчиков, внедренных в трубу. Кроме того, сами датчики могут значительно исказить картину СТК. Второй способ показал себя эффективным для оценки скоростей течений, однако дает весьма невнятную картину их пространственной организации. Нами разработан лабораторный метод моделирования СТК, позволяющий преодолеть перечисленные недостатки.

Метод исследований.

В основе метода исследования СТК лежит инфракрасная визуализация температурных аномалий, возникающих на внешних стенках вертикальной водонаполненной

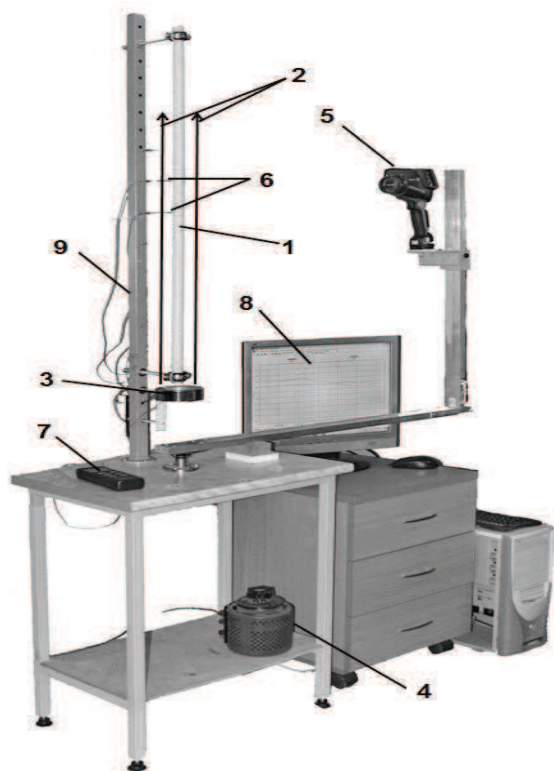


Рис. 1. Лабораторный стенд для моделирования СТК в водонаполненной скважине. 1 – керамическая труба; 2 – поток нагретого воздуха; 3 – нагреватель; 4 – лабораторный автотрансформатор; 5 – инфракрасная камера Testo 875; 6 – термоэлектрические преобразователи; 7 – термоэлектрический термометр (термопара); 8 – компьютер; 9 – штатив;

керамической трубы, в которой поддерживаются условия конвекции. Опытным путем было установлено, что температурные возмущения внутри трубы лучше всего передаются на ее внешние стенки при использовании керамики. Метод был реализован в лабораторном стенде (рис.1). Температурный градиент на внешних стенках трубы (1) создается восходящим потоком воздуха (2) от тороидального нагревателя (3) питаемый лабораторным автотрансформатором (латр) (4), а пространственно-временное распределение температуры на внешней стенке трубы измеряется с помощью инфракрасной камеры (5). Система установки инфракрасной камеры обеспечивает возможность ее перемещения вертикально, горизонтально и вокруг трубы. Для контроля температуры воды в стенку трубы вмонтированы термопары (6), термоэлектрический термометр (7), который имеет возможность вывода измерений на компьютер (8), что позволяет контролировать процесс запуска СТК online.

В реальных буровых скважинах диаметром 75-150 мм критический температурный градиент, при котором начинается конвекция, невелик: $n \cdot (10^{-3} - 10^{-4})$ К/м. Воссоздать и поддерживать его в лабораторных условиях довольно сложно. Но при уменьшении диаметра критический

градиент резко возрастает. Для трубы с внутренним диаметром 20 мм (как в описываемом эксперименте) он составляет $\sim 1\text{К/м}$. Температурные эффекты СТК также возрастают пропорционально увеличению градиента [7,8,9] и их можно надежно регистрировать на фоне помех с помощью инфракрасной камеры. В то же время, результаты эксперимента, используя принципы подобия, несложно обобщить на условия реальных скважин.

Измерения проводились с помощью инфракрасной камеры Testo 875 в центральной части трубы после двухчасового прогрева и наступления установившегося конвективного режима. Температурный градиент регулировался изменением напряжения лабораторного автотрансформатора. Измерения включали 45-минутный температурный мониторинг с минутной дискретизацией снимков при заданном положении камеры. Перед началом мониторинга, на 16, 31 минутах и после его окончания производилась съемка азимутальной развертки (от $-\pi/2$ до $+\pi/2$ через $\pi/4$). По полученным данным опыта строилась одна временная и четыре азимутальные развертки температурных аномалий (рис. 2). Аномалии на стенках оцениваются для центрального профиля каждого снимка вычитанием из наблюдаемого распределения температур невозмущенного распределения, соответствующего среднему значению градиента

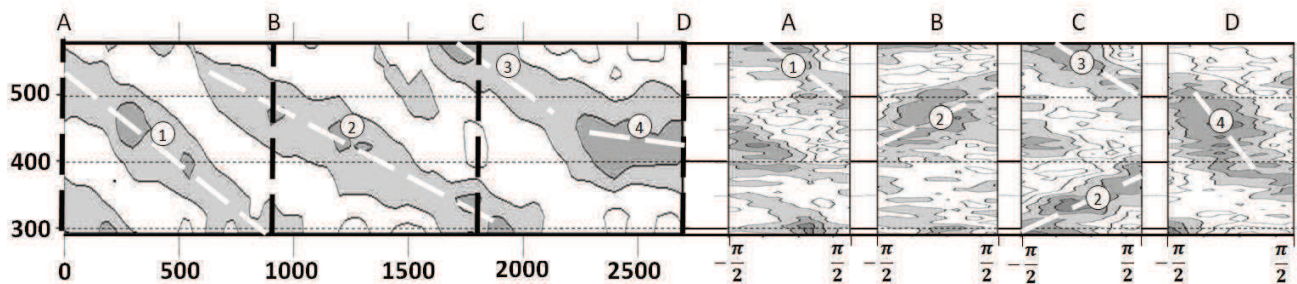


Рис. 2 Временная (левая колонка) и азимутальные (правая колонка) развертки температурных аномалий, вызываемых свободной тепловой конвекцией в вертикальной водонаполненной трубе при мощности нагревателя 17 Вт.

Результаты и интерпретация

По данной методике было проведено 8 экспериментов, с изменением мощности нагревателя от 11 до 84 Вт. Условия экспериментов и интерпретация результатов приведены в таблице 1 и на рис. 3, 4. Количество аномалий наблюдаемых в одном опыте варьировалось

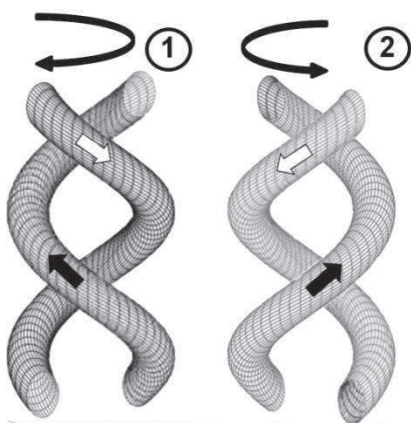


Рис. 3. Пространственная реконструкция системы течений СТК. Черными стрелками обозначены восходящие потоки, белыми – нисходящие. Стрелки над рисунками указывают направление вращения

от 4 до 6, всего было зарегистрировано 36. Они характеризуются общей картиной однозначно указывающей на то, что восходящие и нисходящие потоки СТК организованы в виде винтовых линий, вращающихся вокруг оси скважины (рис.3). Для оценки параметров винтовой системы необходимо выделить оси аномалий (рис 2) и рассчитать их наклоны. Наклон аномалии на азимутальнойразвертке $\eta_1 = \Delta l_1 / \Delta \phi$ определяет шаг винта $h = 2\pi \eta_1$. Наклон аномалии на временной развертке $\eta_2 = \Delta l_2 / \Delta t$ и шаг винта h позволяют оценить период полного оборота системы $\tau = h / \eta_2 = 2\pi \eta_1 / \eta_2$ или угловую скорость вращения $\omega = 2\pi / \tau = \eta_2 / \eta_1$.

Эксперименты показали, что при небольших превышениях критического числа Рэлея течения СТК представляют собой вращающуюся винтовую систему. Точно определить критическое число Рэлея,

описываемое выражением (2), для данной экспериментальной установки сложно, т.к. необходимо знать теплопроводность массива. Здесь же речь может идти лишь об эффективной теплопроводности, определяемой конвективным теплообменом между внешней стенкой трубы и потоком воздуха. Учитывая, что конвективный механизм намного эффективнее кондуктивного, можно предположить, что критическое число ближе к верхней оценке $Ra_{cr}=216$.

Таблица 1. Условия экспериментов, характеристики аномалий и оценки параметров СТК

№	Условия эксперимента				Характеристики аномалий		Параметры течений СТК			
	W, Вт	T, °C	G, К/м	Ra	$\eta 2$, мм/с	$\eta 1$, мм/рад	h, мм	τ , с	ω , рад/с	Основное направл. закрутки: + правое, - левое
1	11,1	29,87	1,12	279,4	0,260	40,941	257,24	1056,911	0,006259	-
2	17,4	28,58	1,65	384,83	0,292	43,948	276,133	1098,134	0,00712	-
3	25	24,12	1,76	322,33	0,508	34,118	214,367	633,786	0,012625	-
4	34	24,59	2,16	407	0,527	35,390	222,36	444,530	0,016282	+
5	44,4	25,39	4,19	829,33	0,542	30,706	192,93	380,462	0,018619	+
6	56,3	32,03	5,58	1525	0,548	20,210	126,985	244,887	0,031619	+
7	69,4	35,36	6,86	2134	0,743	24,981	156,96	248,594	0,029145	-
8	84	35,57	9,08	2843,33	0,467	24,114	151,51	341,949	0,034397	+

При увеличении мощности нагревателя градиент и число Рэлея увеличивались по экспоненте (рис. 4а). Скорость вращения спирали имеет прямую логарифмическую зависимость от закритического числа Рэлея $Ra - Ra_{cr}$, а шаг спирали обратную (рис 4б). Примерно с равной вероятностью наблюдались как правые, так и левые винтовые системы. Направление вращения всегда согласовано с направлением закручивания: правые винты вращаются против часовой стрелки (если смотреть на трубу сверху), левые – по часовой (рис.3).

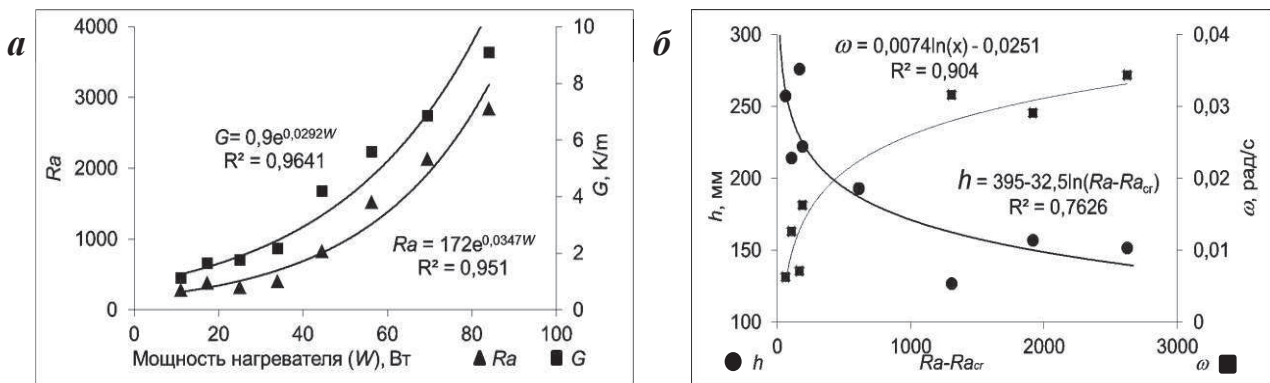


Рис. 4 а - графики зависимости температурного градиента (G) и числа Рэлея (Ra) от мощности нагревателя (W); б – графики зависимости шага (h) и скорости вращения (ω) спирали от закритического числа Рэлея ($Ra - Ra_{cr}$)

Заключение. Впервые разработан экспериментальный лабораторный метод изучения структуры течений СТК в условиях, приближенных к скважинным. Он основан на инфракрасной визуализации температурных аномалий, возникающих на внешних стенках вертикальной водонаполненной керамической трубы, в которой поддерживаются условия конвекции. Температурный градиент на внешних стенках трубы создается восходящим потоком воздуха от нагревателя.

Согласно сложившимся представлениям [4,6,7] течения СТК организованы в виде вертикальной последовательности конвективных ячеек (по типу ячеек Рэлея-Бенара в плоском слое). Математическое моделирование, проведенное нами ранее [2] показало возможность реализации течений СТК в виде винтовых струй. В настоящей работе эта возможность впервые доказана экспериментально. Таким образом, термины «ячейка» и ее «вертикальный размер» некорректны по отношению к исследуемому процессу. Единственным «характерным» вертикальным размером является шаг винта. В эксперименте он составил 151-257 мм или 7.5 - 13 в единицах внутреннего диаметра трубы.

Проведенные эксперименты впервые показали, что течения СТК в условиях, приближенных к условиям в буровых скважинах представляют собой систему 2 винтовых струй, вращающихся вокруг вертикальной оси.

Установлено что скорость вращения спирали имеет прямую зависимость от числа Рэлея. Шаг спирали имеет обратную зависимость от скорости вращения и числа Рэлея.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гершуни Г.Э., Жуховицкий Г.М. Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости. М., Наука, 1972, 393с.
2. Миндубаев М.Г., Демежко Д.Ю. Свободная тепловая конвекция в буровых скважинах: численное моделирование и экспериментальные данные. //Мониторинг. Наука и технологии, 2012, №4(13), с.12-18
3. Остроумов Г.А. Свободная конвекция в условиях внутренней задачи. Гостехиздат. Москва-Ленинград. 1952. 286 с.
4. Berthold S., Börner F. Detection of free vertical convection and double-diffusion in groundwater monitoring wells with geophysical borehole measurements //Environmental geology. – 2008. – Т. 54. – №. 7. – С. 1547-1566.
5. Berthold S., Resagk C. Investigation of thermal convection in water columns using particle image velocimetry //Experiments in fluids. – 2012. – Т. 52. – №. 6. – С. 1465-1474.
6. Cermak V., Bodri L., Safanda J. Precise temperature monitoring in boreholes: Evidence for oscillatory convection? Part II. Theory and Interpretation. //Int. J. Earth Sci., 2008, v. 97(2), p.375-384, doi:10-1007/s00531-007-0250-7
7. Diment W. H. and Urban Th. C. A simple method for detecting anomalous fluid motions in boreholes from continuous temperature logs. /GRC Trans., 1983, v. 7, p. 485–490.
8. Eppelbaum L. V., Kutasov I. M. Estimation of the effect of thermal convection and casing on the temperature regime of boreholes: a review //Journal of Geophysics and Engineering. – 2011. – Т. 8. – №. 1. – С. R1
9. Sammel E. A. Convective flow and its effect on temperature logging in small-diameter wells. //Geophysics, 1968, v. 33(6), p. 1004–1012

УДК 622.83+ 530.1(075.8)

**НОВЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ
ШАХТНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ С УЧЁТОМ
ИЕРАРХИЧНОЙ ГЕТЕРОГЕННОСТИ ГОРНОГО МАССИВА**

¹Хачай Ольга Александровна, ²Хачай Олег Юрьевич

¹olgakhachay@yandex.ru

²khachay@yandex.ru

¹Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН, Екатеринбург, Россия

²Уральский Федеральный Университет им.Б.П.Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. При ведении горных работ в высоконапряженных массивах скальных пород проявляется техногенная сейсмичность, вопросам прогноза и профилактики которой уделяется много внимания во всех странах с развитой горнодобывающей промышленностью. Важная роль здесь принадлежит краткосрочному прогнозу, методика выделения критериев для него все еще является проблемой как в горном деле, так и в сейсмологии. С точки зрения парадигмы физической мезомеханики, включающей в себя синергетический поход к изменению состояния массивов горных пород различного вещественного состава, эту проблему можно решить с помощью методов мониторинга, настроенных на изучение иерархических структурных сред. Изменения в среде, приводящие к краткосрочным предвестникам динамических явлений, объясняются в рамках концепции самоорганизованной критичности, для которой узловыми моментами являются неоднородность и нелинейность. Введение в систему отработки предлагаемого комплексного пассивного и активного геофизического мониторинга, нацеленного на изучение переходных процессов перераспределения напряженно-деформированного и фазового состояний, может способствовать предотвращению катастрофических динамических проявлений при отработке глубокозалегающих месторождений. Методы активного геофизического мониторинга должны быть настроены на модель иерархической неоднородной среды и снабжены новыми результатами распространения волновых полей в слоисто-блоковых средах с включениями иерархического строения.

**NEW MONITORING SYSTEMS FOR THE STUDY OF MINE SEISMICITY, TAKING
INTO ACCOUNT THE HIERARCHY HETEROGENEITY OF ROCK MASSIF**

¹O.A. Hachay, ²O.Yu Khachay

¹Institute of Geophysics UB RAS, Ekaterinburg, Russian Federation

²Ural Federal University, Ekaterinburg, Russian Federation

Summary. By mining in highly stressed rock massive it is manifested technogenic seismicity, on which the prediction and prevention is given a lot of attention in all the developed mining countries. An important role here belongs to the short-term forecast; the technique of selection criteria for it is still a problem both in mining and in seismology. From the perspective of the paradigm of physical mesomechanics comprising synergistic campaign to change the state of rock massive of different material composition, the problem can be solved with the help of monitoring techniques that are configured on the study of hierarchical structural environments. Changes in the environment, leading to short-term precursors of dynamic phenomena are explained in the framework of the concept of self-organized criticality, for which the nodal points are heterogeneous and nonlinearity. Introduction to the system of working out a proposed integrated passive and active geophysical monitoring, aimed at the study of transient redistribution of the stress-strain and phase states can help to prevent catastrophic dynamic events of deep-located deposits in mining. Active geophysical monitoring methods must be adjusted to the hierarchical

model of a heterogeneous medium and provided with new results of the spread of the wave fields in layered block media with inclusions of hierarchical structure.

Определение состояния и динамики массива – задача более сложная, чем картирование его структуры. Отдельные части массива могут находиться в различном напряженном состоянии, а соответствующие деформации могут быть как упругими, так и пластическими. Среда может быть многофазной. Резкое изменение состояния блоков может привести к потере устойчивости всего массива и горному удару. Изменение состояния определяется как природным, так и техногенным воздействием на массив и проявляется, в том числе, в виде образования техногенных полостей и накачки механической энергией во время массовых взрывов, предусмотренных технологиями отработки. Явление нестационарности горного массива на сегодняшний день является известным фактом [1,2]. Проявления ее бывают как от малозаметных, в виде увеличения проницаемости за счет увеличения трещиноватости горных пород, так уже регистрируемых в виде толчков, микроударов, горных ударов, горно-тектонических ударов [3]. Последние относятся уже к катастрофическим явлениям, которые инициируются как внутренними, так и внешними техногенными причинами. Для прогнозирования таких явлений при отработке конкретного рудного месторождения важно калибровать степень релаксации горного массива в ответ на контролируемое механическое воздействие. При этом задача включает: -поиск и идентификации зон - включений в слоисто-блоковом изотропном по физическим свойствам массиве и слежение за их миграцией под влиянием изменения техногенных напряжений, - оценке состояния массива по типу включений: контакт на границах пород различного состава, либо трещиноватая среда с различной степенью влагонасыщенности и фиксации ее изменения во времени. Все перечисленное делает актуальной задачу создания комплексного подхода к исследованию состояния массива горных пород на базе взаимоуточняющих геофизических и геомеханических методов.

С использованием 3D [4-5] электромагнитного индукционного пространственно-временного мониторинга удалось показать, что модель иерархичной дискретной среды применима для описания строения массива горных пород различного вещественного состава [6]. В рамках конкретной модификации метода удалось проследить два иерархических уровня. Зоны дезинтеграции [7] в околорудном пространстве расположены несимметрично в почве и кровле, что может быть свидетельством неравновесного состояния системы. Эти зоны располагаются дискретно, т.е. имеются интервалы их полного отсутствия в околорудном пространстве. Максимальные изменения в массиве, находящемся под техногенным влиянием, проявляются именно в изменении со временем морфологии пространственного положения этих зон.

Полученные результаты позволяют заключить, что массив горных пород представляет многогранговую иерархическую структуру. Изучение динамики состояния, его структуры и явлений самоорганизации массива можно вести с использованием попланшетной многоуровневой индукционной электромагнитной методики с контролируемым источником и соответствующей методики обработки и интерпретации, которая позволила выявить зоны дезинтеграции, являющиеся индикатором устойчивости массива.

В настоящее время востребованы теоретические результаты по моделированию электромагнитного и сейсмического поля в слоистой среде с включениями иерархической структуры [8-10]. Построены алгоритмы моделирования в электромагнитном случае для 3-D неоднородности, в сейсмическом случае для 2-D неоднородности. Показано, что с увеличением степени иерархичности среды увеличивается степень пространственной нелинейности распределения составляющих сейсмического и электромагнитного поля, что соответствует проведенным детальным мониторинговым экспериментам в удароопасных шахтах Таштагольском рудника и СУБРа.

Построенная теория продемонстрировала, как усложняется процесс комплексирования методов, использующих электромагнитное и сейсмическое поле для

изучения отклика среды с иерархической структурой. Эта проблема неразрывно связана с формулировкой и решением обратной задачи для распространения электромагнитного и сейсмического полей в таких сложных средах. Рассмотрена проблема [11-14] построения алгоритма решения обратной задачи с использованием уравнения теоретической обратной задачи для 2-D уравнения Гельмгольца. Выписаны явные уравнения теоретической обратной задачи для случаев рассеяния электромагнитного поля (Е и Н поляризации) и рассеяния линейно поляризованной упругой волны в слоистой проводящей и упругой среде с иерархическим проводящим или упругим включением, являющиеся основой определения контуров несоосных включений I-го ранга иерархической структуры.

Очевидно, что при решении обратной задачи в качестве исходных данных мониторинга необходимо использовать системы наблюдения, настроенные на исследование иерархической структуры среды. С другой стороны, чем сложнее среда, тем каждое волновое поле привносит свою информацию о ее внутренней структуре, поэтому интерпретацию сейсмического и электромагнитного поля необходимо вести отдельно, не смешивая эти базы данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Адушкин А.А., Цветков В.М. Влияние структуры и геодинамики на напряженное состояние земной коры. // Проблемы механики горных пород. - С. Петербург. - 1997.-с.7-12.
2. Шкуратник В.Л., Лавров А.В. Эффекты памяти в горных породах. Физические закономерности, теоретические модели. - М.: Изд-во Академии горных наук. -1997. –с.158.
3. Каталог горных ударов на рудных и нерудных месторождениях. -Ленинград. ВНИМИ. - 1986.-с.183.
4. Хачай О.А. К вопросу об изучении строения и состояния геологической гетерогенной нестационарной среды в рамках дискретной иерархической модели // Российский геофизический журнал. -2004. -№ 33-34.-с.32-37.
5. Хачай О.А., Новгородова Е.Н., Хачай О.Ю. Новая методика обнаружения зон дезинтеграции в околорудном пространстве массивов горных пород. // Информационный горно-аналитический бюллетень. -2003. - №11.-с.26-29.
6. Хачай О.А. Исследование развития неустойчивости в массиве горных пород с использованием метода активного электромагнитного мониторинга. // Физика Земли. - 2007. - №4.-с.65-70.
7. Шемякин Е.И., Фисенко Г.Л., Курленя М.В., Опарин В.Н. и др. Эффект зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок. // ДАН СССР. - 1986. - Т. 289. - №5.-с.1088-1094.
8. Хачай О.А., Хачай О.Ю., Хачай А.Ю. Новые методы геоинформатики для комплексирования сейсмических и гравитационных полей в иерархических средах.// Геоинформатика. – 2016. - №3.-с. 25-29.
9. Хачай О.А., Хачай О.Ю., Хачай А.Ю. Новые методы геоинформатики мониторинга волновых полей в иерархических средах. // Геоинформатика 2015, №3.-с.45-51.
10. Хачай О.А., Хачай А.Ю. Моделирование распространения сейсмического поля в слоисто-блоковой упругой среде с иерархическими пластическими включениями. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. - №12.- с.318-326.
11. Хачай О. А., Хачай А. Ю. Определение поверхности аномально напряженного включения в иерархической слоисто-блоковой среде по данным акустического мониторинга // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. - №4.-с.354-356.
12. Хачай О. А., Хачай А. Ю. Определение поверхности флюидонасыщенного пористого включения в иерархической слоисто-блоковой среде по данным электромагнитного мониторинга // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. - №4.-с.150-154.
13. Хачай О.А., Хачай О.Ю., Хачай А.Ю. Комплексирование акустических, гравитационных, и геомеханических полей в иерархических средах. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. - №4.- с.328-335.

УДК 550.425

ВЛИЯНИЕ ВЫДЕЛЕНИЯ ТЕПЛА ПРИЛИВНОГО ТРЕНИЯ В СИСТЕМЕ ЗЕМЛЯ-ЛУНА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВО ВНУТРЕННИХ ОБЛАСТЯХ ПЛАНЕТЫ НА СТАДИИ ЕЕ АККУМУЛЯЦИИ.

Хачай Юрий Васильевич¹, Хачай Ольга Александровна², Антипин Александр Николаевич³

¹e-mail: yu-khachay@yandex.ru

²e-mail: olgakhachay@yandex.ru

³e-mail: anantipin@rambler.ru

^{1,2,3} *Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН, Екатеринбург, Россия*

Аннотация. Показано использование 3D модели при численном решении краевых задач для системы уравнений в частных производных, которые описывают модельную задачу эволюции растущих Земли и Луны на стадии их формирования. Получены первые оценки вклада диссипации энергии приливного трения во внутренних областях формирующихся Земли и Луны. Эти оценки получены впервые, однако являются предварительными.

INFLUENCE OF THE HEAT DISTRIBUTION OF THE TIDING FRICTION IN THE LAND-MOON SYSTEM ON THE DISTRIBUTION OF TEMPERATURE IN THE INNER AREAS OF THE PLANET AT THE STAGE OF ITS ACCUMULATION.

Yu.V.Khachay, O.A.Hachay, A.N.Antipin

Institute of Geophysics UB RAS, Ekaterinburg, Russian Federation

Summary. It is shown the use of the 3D model for the numerical solution of the boundary problems for a system of partial differential equations that describe the model problem of the evolution of the growing Earth and Moon at the stage of their formation. The first estimates of the contribution of the energy dissipation of tidal friction in the interior regions of the forming Earth and Moon are obtained. These estimates had been obtained for the first time and tentative.

Резко увеличившиеся возможности вычислительной техники и численных методов решения краевых задач для систем нелинейных дифференциальных уравнений позволило перейти к моделированию процессов, которые раньше представлялись находящимися вне сферы физико-математического анализа. Так удалось рассмотреть вклад в качестве внутренних источников энергии и процессов тепло-массо-переноса во внутренних оболочках протопланеты и их влияние на динамику формирования Земли в процессе ее аккумуляции [1,2]. В качестве основных рассматриваются вклады потенциальной энергии, сопровождающей формирование конденсированного тела из протопланетного облака; энергии естественно радиоактивного распада коротко живущих радиоактивных элементов и энергии гравитационного сжатия. Но следует учесть, что аккумуляция Земли происходила по существу в двойной системе Земля-Луна. Поэтому важно учитывать выделение энергии вязкого трения лунных приливов, которое существенно изменялось на стадии аккумуляции системы. В работах [1,2] была предложена модель дифференциации вещества Солнечного протопланетного облака в процессе аккумуляции планет земной группы, опирающаяся на полученные численные результаты решения краевой задачи для системы уравнений, описывающей баланс импульса, массы, температуры и давления во внутренних областях растущих Земли и Луны в процессе их аккумуляции (1)-(5)

В качестве модели описывающей роста массы протопланет используем уравнение Сафронова [3]:

$$\frac{\partial m}{\partial t} = 2(1 + 2\theta)r^2\omega\left(1 - \frac{m}{M}\right)\sigma, \quad (1)$$

m -текущее значение массы растущего тела, M – конечная масса планеты, r – радиус растущей протопланеты, θ – статистический параметр, который учитывает распределение тел и частиц по массам и скоростям в “зоне питания” протопланеты, σ – поверхностная плотность вещества протопланетного облака на орбите растущего тела, ω – угловая скорость орбитального вращения. Изменение температуры во внутренних частях растущих планет описывалось системой уравнений

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \vec{V}(\nabla \vec{V}) \right) = -\nabla P + \mu \Delta \vec{V} + 2\rho \vec{V} \times \vec{\Omega} - \rho \nabla W, \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{V}(\nabla T) = \chi \Delta T + Q_1, \quad (3)$$

$$\text{div} \vec{V} = 0. \quad (4)$$

В приближении Буссинеска существенно упрощаются уравнения (2)-(4), а в уравнении баланса энергии здесь учитывается адиабатическое нагревание и выделение энергии радиоактивных источников Q_1 , но не учитывается вклад диссипации энергии вязкого трения. Численно решается система уравнений в сферическом секторе, на боковых его поверхностях заданы условия периодичности а на внешней поверхности растущего радиуса вычисляются условия (5) [2]:

$$k\rho \frac{\gamma M}{r} \frac{dr}{dt} = \varepsilon \sigma [T^4 - T_1^4] + \rho c_p [T - T_1] \frac{dr}{dt}, \quad (5)$$

где: ρ – плотность вещества, γ - гравитационная постоянная, M – масса растущей планеты, r – ее радиус. T и T_1 – соответственно, температуры поверхности тела и внешней среды, ε - коэффициенты проницаемости и c_p удельной теплоемкости, k – доля преобразования потенциальной энергии в тепловую.

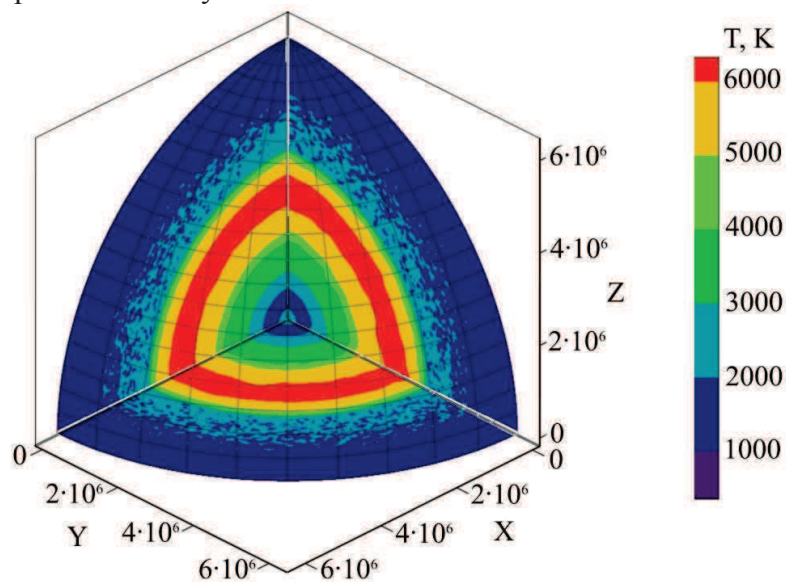


Рис. 1. Пример распределения температуры и начальных тепловых неоднородностей в протопланете к концу ее аккумуляции без учета тепла приливного трения.

В [2] было показано, что выделение энергии при распаде короткоживущих радиоактивных элементов уже в небольших, размером более 50 км, достаточно, чтобы температура внутри такого планетного зародыша стала больше температуры плавления железа. Это обеспечивает реализацию процесса дифференциации вещества и развитие конвекции во внутренних оболочках. По мере роста Земли формирующаяся область внешнего ядра

оставалась в расплавленном состоянии. Использование 3D-модели позволяет проследить эволюцию тепловых неоднородностей, возникающих при падении тел на растущую поверхность. Удалось проследить возникновение и развитие тепловых неоднородностей в растущем ядре и мантии Земли. Подобные результаты получены и для Луны. Как видно из результатов, представленных на рисунках рис. 1-2, образующиеся за счет случайного распределения падения тел на формирующуюся планету приповерхностные тепловые неоднородности не успевают гомогенизироваться и обуславливают сложную структуру распределения концентрационных и тепловых неоднородностей.

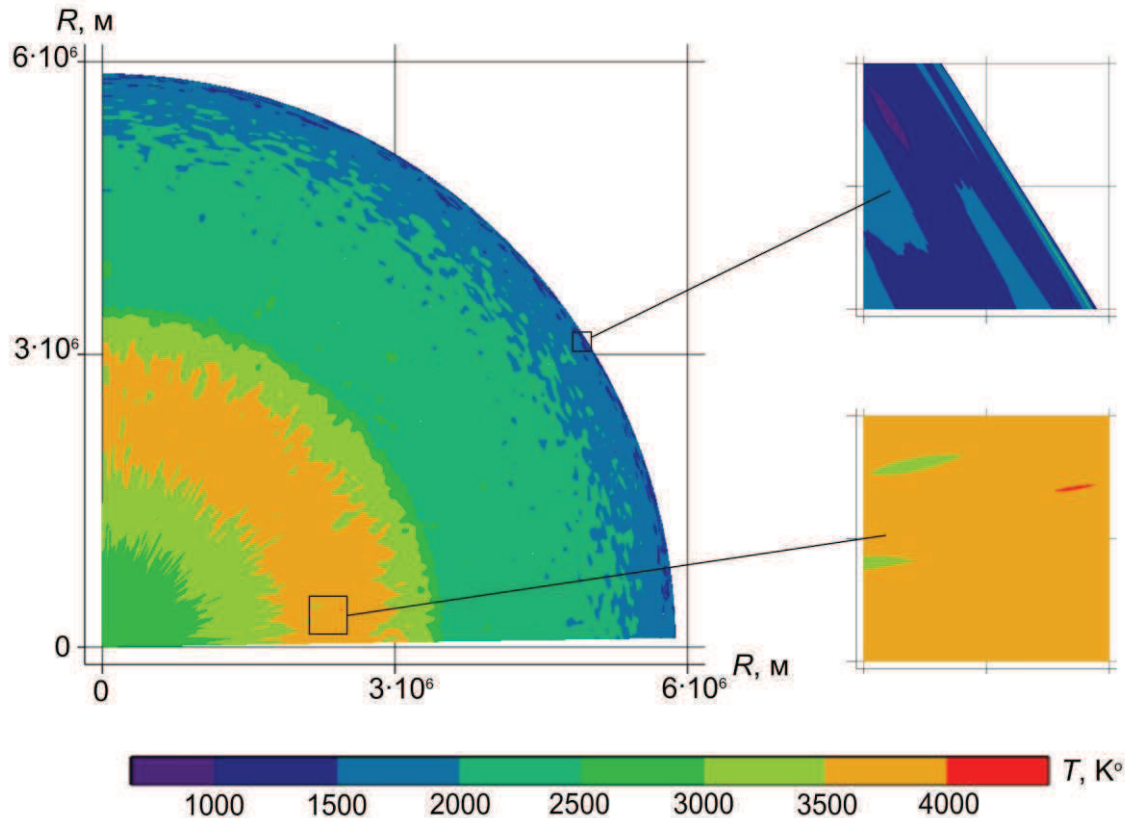


Рис 2. Распределение температуры Земных недр к окончанию аккумуляции по срезу 3D сектора (без учета тепла диссипации энергии приливного трения).

Однако Земля и Луна образуются во вращающемся протопланетном облаке. Поэтому термическую эволюцию этих тел на стадии аккумуляции надо анализировать совместно. На необходимость учета выделения тепла, обусловленного затуханием приливов на этапе аккумуляции Земли, было обращено внимание в работах [4,5]. Для математического описания термической эволюции растущих в процессе аккумуляции протоЗемли и прото-Луны как тесной двойной системы, необходимо учесть эволюцию орбиты спутника – Луны, происходящей из-за приливного взаимодействия, и диссипацию энергии вязкого трения течений вязкой жидкости, возбуждаемых этим приливным взаимодействием. В отличие от модели, для описания которой еще применимо приближение Буссинеска, несжимаемой вязкой жидкости, теперь уже нельзя использовать приближение несжимаемости в уравнениях (2), (4). В рассматриваемой модели приливным взаимодействием Солнца и планет будем пренебрегать, что позволит использовать результаты анализа тесной двойной системы. Для системы Земля-Луна можно использовать приближение для закона сохранения количества движения в виде (6) [5]. Здесь не учитывается взаимодействие с Солнцем, обеспечивающее солнечный прилив.

$$I\Omega + \frac{M_1 \cdot m_1}{M_1 + m_1} L^2 \omega = const \quad , \quad (6)$$

где I – момент инерции растущей Земли; $\Omega(t)$ – угловая скорость ее вращения вокруг собственной оси в момент времени t ; $\omega(t)$ – угловая скорость орбитального движения Луны вокруг Земли для этого же момента времени.; M_1 – масса прото- Земли для момента времени (t) ; m_1 – масса протоЛуны в этот же момент времени (t) ; $L(t)$ – расстояние между центрами масс Земли и Луны.

Для энергии собственного движения Земли E_Ω и полной энергии орбитального движения Луны E_ω можно использовать выражения:

$$E_\Omega = I \frac{\Omega^2}{2} \quad E_\omega = -\gamma \frac{M_1(t)m_1(t)}{2L} \quad , \quad (7)$$

Для описания динамики системы Земля – Луна необходимо провести вычисления диссипативной функции Φ из выражения (8) в каждой из областей расплава, как видно из результатов для более простой модели, приведенных на рис.1-2, и каждого момента времени. Функция, описывающая диссипацию энергии в вязкой жидкости в декартовой системе координат, имеет вид:

$$\Phi = 2\mu \left[\left(\frac{\partial u_x}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u_y}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial u_z}{\partial z} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_z}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial z} \right)^2 \right] + \lambda \left(\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right)^2 \quad , (8)$$

где μ и λ – коэффициенты первой и второй вязкости; u_x , u_y , u_z - проекции скорости в декартовых координатах. При этом уравнение баланса температуры принимает вид:

$$\rho c \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{V}(\nabla T) \right) = \lambda \Delta T + Q_1 + \Phi \quad , \quad (9)$$

Алгоритм решения этой нелинейной системы уравнений таков. Для каждого момента времени, используя уравнение (1) находится новое значение масс Земли и Луны при фиксированном шаге по координате r . Вычисляются новые граничные условия для прото Земли и подобные для прото Луны. Решается прямая задача в теле увеличившегося радиуса, для которой в качестве начальных условий используются поля температур, вектора скорости и давления. Вычисляются распределения температуры плавления и функции Φ в (9) от нового распределения температур и давления. Производятся итерации до обеспечения заданной точности решения. Затем решается система (6)-(7) и определяются новые параметры орбиты спутника. После этого осуществляется следующий шаг по пространственной сетке. Но решение этой нелинейной краевой задачи с необходимым количеством итераций на каждом временном шагу. При этом имеются очень грубые оценки зависимостей вязкости от температуры и давления, которые приводят к трудно преодолимым вычислительным сложностям. Поэтому ограничимся оценкой, которую можно получить, используя феноменологический подход и используя приближение добротности внутренних областей Земли и Луны, опираясь на результаты [5, 6]. Используем добротность Q , как долю диссипирующей в тепло энергии E за один период ее колебаний (10).

$$Q^{-1} = \frac{\delta E}{2\pi E} \quad . \quad (10)$$

Эта функция оценивается по современным сейсмическим результатам о затухании собственных колебаний Земли для модельного гидростатического давления и имеющихся оценок современной температуры [7]. Приливное взаимодействие перераспределяет моменты количества движения между телами, образующими замкнутую систему и

современное его значение есть хорошо известная величина. При этом величина вращательной энергии не сохраняется, а диссипирует в тепло и должна учитываться как источниковый член в уравнении (9).

Заключение. Из полученных результатов можно заключить, что пока можно сделать только предварительные следующие качественные оценки. Поскольку угловая скорость орбитального движения спутника много больше угловой скорости собственного вращения планеты, то из закона сохранения момента количества движения (6) следует, что приливное взаимодействие по мере увеличения массы центрального тела обеспечивало передачу орбитального момента количества движения спутника центральному массивному телу. Следовательно, теряя орбитальный момент спутник должен приближаться к центральному телу вплоть до орбиты Роша. Задача о поведении спутника на пределе Роша требует аккуратного математического исследования. Благодаря продолжающейся передаче орбитального момента спутника на центральное тело его собственная угловая скорость продолжала расти. Это должно привести к увеличению орбитальной угловой скорости спутника и увеличению радиуса его орбиты, что и наблюдается до настоящего времени. Таким образом, влияние диссипации вязкого трения наиболее существенно могло проявиться на стадии формирования внешнего ядра Земли. Полученные результаты зависят от параметров, прежде всего, зависимости вязкости от температуры и давления, значения которых известны с большой степенью неопределенности. Их предстоит уточнить в результате дальнейших физико-математических и косвенных геологических исследований.

Работа выполнена при поддержке гранта RFBR №16-05-00540.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анфилов В.Н., Хачай Ю.В. Возможный вариант дифференциации вещества на начальном этапе формирования Земли. ДАН.- 2005.- Т. 403.- № 6.- с. 803-806.
2. Anfilogov V., Khachay Y. Some Aspects of the Solar System Formation. Springer Briefs of the Earth Sciences. 2015.75p.
3. Сафронов В.С. Эволюция допланетного облака и образование Земли и планет. М.: Наука. 1969. 168 с.
4. Khachay Yu.V., Nachay O.A. Heat production by the viscous dissipation of energy at the stage of accumulation of the Earth. Geophysical Research Abstracts.- 2016.-Vol. 18.- EGU2016-2825.
5. Рускол Е. Л. Происхождение Луны. М.: Наука. 1975. 188 с.
6. Жарков В.Н., Трубицин В.П. Физика планетных недр. М.: Наука. 1980. 448 с.
7. Schubert G., Turcotte D., Olson P. Mantle convection in the Earth and planets. Cambridge University Press. 2001. 940 p.

УДК 550.425

**ВЛИЯНИЕ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ НА УСЛОВИЯ
ФОРМИРОВАНИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

¹Хачай Юрий Васильевич, ²Миндубаев Мансур Габдрахимович

¹yu-khachay@yandex.ru

²mansur_mg@mail.ru

^{1,2} *Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия*

Аннотация. При анализе каталитических процессов в карбонатах и нефтематеринских породах обычно предполагается наличие гидростатического равновесия флюида. Оно легко достигается в одномерном приближении. Результаты математического 2D и 3D моделирования, которые учитывают неоднородное распределение проницаемости и течения жидкости в пористой среде, показывают, что условия катализа нефти в реальном осадочном бассейне по площади могут существенно изменяться в зависимости от интенсивности конвекции в пористой среде.

**INFLUENCE OF FREE CONVECTION IN A POROUS ENVIRONMENT ON THE
CONDITIONS FOR FORMATION OF OIL-GAS DEPOSITS**

Yu.V.Khachay, M.G.Mindubaev

Institute of Geophysics UB RAS, Ekaterinburg, Russian Federation

Summary. When analyzing the catalytic processes in carbonates and petroleum rocks, hydrostatic equilibrium of the fluid is usually assumed. It is easily achieved in the one-dimensional approximation. The results of mathematical 2D and 3D modeling, which take into account the heterogeneous distribution of permeability and fluid flow in a porous medium, show that the conditions for the catalysis of oil in a real sedimentary basin can vary significantly by area, depending on the convection intensity in a porous medium.

Моделирование эволюции осадочных бассейнов осуществляется достаточно сложно и выполняется в основном численно. Изолинии индикационных температур витринита используются для характеристики степени зрелости нефтематеринского вещества. Кроме того, наряду с геолого-геофизической информацией о структуре осадочного бассейна получают информацию непосредственно при бурении скважин. При формировании месторождений нефти и газа должны выполняться соответствующие условия по температуре и давлению в флюиде а также условия по пористости и вязкости жидкости во вмещающей среде и материнской породе. Предполагается, что при отработке нефтегазового месторождения оно остается однородным и реализуется однородный отбор флюида. Однако при конвекции вещества, как показывают результаты численного моделирования, эти условия нарушаются. Во-первых, нарушается однородность распределения температуры, следовательно, и однородное распределение нефтегазового флюида. Во-вторых, при достаточной вязкости нефти ее приток после отбора некоторого количества способен увеличивается. Ниже будут показаны некоторые результаты такого моделирования.

Модель и основные уравнения.

Для описания простого однородного уравнения конвекции обычно используется безразмерное уравнение Дарси [1]. Для простых количественных оценок резервуара нефти обычно используется безразмерная модель. Эта модель может использоваться для описания свободной конвекции [1].

Однако, эта модель может использоваться для математического описания движения одного компонента в многокомпонентной пористой жидкости [2]. Здесь, прежде всего, анализируются 2D и 3D модели для вязкой жидкости в пористой среде с внутренними

источниками энергии [2 3]. В несжимаемой среде скорость Дарси внутри пористой среды можно считать достаточно малой величиной. Для математического описания, обычно используется приближение Дарси, а конвективное движение вязкой несжимаемой однокомпонентной жидкости внутри пористой среды может быть описано системными уравнениями следующим образом [2, 3]. Скорость Дарси в пористой среде удовлетворяет системе:

$$\mathbf{u} = \frac{K}{\nu} \left(-\frac{\nabla p}{\rho_0} + g\alpha T \mathbf{e}_z \right),$$

$$(\rho c_p)_c \frac{\partial T}{\partial t} + (\rho c_p)_f \mathbf{u} \cdot \nabla T = \lambda_c \nabla^2 T,$$

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0. \quad (1)$$

Здесь $\mathbf{u} = \eta \cdot \mathbf{v}$ – скорость течения Дарси для фильтрации в пористой среде, η – пористость среды, средняя скорость флюида \mathbf{v} , p – давление вещества, g – гравитационное ускорение, K – проницаемость среды, T – температура, λ_c – теплопроводность среды, $(\rho c_p)_c$ – теплопроводность флюида, c_p – удельная теплоемкость среды, $b = (\rho c_p)_c / (\rho c_p)_f$ – безразмерное отношение теплосоппротивления среды и флюида.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \theta = \nabla^2 \theta,$$

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0, \quad (2)$$

где $\theta = (T - T_0) / \Delta T_H$ – безразмерная температура, T – температура на верхней холодной и нижней T_0 горячей границах, H – мощность флюида, α – коэффициент теплового расширения, нормированное число Дарси [2,3]:

$$Rd = \frac{\alpha g H \Delta T_H K}{\nu \kappa_{ef}}, \quad (3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \nabla^2 T. \quad (4)$$

Нормированные температуры на нижней и верхней границах:

$$T = 2 \quad z = -2; \quad T = 0 \quad z = 0.$$

На боковых границах положим условия:

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0, \quad x = -4 \text{ и } x = 4,$$

$$\frac{\partial T}{\partial y} = 0, \quad y = -7 \text{ и } y = 7.$$

Для двумерного случая 2D для вектора потенциала $\vec{\psi}$ положим:

$$\vec{u} = \nabla \times \vec{\psi} \quad (5)$$

Тогда уравнения непрерывности (2) в системе уравнений (1) выполняются автоматически.

Компоненты вектора потенциала $\vec{\psi}$ на границах аномальной области принимаются равными нулю:

$$\psi_x = \psi_y = \psi_z = 0 \quad (6)$$

Применим к первому уравнению системы (2) операцию ротора и учтем граничные условия (6), получим для всей пористой области, что z -компонента векторного потенциала ψ_z равна нулю. Наконец, систему уравнений свободной тепловой конвекции во внутренней области с вязкой жидкостью с использованием переменных (ψ_x, ψ_y, T) можно записать следующим образом:

$$\nabla^2 \psi_x = -Rd \frac{\partial T}{\partial y}, \quad (7)$$

$$\nabla^2 \psi_y = Rd \frac{\partial T}{\partial x}, \quad (8)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u_x \frac{\partial T}{\partial x} + u_y \frac{\partial T}{\partial y} + u_z \frac{\partial T}{\partial z} = \nabla^2 T \quad (9)$$

Аномальная проницаемая область перекрывается на разных глубинах «непроницаемыми» слоями. На границах этих слоёв для компонент потенциала скорости выполняется условие (6). Представлены распределения температуры внутри проницаемой области для числа Дарси $Rd = 150$ на рисунке 1; На рисунке 2 - изолинии температуры для $Rd = 300$; $x = 0$. Компоненты скорости в 2D случае представлены через (ψ_x, ψ_y) в соответствии с (5). Для численного решения уравнений (2) с граничными условиями (6) использовался подход [4]; Для численного решения уравнений (7-9) использовался метод последующей верхней релаксации [4,5]. Шаг дискретизации по пространству для безразмерных переменных в 2D и 3D случаях принимался за 1/30.

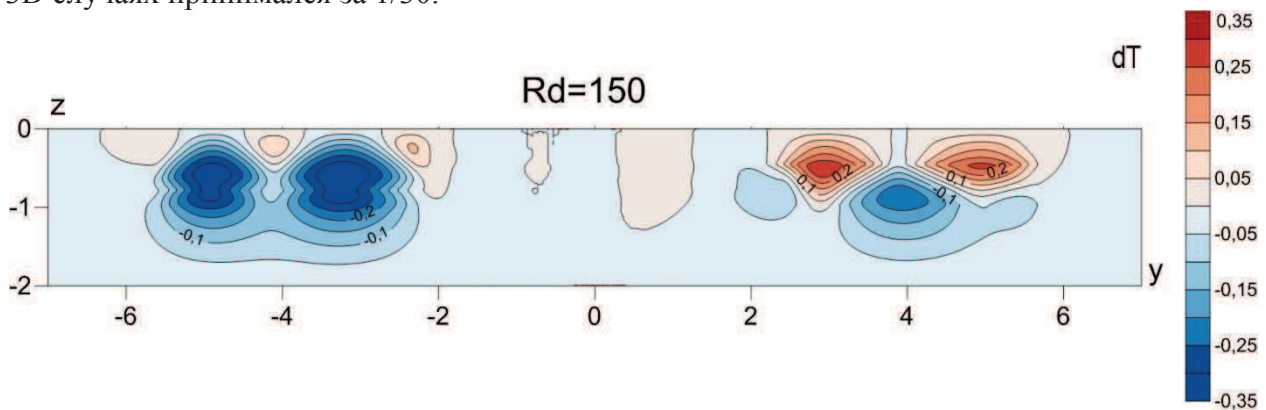


Рис 1. Безразмерные значения отклонения температуры dT от равновесной для диффузионного числа Релея $Rd=150$. Z и Y безразмерные мощности слоя

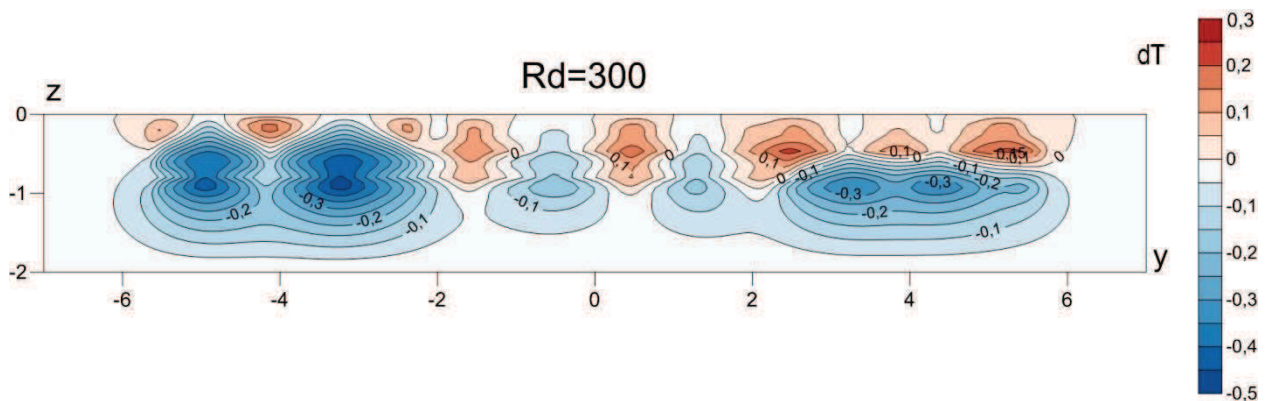


Рис 2 Безразмерные значения отклонения температуры dT от равновесной для диффузионного числа Релея $Rd=300$. Z и Y безразмерные мощности слоя

Результаты и полученные выводы. Численные результаты, представленные на рис. 1-3 показывают, что в двумерной модели решения задачи Дарси возможна реализация состояния механического равновесия. Численное моделирование конвекции для 2D и 3D-моделей внутри пористой среды показало возможность стационарного состояния. Это означает, что структуры, образованные конвекцией, сохраняются в течение характерного времени

рассматриваемой задачи. В отличие от одномерной модели пространственные структуры изолиний температур и скоростей течения имеют сложные формы. Поэтому реализация РТ-условий катализа нефти может существенно различаться по различным скважинам нефтеносного осадочного бассейна.

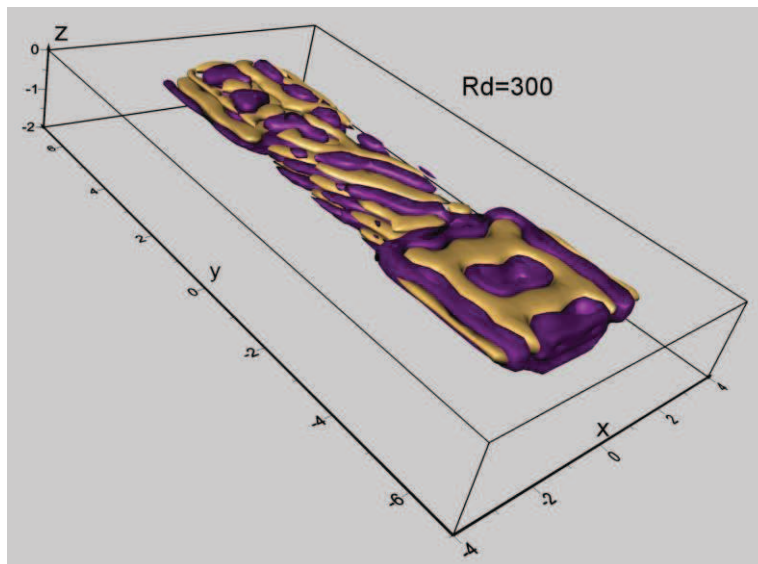


Рис. 3. Объемные распределения изолиний скорости. Обозначения соответствуют Рис 1.

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта N15-18-5-32 UB RAS

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галушкин Ю. Моделирование осадочных бассейнов и оценка нефтегазоносности М.: научный мир.-2007.
2. Гершуни Г., Жуховицкий Е. Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости. М.:Наука. 1972.
3. Nield D., Bejan A. Convection in porous media. New York: Springer; 2006.
4. Хачай Ю.В., Миндубаев М.Г. О влиянии свободной конвекции в 3D структуре пористой среды на экспериментальные определения гетермического потока.// Мониторинг, наука и технологии.- 2012.- 4.с. 12-18.
5. Миндубаев М.Г. Численные определения конвективной устойчивости наклонного слоя в пористой среде.// Вычислительная механика сплошных сред.- 2015.- 8.- 3.-с. 289-297.

УДК 550.380.2, 550.380.8

**ИЗМЕРЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ВЕКТОРНОГО МАГНИТОМЕТРА POS-4 ЗА 2.5 ГОДА:
ВОЗМОЖНОСТИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИНТЕГРАЦИИ В
СИСТЕМУ МОНИТОРИНГА МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ
ОБСЕРВАТОРИИ "ПАРАТУНКА" ИКИР ДВО РАН (КАМЧАТКА)**

Хомутов Сергей Юрьевич

Khomutov@ikir.ru

*Институт космифизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Россия,
с. Паратунка Камчатский край*

Аннотация. Представлены результаты непрерывных мониторинговых измерений магнитного поля с помощью векторного магнитометра POS-4 на Геофизической обсерватории "Паратунка" (Камчатка) в 2015-2017 гг.

**THE MEASUREMENTS BY VECTOR MAGNETOMETER POS-4 DURING 2.5 YEARS:
THE POSSIBILITIES AND RESULTS OF THE JOINING
TO MAGNETIC FIELD MONITORING AT GEOPHYSICAL OBSERVATORY
PARATUNKA, IKIR FEB RAS (KAMCHATKA)**

Sergey Y. Khomutov

Khomutov@ikir.ru

*Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS, Paratunka,
Kamchatka, Russia*

Summary. The results of the continuous observations of the magnetic field using the vector Overhauser magnetometer POS-4 at Geophysical Observatory Paratunka (Kamchatka) at 2015-2017 are presented.

Магнитные стационарные измерения являются важнейшим элементом мировой системы геофизического мониторинга. В международной сети INTERMAGNET определён стандартный набор приборов для магнитных обсерваторий: вариационный компонентный магнитометр, обычно, феррозондовый, и два магнитометра для абсолютных наблюдений — скалярный и деклинометр/инклинометр [1]. Для российской магнитологии техническое оснащение подобным набором приборов представляет определённые сложности (за исключением скалярных), из-за отсутствия их отечественного производства. Попыткой частично решить проблему является разработка компонентного магнитометра POS-4 (Лаборатория Квантовой Магнитометрии УГТУ-УПИ, г. Екатеринбург, magnetometer.ur.ru), который был в 2014 г. приобретен ИКИР ДВО РАН в рамках выполнения РНФ №14-11-00194.

Магнитометр POS-4 представляет собой Оверхаузеровский датчик POS-1, расположенный в титановом соленоиде (создаёт вертикальное дополнительное поле смещения) с колечной системой (создаёт горизонтальное дополнительное поле), и электронный блок, связанные гибким кабелем длиной 5 м. Связь с управляющим ПК (протокол RS232) и системой питания (12 В) обеспечивается специальным 30-метровым кабелем. Синхронизация внутреннего таймера магнитометра со шкалой UTC выполняется по системному таймеру ПК при запуске измерений, уход не превышает 1 с за 2-3 мес. Установка соленоида по вертикали выполняется по двум взаимно-ортогональным жидкостным уровням на верхней его части с помощью регулировочных винтов стандартной подставки от теодолита, в которой закреплён соленоид. Подробное описание методических аспектов векторных измерений с помощью POS-4 и технической их реализации представлено в [2].

Для минимизации возможных наводок от POS-4 при измерениях и удобства его настройки и обслуживания на ГФО "Паратунка" был построен деревянный немагнитный павильон со специальным постаментом из стеклоблоков [3]. Схема и фотография павильона, а также датчика на постаменте представлены на рис.1. Результаты измерений с помощью POS-4 в период с осени 2015 по весну 2016 гг. показали, что постамент оказался недостаточно устойчив, при промерзании и оттаивании грунта возникали его медленные наклоны, приводящие к фиктивным изменениям магнитного поля до сотни нТл. Поэтому в ноябре 2016 г. постамент был усилен мощным основанием, между ним и грунтом оставлен воздушный теплоизолирующий зазор, боковые стенки постамента и зазор сверху утеплены пенополистиролом и изоловером. Для контроля температуры в закрытой части постамента на глубине около 60 см был расположен цифровой термодатчик DS18B20. Кроме того, цифровые термодатчики были установлены на стене павильона (на высоте POS-4) и на корпусе электронного блока.

Измерения были начаты весной 2015 г. и ведутся непрерывно в мониторинговом режиме, за исключением небольшого перерыва во время работ по укреплению постамента в ноябре 2016 г. В соответствии с технологией векторных измерений с помощью скалярного датчика в колечных системах, непосредственно получают вертикальная составляющая Z , восточная горизонтальная составляющая Y и модуль F . Точность ориентации измерительных осей POS-4 определяется точностью задания вертикальности соленоида с помощью уровней и корректностью установки оси колец на восток. Последнее обеспечивалось подгонкой текущих значений Y (POS-4) к реальным значениям Y , известным на момент установки по данным измерений других магнитометров обсерватории. Длительность полного цикла векторных измерений 5 с.

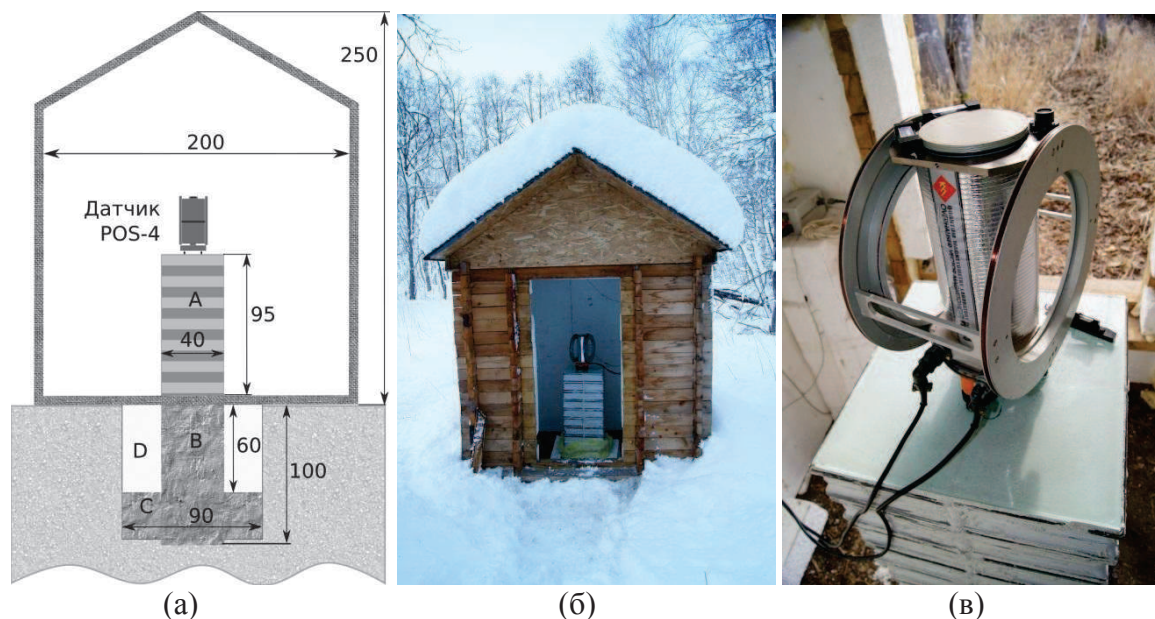


Рис.1. Место установки магнитометра POS-4 на ГФО " Паратунка" : (а) схема павильона с постаментом (размеры даны в см, А — надземная часть постамента из стеклоблоков, В — подземная часть из песчано-цементной смеси, С — дополнительная часть постамента, отлитая осенью 2016 г., D — воздушный зазор между постаментом и грунтом), (б) внешний вид павильона и магнитометра, (в) датчик POS-4 на постаменте (на заднем плане слева — электронный блок).

Пример записи результатов измерений POS-4 в стандартном файле показан в табл. 1. Используя модули F(0-4) можно вычислить полные значения составляющих Z и Y , что при известном модуле F_0 позволяет получить полный вектор магнитной индукции F .

Магнитометр POS-4 полностью включён в систему магнитного мониторинга ГФО "Паратунка":

а) результаты его измерений обрабатываются с помощью типового программного обеспечения, в т.ч. разработанного в рамках проекта РФФИ, и проходят все этапы стандартной обработки данных вариационных магнитометров, включая вычисление базисных значений, оценку качества, идентификацию и отбраковку помех, получение минутных данных в соответствии со стандартами INTERMAGNET [1];

б) данные POS-4 используются для контроля стабильности других магнитометров;

в) совместно с магнитометрами, расположенными в других павильонах, POS-4 образует градиентометрическую систему, эффективно используемую для выделения слабых помех и идентификации их источников;

г) POS-4 в некоторых случаях (например, если имеются правовые ограничения) используется как резервный для заполнения пропусков в данных основных магнитометров на обсерватории;

д) для POS-4 ведётся общепринятая на обсерватории процедура обслуживания, протоколирования нештатных ситуаций и учёта работ с аппаратурой и данными.

Таблица 1

Пример записи результатов измерений POS-4 в файле

F, пТл	QMC	c	Date	UT	n	Примечания
51991173	00053	80	01.03.17	00:00:00,00	0	- F_0 (модуль поля без отклоняющих полей)
28545329	00086	88	01.03.17	00:00:01,00	1	- F_0-dZ (с отклоняющим полем dZ вверх)
78960477	00057	88	01.03.17	00:00:02,00	2	- F_0+dZ (с отклоняющим полем dZ вниз)
58955834	00053	88	01.03.17	00:00:03,00	3	- F_0-dY (с отклоняющим полем dY на запад)
61329432	00047	88	01.03.17	00:00:04,00	4	- F_0+dY (с отклоняющим полем dY на восток)

Векторный магнитометр POS-4 может рассматриваться:

1) как прибор, которым измеряемые элементы (F , Z и проекция на ось системы колец, в нашем случае, Y) получаются в абсолютном смысле, т. е. как абсолютный магнитометр. В этом случае важными становятся такие характеристики, как воспроизводимость измерений после переустановки, сопоставимость результатов с другими абсолютными приборами, в т.ч. при расположении их на одном и том же постаменте, удобство установки и настройки;

2) как прибор для измерения вариаций составляющих поля, т. е. как вариометр. В этом случае важными будет чувствительность POS-4 и долговременная стабильность при минимальном вмешательстве в процесс измерений.

Полученные на ГФО "Паратунка" почти 2.5-летние непрерывные однородные ряды результатов измерений с помощью POS-4 прежде всего позволяют оценить его как вариометр. При этом важнейшей характеристикой являются базисные значения, которые характеризуют долговременную стабильность и на практике представляют собой просто разницу между результатами измерений вариометром и абсолютным магнитометром. На рис.2 показаны базисные значения POS-4 за весь период измерений и с июля 2016 г., т. е. без сильных изменений, связанных с наклонами постаumenta при промерзании и оттаивании.

Абсолютные наблюдения выполнялись стандартно в абсолютном павильоне на основном постаменте с помощью DI-магнитометра LEMI-203 и скалярного Оверхаузеровского магнитометра POS-1. Скачки в базисных, связанные с нивелировкой POS-4 и его переустановкой, исключены. Как видно по рис.2, после укрепления постаumenta и его развязки от грунта в ноябре 2016 г., Z_0 и Y_0 , которые зависят от движения основания, стали существенно более стабильными, эффекты промерзания/оттаивания практически не проявляются. Изменения Z_0 в пределах 10 нТл за год сопоставимы с сезонными изменениями Z_0 у основного феррозондового вариометра FGE (размах до 8-10 нТл, см. рис.3) и у dIdD GSM-19FD, методически близкого POS-4 (сезонная вариация до 6-8 нТл). Однако, наблюдающийся в Y_0 тренд до +80 нТл за полгода является значительным (изменения D_0 (FGE) составляют около 15 нТл, D_0 (dIdD) – около 5 нТл). Можно предположить, что тренд Y_0 (POS-4) является частью сильной сезонной вариации за первое полугодие 2017 г. как следствие температурной зависимости POS-4. Однако эта зависимость не очевидна и причина может быть связана с особенностями генерации дополнительных отклоняющих полей кольцевой системой. Базисное значение F_0 (пространственный градиент между POS-4 и

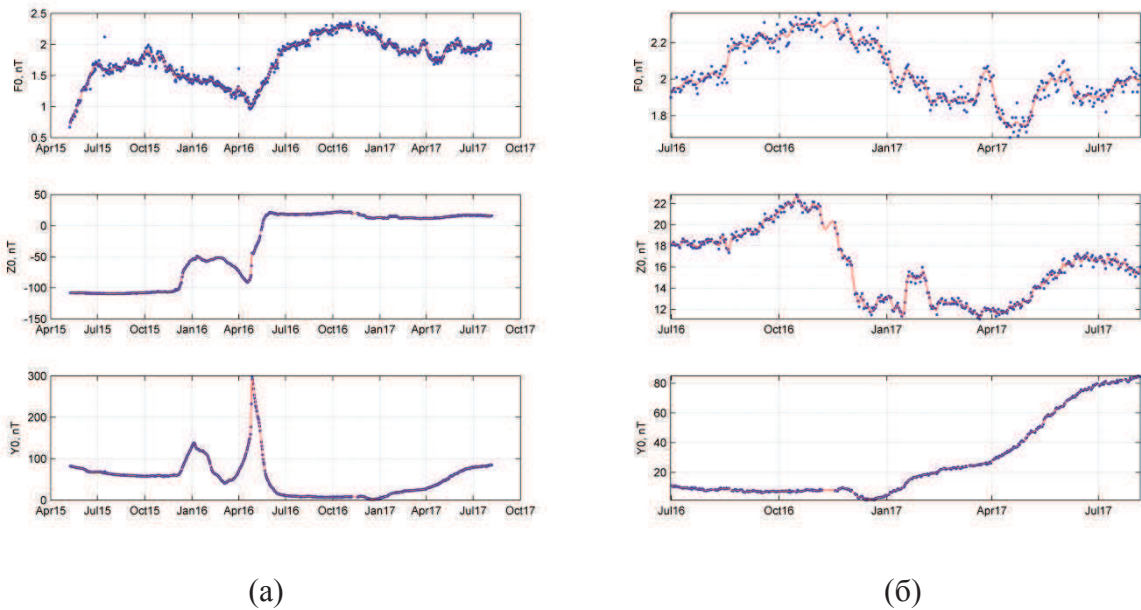


Рис.2. Базисные значения векторного магнитометра POS-4 F_0 , Z_0 , Y_0 , полученные по результатам стандартных абсолютных наблюдений: (а) — за весь период измерений, (б) — с 1 июля 2016 г., т. е. с исключением периода сильной нестабильности базисных в зимне-весенний сезон 2015-2016 гг. Точки — среднесуточные значения, непрерывные кривые — аппроксимация интерполирующим сплайном.

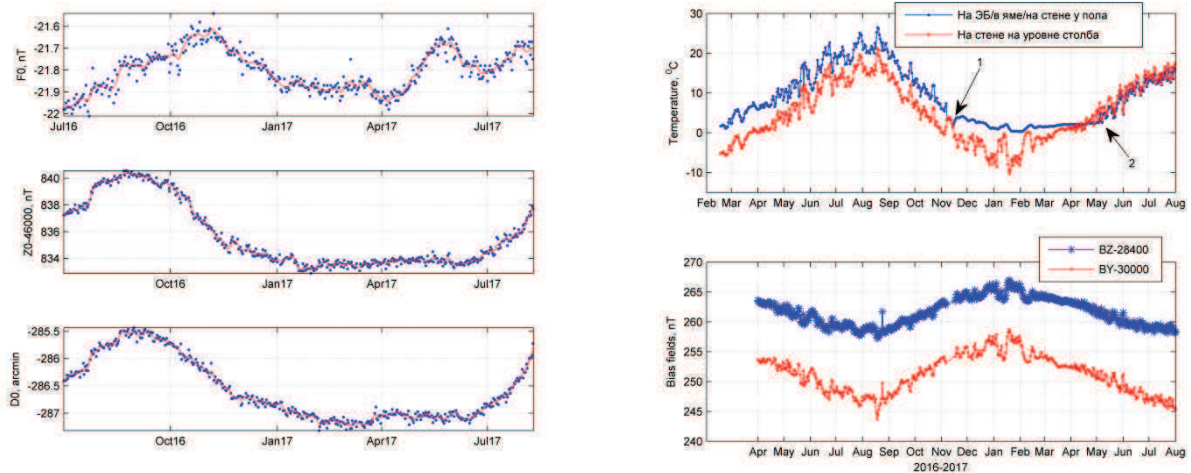


Рис.3. Базисные значения F_0 , Z_0 , D_0 феррозондового вариометра FGE-DTU. (изменение D на 1' составляет примерно 5 нТл).

Рис.4. Среднесуточные значения параметров POS-4: (верхняя панель) - температура в павильоне на уровне постаментов (нижняя кривая) и в различных точках, (1) — датчик перенесён с корпуса блока электроники к основанию постамента на глубине около 60 см, (2) — датчик перенесен на уровень пола, (нижняя панель) — отклоняющие поля.

постаментом для абсолютных наблюдений) за 2015-2017 гг. показывает сезонные изменения размахом до 1 нТл, что сопоставимо с F_0 скалярного магнитометра GSM-90 и F-канала dIdD. Возможной причиной может быть изменение распределения магнитного поля на территории

магнитных павильонов или вблизи постаментов из-за изменения гидрологического режима в приповерхностных породах.

На рис.4 показаны среднесуточные значения температуры в павильоне POS-4 с февраля 2016 г. и значения дополнительных отклоняющих полей ВZ и ВY в соленоиде и коленной системе, соответственно. ВZ и ВY, как и сами элементы поля, вычисляются из зарегистрированных модулей F(0-4), см. табл. 1. Как видно по рис. 4, имеется высокая отрицательная корреляция между температурой в павильоне и величиной отклоняющих полей. Предположительно, это может быть причиной появления температурных эффектов в вариациях магнитного поля, зарегистрированных с помощью POS-4. На рис.5 представлено сравнение минутных значений полных составляющих X,Y,Z, полученных по измерениям с помощью POS-4 и dIdD GSM-19FD в январе-июне 2017 г. Естественные вариации поля исключены по данным феррозондового магнитометра FGE. Хорошо видно, что оба магнитометра дают суточную вариацию с увеличивающейся амплитудой с апреля-мая, когда наблюдаются сильные суточные температурные изменения (см. рис.4). При этом шумы в Y-составляющей заметно ниже у POS-4, чем у dIdD, при сравнимых шумах в X- и Z-компонентах.

Работа выполнена при частичной поддержке совместного российско-индийского проекта РФФИ №16-55-45007 и проекта РНФ №14-11-00194.

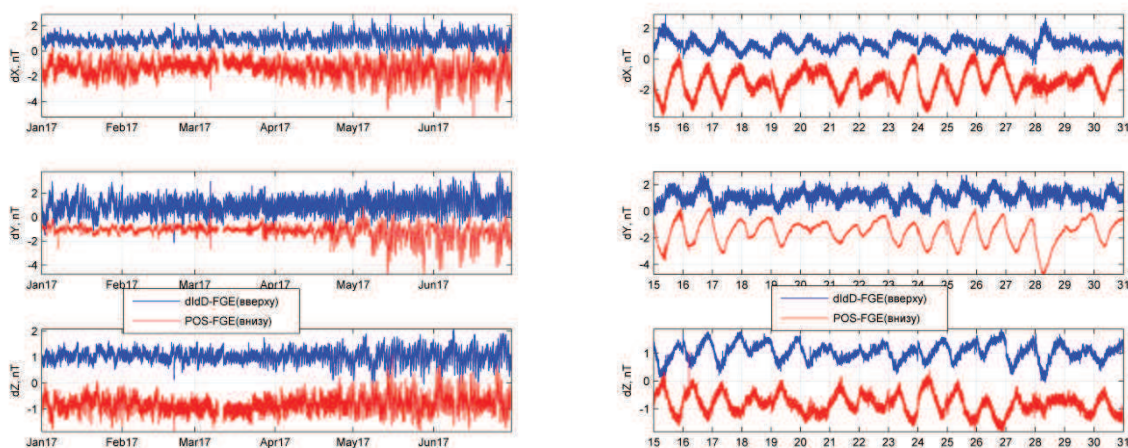


Рис.5. Сравнение минутных значений полных составляющих X,Y,Z, полученных с помощью магнитометров dIdD GSM-19FD (верхние кривые) и POS-4 (нижние кривые) в январе-июне 2017 г. (левая панель) и с 15 по 31 мая 2017 г. (правая панель). Вариации поля исключены по данным феррозондового вариометра FGE.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. INTERMAGNET Technical Reference Manual. Version 4.6, Edited by Benoit St-Louis, 2012, 92 p.
2. Sapunov V.A., Denisov A.Y., Saveliev D.V., Soloviev A.A., Khomutov S.Y., Borodin P.B., Narkhov E.D., Sergeev A.V., Shirokov A.N. New vector/scalar Overhauser DNP magnetometers POS-4 for magnetic observatories and directional oil drilling support // Magnetic Resonance in Solids. Electronic Journal, 2016, Vol. 18, No 2, 16209 (9 pp.).
3. Khomutov S., Sapunov V., Denisov A., Savelyev D., Babakhanov I. Overhauser vector magnetometer POS-4: Results of continuous measurements during 2015-2016 at geophysical observatory "Paratunka" of IKIR FEB RAS, Kamchatka, Russia // E3S Web Conf. - 2016. - Vol. 11. - N7. (DOI: 10.1051/e3sconf/20161100007) - VII International Conference "Solar-Terrestrial Relations and Physics of Earthquakes Precursors".

УДК 550.837

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ МОНИТОРИНГОВЫХ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОПРОФИЛИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ АППАРАТА ТЕОРИИ ОЦЕНОК

*Христенко Людмила Анатольевна¹, Степанов Юрий Иванович²,
Кичигин Александр Валерьевич³, Паршаков Евгений Иосифович⁴,
Тайницкий Александр Александрович⁵, Ширяев Константин Николаевич⁶
e-mail: ¹liudmila.hristenko@yandex.ru
⁶kn.shiryaev@gmail.com*

¹⁻⁶*Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Россия, г. Пермь*

Аннотация. Для повышения достоверности интерпретации данных электропрофилеирования выполнена безэталонная классификация их статистических характеристик. Результаты представлены для участка СКРУ-2, расположенного в пределах Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей.

INTERPRETATION OF MONITORING DATA OF ELECTROPROFILING BY THE APPARATUS OF THE THEORY OF ESTIMATES

*Liudmila Hristenko¹, Yuri Stepanov², Alexander Kichigin³, Evgeny Parshakov⁴,
Alexander Tainitsky⁵, Konstantin Shiryaev⁶
e-mail: ¹liudmila.hristenko@yandex.ru
⁶kn.shiryaev@gmail.com*

¹⁻⁶*Perm Federal research center of Ural branch of Russian Academy of Sciences, Russia, Perm*

Summary. To improve the reliability of the interpretation of electrical profiling data, a procedure for classifying their statistical characteristics has been performed. The results are presented for the SCRU-2 site located within the Verkhnekamsk deposit of potassium-magnesium salts.

В пределах Верхнекамского месторождения солей (ВКМС) для контроля сохранения сплошности водозащитной толщи и выявления негативных изменений состояния горного массива на потенциально опасных участках шахтных полей регулярно выполняется геолого-геофизический мониторинг, включающий электроразведочные исследования методами естественного поля (ЕП) и симметричного электропрофилеирования (СЭП).

В 2015–2016 гг. наблюдения выполнялись ежемесячно на подработанном участке СКРУ-2 по 4 профилям. Проводилась комплексная интерпретация профильных наблюдений. Для качественной оценки пространственного распределения электрических параметров строились планы изолиний кажущегося сопротивления (КС) и потенциала естественного поля. На рис.1, в качестве примера, приведены планы изоом, построенные по результатам измерений методом СЭП на 3 разносах питающей линии АВ (100, 200 и 400 м) в мае и октябре месяце 2016 г.

Анализ выполненных наблюдений позволил выявить существенное понижение кажущегося сопротивления в надсоляной толще на южном окончании профиля 5, начиная с пк 920. В этой же части участка вдоль профиля 5 между пк 140–360 фиксируется зона пониженных сопротивлений, отвечающая терригенно-карбонатной толще. На профиле 8 понижение КС фиксируется между пк 300–500 на всех разносах питающей линии.

По данным метода ЕП выделяется ряд отрицательных аномалий стабильных во времени, часть из которых совпадает с областями пониженных значений КС, что свидетельствует о негативных процессах в данных областях.

Повысить достоверность интерпретации ЕП и СЭП можно путем расширения анализируемого признакового пространства за счет формальных признаков, например,

статистических характеристик самих наблюдаемых параметров [2]. Работы в этом направлении выполняются авторами на протяжении последних нескольких лет [3, 4]. Получаемые в результате геолого-геофизических исследований данные, в силу объективных причин, можно считать выборкой одной или нескольких случайных величин. Это позволяет анализировать их статистические характеристики с помощью аппарата теории оценок [2].

Для более отчетливого выделения скрытых закономерностей изменения амплитуды поля КС предварительно было выполнено быстрое вейвлет-преобразование (БВП) дискретных значений кажущегося сопротивления с помощью программы HAAR_2[1]. Восстановленные значения КС и увязанные между собой значения потенциала ЕП интерполировались в узлы регулярной сети. Программным комплексом «КОСКАД» в скользящем окне рассчитывались статистические характеристики полученных электрических параметров. Объединением статистических характеристик потенциалов ЕП поочередно со статистиками КС при АВ 100, 200 и 400 м, были сформированы три многопризнаковых пространства и выполнены процедуры безэталонной классификации.

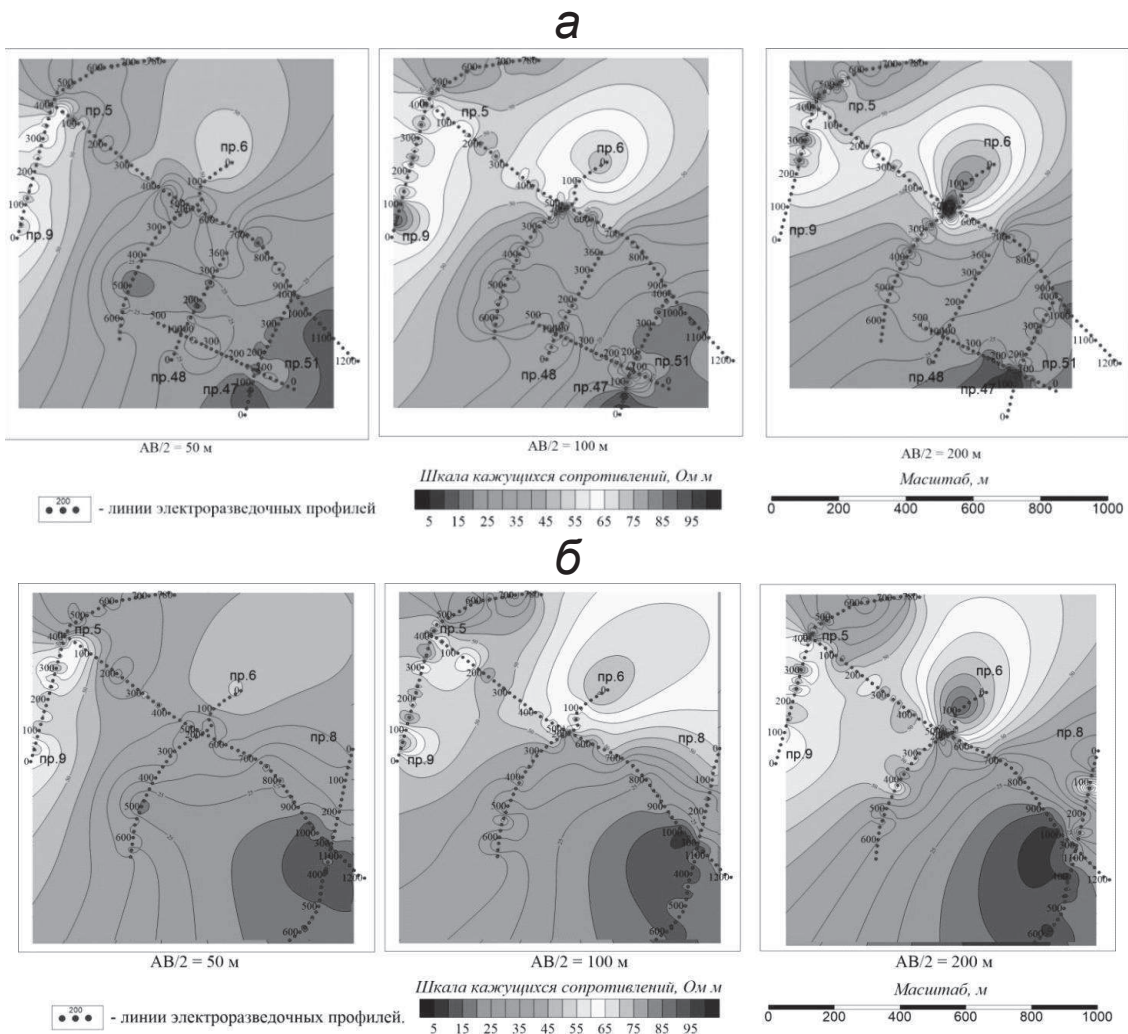


Рис.1. Результаты мониторинговых исследований методом СЭП:
а – май 2016 г; б – октябрь 2016 г.

В результате анализируемые совокупности были разбиты на однородные, по формальным математическим критериям, классы. Пространственное положение контуров классов сопоставлялось с результатами сейсмических исследований.

Отмечается пространственное совпадение контуров выделенных классов (по данным электроразведки) с осложнениями волнового поля. Это можно рассматривать, как косвенное свидетельство о высокой достоверности выполненных преобразований. Особое влияние на

проводимость в различных слоях оказывает структура порового пространства. Имеет значение, соединяются между собой поры или нет. Лишь сквозные каналы дают вклад в электропроводность. Тупиковые ответвления и изолированные поры поглощают большую часть растворов и, увеличивая пористость, не влияют на электропроводность. Поэтому высокая пористость, приводящая к значительному снижению скорости сейсмических волн, может мало сказываться на изменении удельного сопротивления, поэтому глубины волноводов и проводящих слоев не всегда совпадают. Это учитывалось при сопоставлении сейсмических и электромагнитных данных.

Получены характеристики классов в пределах ВКМКС еще для одного участка – СКРУ-2, что существенно дополнит уже имеющиеся данные по другим участкам для их анализа и определения возможности использования результатов классификаций при решении задач, поставленных перед мониторинговыми исследованиями.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-45-590046.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долгаль А.С. Применение кратномасштабного вейвлет-анализа при аналитических аппроксимациях геопотенциальных полей / Долгаль А.С., Симанов А.А. // Докл. Академии наук. 2008. Т. 418, № 2. –С. 256-261.
2. Петров А.В. Технология анализа геополей в скользящих окнах / Петров А.В., Солоха Е.В. // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 33-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского, Екатеринбург: Институт геофизики УрО РАН, 2006. –С. 272-275.
3. Христенко Л.А. Интерпретация геоэлектрических данных с использованием вероятностно-статистических характеристик при решении инженерно-геологических задач /Л.А.Христенко, Ю.И. Степанов // GEOINFORMATIKA, 2015, №4 (56). –С. 29-34.
4. Христенко Л.А. и др. Интерпретация мониторинговых электроразведочных наблюдений при выделении участков опасных инженерно-геологических осложнений /Христенко Л.А., Степанов Ю.И., Кичигин А.В., Паршаков Е.И., Тайницкий А.А., Ширяев К.Н. // Сб. тезисов XIII-го Межд. геофизического науч.-практич. семинара Применение современных электроразведочных технологий при поисках месторождений полезных ископаемых (9-10 ноября 2016 г, С-Петербург) – С-Петербургский горный университет, 2016. –С.148-152.

УДК 551.14

О НОВОМ ПОДХОДЕ К ОЦЕНКЕ ЧАНДЛЕРОВСКОЙ ЧАСТОТЫ

Цуркис Илья Яковлевич¹, Жуковец Виктор Николаевич²¹e-mail: tsurkis@ifz.ru²e-mail: zhukovec.viktor@physics.msu.ru^{1,2}Институт физики Земли РАН, Москва, Россия

Аннотация. Проанализированы данные IERS о положении полюса за период с 1962 по 2014 гг. Использован математический аппарат, специально предназначенный для работы с данными по движению полюса.

THE NEW APPROACH TO EVALUATION OF THE CHANDLER FREQUENCY

Ilya Tsurkis¹, Viktor Zhukovets²¹e-mail: tsurkis@ifz.ru²e-mail: zhukovec.viktor@physics.msu.ru^{1,2}Institute of Physics of the Earth, Moscow, Russia

Summary. IERS polar motion data obtained from 1962 to 2014 were analyzed. Mathematical tool, aimed to polar motion data analyze, was used.

Большинство работ по движению полюса посвящено оценке фактора добротности Q и чандлеровской частоты ω - параметров, входящих в уравнение Лиувилля; см., напр., [6], [7], [8]. Это связано с тем, что названные величины несут важную информацию о реологии мантии и строении Земли в целом. В данной статье предложен новый подход к оценке этих параметров, основанный на вероятностной модели [1]. Он не связан с моделированием движения полюса, поэтому результаты не зависят от точности данных о возмущающем угловом моменте. В качестве наблюденного материала использованы данные Международной службы вращения Земли (IERS) о положении полюса за период с 01.01.1962 по 20.06.2014.

1. ВЕРОЯТНОСТНОЕ ОПИСАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПОЛЮСА

Движение полюса может быть описано уравнением Лиувилля, выражающим закон сохранения момента импульса. В комплексной форме:

$$\left\langle -i/2Q \dot{x} - i\omega x = f, \right. \quad (1)$$

где $x = x_1 + ix_2$ радиус - вектор полюса; $Q = 50...400$ - добротность мантии; функция $f(t)$ линейным образом связана с экваториальными составляющими углового момента; $\omega \approx 0.0145 \text{ сут}^{-1}$ - частота свободной нутации Земли (чандлеровская частота). Цель данной работы – оценить ω , исходя из вероятностной гипотезы, высказанной в [1]. Авторы [1] предположили, что $f(t)$ можно рассматривать как случайную функцию, точнее - как белый шум. Это значит, что выполняется корреляционное соотношение

$$M(f(t)\overline{f(\tau)}) - Mf(t) \cdot M\overline{f(\tau)} = a\delta(t - \tau). \quad (2)$$

Здесь $\delta(t)$ - дельта-функция Дирака; $Mf(t)$ - математическое ожидание функции $f(t)$; a - интенсивность белого шума. Если гипотеза (2) верна, то $x(t)$ - марковский процесс, т.е. процесс с памятью в одну точку: пусть известно положение полюса в данный момент времени, тогда предыстория не важна - прогностической ценности она не имеет; см., напр., [2].

Но идеального белого шума не существует: согласно (2), время корреляции τ_{cor} функции $f(t)$ равно 0, а дисперсия – бесконечности. Тем не менее, если $f(t)$ - стационарный

случайный процесс, то последовательность $x_n = x(n\Delta), n = 0, 1, 2, \dots$ можно считать марковским процессом с дискретным временем при условии, что $\Delta \gg \tau_{\text{кор}}$. В работе [5] показано, что движение полюса действительно можно интерпретировать как марковскую последовательность в случае, если $\Delta \geq 100$ суток. То есть, гипотеза (2), если учесть сделанную выше оговорку, не противоречит результатам наблюдений.

Как известно, в движении полюса доминирует чандлеровская мода с частотой $\sim \omega$. Вероятностный подход позволяет объяснить её происхождение: дисперсия спектра Фурье решения стохастического уравнения (1) достигает максимума на частоте, близкой к ω ; т.е. чандлеровское движение – это реакция на случайную составляющую нагрузки.

Спектр Фурье «плох» тем, что уровень спектрального шума неограниченно растёт с увеличением Q . Это, в частности, затрудняет выявление регулярных составляющих с частотой, близкой к ω . Альтернативой преобразованию Фурье служит т.н. спектр Винера – Лиувилля, специально предназначенный для анализа данных по движению полюса [4]. В [3] с его помощью идентифицирована «неучтённая» регулярная мода с периодом ≈ 485 суток, «источником» которой, предположительно, является Исландская депрессия – область пониженного атмосферного давления, мигрирующая над Атлантическим океаном.

В данной статье показано, что этот вариант спектрального анализа может быть с успехом использован при оценке параметров уравнения Лиувилля.

2. СПЕКТР ВИНЕРА – ЛИУВИЛЛЯ (В.-Л.)

О П Р Е Д Е Л Е Н И Е 1. Пусть λ - параметр, имеющий размерность частоты (в частном случае он может совпадать с чандлеровской частотой ω); $u(t), v(t)$ - комплексные функции времени, значения которых заданы в точках $t = 0, \Delta, 2\Delta, \dots, T = N\Delta$, где Δ - шаг дискретизации. Назовём скалярным произведением В.-Л. билинейную форму

$$\langle u, v \rangle = \frac{1}{T} \sum_{n=0}^{N-1} (u_{n+1} - e^{i\lambda\Delta} u_n) (\bar{v}_{n+1} - e^{-i\lambda\Delta} \bar{v}_n), \text{ где } u_n = u(n\Delta), \quad v_n = v(n\Delta).$$

Введём в рассмотрение нормированную гармонику $h_\sigma(t)$: если $\sigma \neq \omega$, положим:

$$h_\sigma(t) = e^{i\sigma t} / \sqrt{\langle e^{i\sigma t}, e^{i\sigma t} \rangle} = \frac{e^{i\sigma t} \sqrt{\Delta}}{2 |\sin(\sigma - \lambda)\Delta / 2|}.$$

Под h_ω будем понимать нормированную функцию, пропорциональную резонансу $te^{i\lambda t}$:

$$h_\omega(t) = \frac{te^{i\lambda t}}{\sqrt{\langle te^{i\lambda t}, te^{i\lambda t} \rangle}} = \frac{t}{\sqrt{\Delta}} e^{i\lambda t}.$$

О П Р Е Д Е Л Е Н И Е 2. Назовём спектром В.-Л. временной функции $z(t)$ комплексную функцию частоты $Z_{V-L}(\sigma)$:

$$Z_{V-L}(\sigma) = \sqrt{\frac{T}{\Delta}} \langle z, h_\sigma \rangle, \quad \sigma \in [-\pi / \Delta, \pi / \Delta].$$

СВОЙСТВА СПЕКТРА ВИНЕРА – ЛИУВИЛЛЯ

1. Справедлива формула обращения:

$$z(t) = \frac{\sqrt{T\Delta}}{2\pi} \int_{-\pi/\Delta}^{\pi/\Delta} Z_{V-L}(\sigma + \lambda) h_{\sigma+\lambda}(t) d\sigma + \frac{1}{2} \langle z(0) + \exp(-i\lambda T) z(T) \rangle \exp(i\lambda t),$$

где $t = n\Delta; n = 0, 1, \dots, N$.

2. Если $z(t) = \exp(i\lambda t)$, то $Z_{V-L}(\lambda) = 0$. Следовательно, если параметр λ совпадает с ω , в спектре В.-Л. движения полюса нет «обязательного» максимума на чандлеровской частоте.

3. Обозначим через $X_{V-L}(\sigma)$ спектр В.-Л. решения стохастического уравнения (1). Для дисперсии $DX_{V-L}(\sigma) = M |X_{V-L}(\sigma)|^2 - |MX_{V-L}(\sigma)|^2$ справедлива формула

$$DX_{V-L}(\sigma) = \frac{2aQ}{\omega\Delta} \operatorname{Re} \left(-k_0 e^{i(\omega'-\lambda)\Delta} - \frac{1}{N} e^{i(\lambda-\sigma)\Delta} \left(\frac{k_0 e^{i(\omega'-\lambda)\Delta} - 1}{k_0 e^{i(\omega'-\sigma)\Delta} - 1} \right)^2 (k_0^N e^{i(\omega'-\sigma)T} - Nk_0 e^{i(\omega'-\sigma)\Delta} + (N-1)) \right) \quad (3)$$

Здесь

$$\omega' = \frac{\omega}{1+1/(2Q)^2}, \quad k_0 = \exp\left(-\frac{\omega'\Delta}{2Q}\right).$$

Пусть $\lambda = \omega$. Тогда, если $Q = \infty$ (диссипации нет), то $DX_{V-L}(\sigma) \equiv a$. При $Q \gg 1$ зависимость $DX_{V-L}(\sigma)$ выглядит так, как показано на рис. 1 а).

4. Если $\lambda \neq \omega$, функция $DX_{V-L}(\sigma)$ достигает максимума на частоте, близкой к ω . Его амплитуда растёт с увеличением Q , T и $|\lambda - \omega|$.

Начнём с анализа асимптотики $DX_{V-L}(\sigma)$ при $T \rightarrow \infty$. Из (3) имеем:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} DX_{V-L}(\sigma) = \frac{2aQ}{\omega\Delta} \frac{(1-k_0^2) \left(-\cos(\sigma-\lambda)\Delta \right)}{1+k_0^2 - 2k_0 \cos(\sigma-\omega')\Delta} \quad (4) \text{ Правая часть (4)}$$

достигает максимума на частоте σ_{\max} , определяемой соотношением

$$\operatorname{tg} \frac{(\sigma_{\max} - \omega')\Delta}{2} \operatorname{tg} \frac{(\lambda - \omega')\Delta}{2} = -\frac{(1-k_0)^2}{(1+k_0)^2}. \quad (5)$$

Предположим, что выполнены условия

$$Q \gg 1, \quad \omega \cdot \Delta \ll 2Q, \quad |\lambda - \omega| \ll 2/\Delta \quad \text{и} \quad \omega^2 \Delta \ll 8Q^2 |\lambda - \omega|.$$

Тогда из (5) следует, что величины $(\sigma_{\max} - \omega)$ и $(\lambda - \omega)$ обратно пропорциональны:

$$(\sigma_{\max} - \omega) \cdot (\lambda - \omega) \approx -(\omega/2Q)^2. \quad (6)$$

При конечных значениях T , как и в случае $T = \infty$,

$$(\sigma_{\max} - \omega) \cdot (\lambda - \omega) < 0, \quad (7)$$

см рис. 1 б), в). Вместо (6) имеем неравенство:

$$|\sigma_{\max} - \omega| \cdot |\lambda - \omega| > (\omega/2Q)^2. \quad (8)$$

Произведение в левой части (8) - уже не константа, но сомножители находятся в обратной зависимости: если $|\lambda - \omega|$ уменьшается, $|\sigma_{\max} - \omega|$ возрастает, и наоборот.

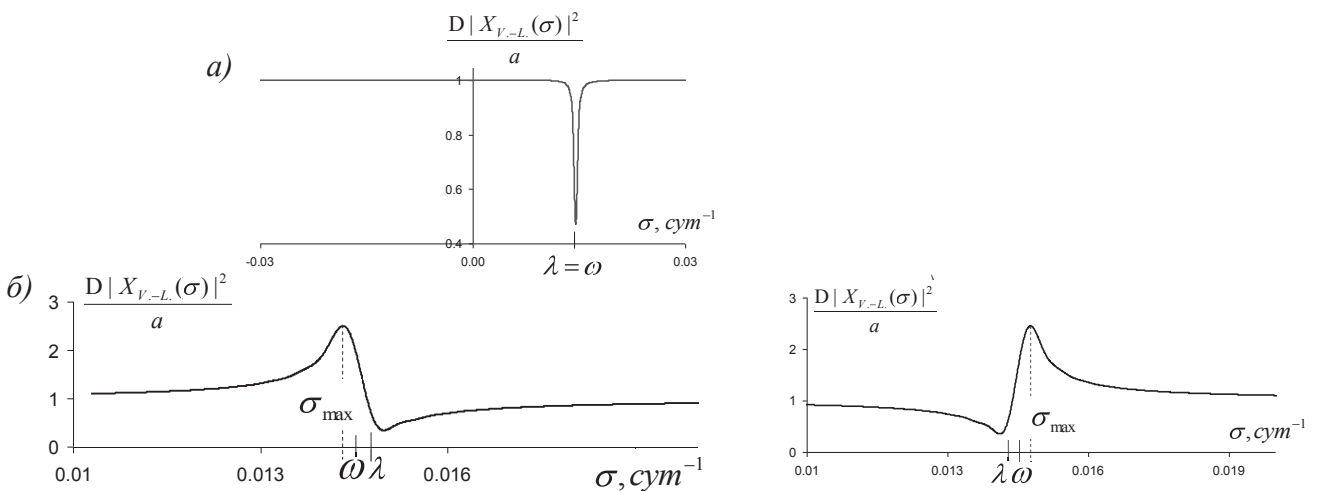


Рисунок 1. Результаты вычислений по формуле (3) при $\omega = 2\pi/432 \text{ сут}^{-1} \approx 0.01454 \text{ сут}^{-1}$,

$Q = 50$, $\Delta = 100 \text{ сут}$ и различных значениях λ : а) $\lambda = \omega$; б)

$\lambda = 2\pi/425 \text{ сут}^{-1} \approx 0.01478 \text{ сут}^{-1}$; в) $\lambda = 2\pi/439 \text{ сут}^{-1} \approx 0.01431 \text{ сут}^{-1}$.

4. ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ УРАВНЕНИЯ ЛИУВИЛЛЯ

Мы исходим из того, что гипотеза (2) верна.

Будем варьировать параметр λ : если $\lambda \neq \omega$, в спектре В.-Л. движения полюса на частоте $\sigma_{\max} \sim \omega$ мы увидим «чандлеровский» максимум. Пусть $\lambda > \omega$; тогда $\sigma_{\max} < \lambda$. По мере убывания λ «чандлеровский» пик будет сдвигаться вправо, а его амплитуда - уменьшаться, см. последний абзац п. 3. Когда λ с достаточной точностью совпадёт с ω , максимум исчезнет, затем появится справа от λ ; в результате мы получим оценку чандлеровской частоты ω и чандлеровского периода.

Описанный алгоритм реализован авторами на материале данных IERS за период с 01.01.1962 по 20.06.2014, см. рис. рис. 2 а) - е). Получены следующие оценки:

$$\omega = 0.01451... 0.01458 \text{ сут}^{-1}; \quad T_{\text{Ch}} = 2\pi / \omega = 432 \pm 1 \text{ сут}. \quad (9)$$

Они весьма близки к результатам [8] ($T_{\text{Ch}} = 433 \pm 0.06 \text{ сут}$). Разница – в подходе: мы не моделируем движение полюса, поэтому наши выводы не зависят от точности данных о возмущающем угловом моменте

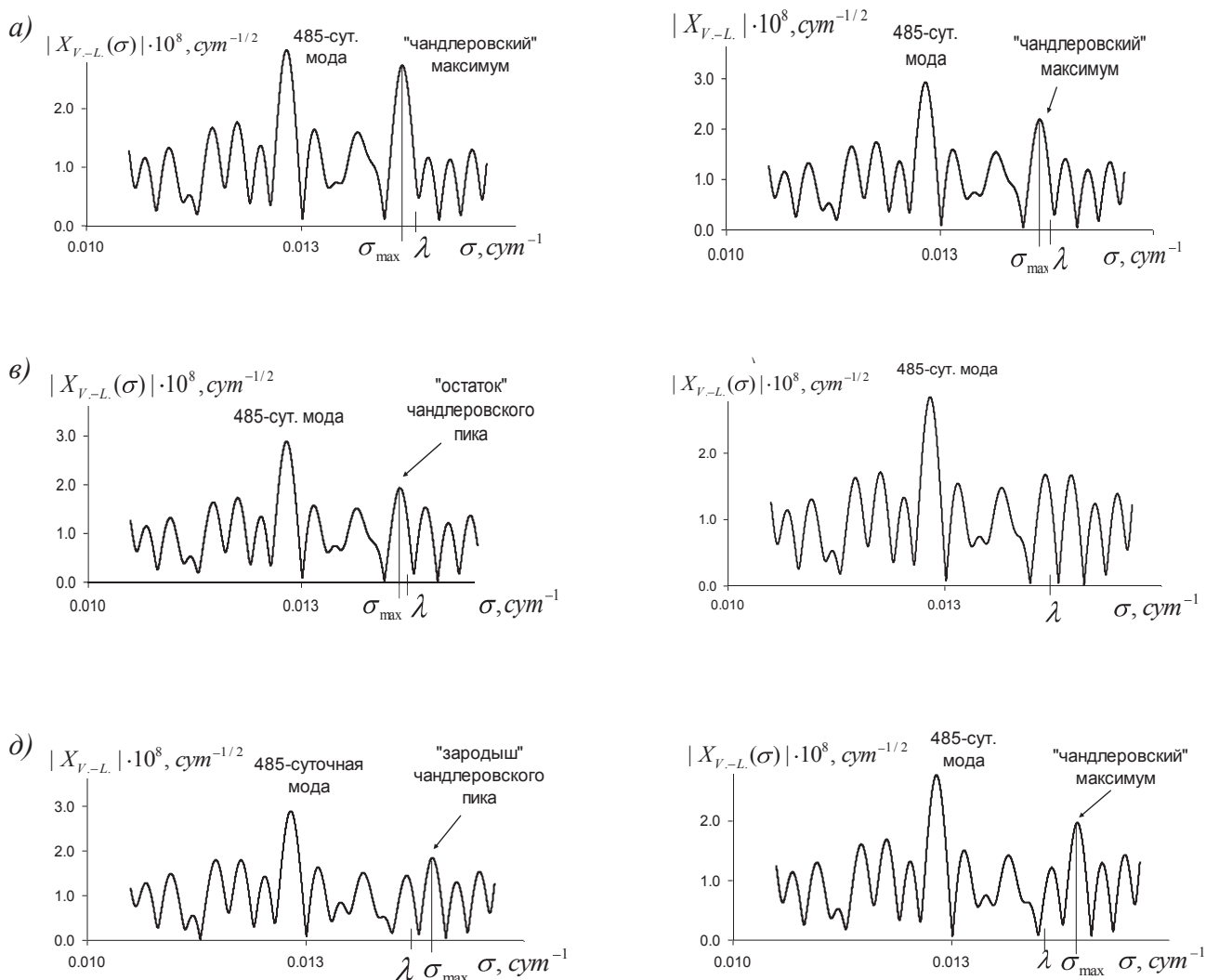


Рисунок 2. Фрагмент спектра В.-Л. движения полюса. По данным IERS за период с 1962 по 2014 г.г. Шаг по времени $\Delta = 100 \text{ сут}$; «пробная» частота λ :

а) $\lambda = 2\pi / 428 \text{ сут}^{-1} \approx 0.01468 \text{ сут}^{-1}$; б) $\lambda = 2\pi / 430 \text{ сут}^{-1} \approx 0.01461 \text{ сут}^{-1}$;

в) $\lambda = 2\pi / 431 \text{ сут}^{-1} \approx 0.01458 \text{ сут}^{-1}$; г) $\lambda = 2\pi / 432 \text{ сут}^{-1} \approx 0.01454 \text{ сут}^{-1}$;

$$д) \lambda = 2\pi / 433 \text{ сут}^{-1} \approx 0.01451 \text{ сут}^{-1}; \quad е) \lambda = 2\pi / 434 \text{ сут}^{-1} \approx 0.01448 \text{ сут}^{-1}.$$

Заметим, что в соответствии с (7) «чандлеровский» максимум всегда оказывается по другую сторону от ω , чем λ . Это – ещё один аргумент в пользу вероятностной гипотезы (2).

В заключение, пользуясь (8) и (9), оценим (снизу) добротность мантии Q :

$$Q > \frac{1}{2} \frac{\omega}{\sqrt{(\sigma_{\max} - \omega) \cdot (\omega - \lambda)}}. \quad (10)$$

Например, при $\lambda = 2\pi / 428 \approx 0.01468 \text{ сут}^{-1}$, имеем: $\sigma_{\max} \approx 0.01442 \text{ сут}^{-1}$, см. рис. 2 а).

Полагая $\omega = 2\pi / 432 \approx 0.01454 \text{ сут}^{-1}$, получим из (10):

$$Q > 56.$$

Другие значения «пробной» частоты λ приводят к близким оценкам, от $Q > 48$ до $Q > 64$, тогда как согласно [8], $Q = 37 \pm 0.3$. В дальнейшем авторы надеются, используя колмогоровскую модель и спектр В.-Л., эффективно оценить Q сверху.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арато, М., Колмогоров, А.Н., Синай, Я. Г. Об оценке параметров комплексного стационарного гауссовского марковского процесса.// Доклады Академии наук СССР. Том 146. №4. 1962. С. 13-17.
2. Тихонов, В.И., Миронов, М.А. Марковские процессы. М., Советское радио, 1977, 488 с
3. Цуркис И.Я., Кучай М.С., Рыбин А.А. Применение спектра Винера-Лиувилля к анализу движения полюса и возмущающих функций атмосферы и океана.//Изв. Главной астрономической обсерватории в Пулкове, № 223, С.149-154.
4. Цуркис, И.Я, Кучай М.С., Спиридонов, Е.А. Вероятностный анализ данных о моменте импульса атмосферы за период с 1980 по 2003 гг.//Физика Земли, №4, 2012. С.57-71.
5. Цуркис, И.Я, Спиридонов, Е.А. О применимости аппарата марковских процессов к описанию чандлеровского движения полюса.//Физика Земли, №4, 2009, С 3-16
6. Furuya, M., Chao, B. F. Estimation of period and Q of the Chandler wobble// Geophys. J. Int., 127, 1996, P. 693-702.
7. Smith, M.L., Dahlen, F.A. The period and Q of the Chandler wobble// Geophys. J.R.astr. Soc, 64, 1981, P. 223-281.
8. Vondrák, J., Ron, C., Chaparov, Ya. New determination of period and quality factor of Chandler Wobble, considering geophysical excitations// Advanced in Space Research, 59, 2017, P.1395-1407.

УДК 338.2

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЭК РОССИИ В ЭПОХУ ГЛОБАЛЬНОГО
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КРИЗИСА**

Чеботарев Николай Федорович
e-mail: chebot_@mail.ru

*Российский государственный университет Нефти и газа имени И. М. Губкин, г. Москва,
Россия*

Аннотация. Представлен анализ причин обострения мирового экологического кризиса. Показана необходимость обеспечения экологической безопасности функционирования ТЭК России. Уточнена цель государственной энергетической политики в сфере обеспечения экологической безопасности ТЭК: минимизация негативного влияния добычи, производства, транспортировки и потребления энергоресурсов на окружающую среду и климат. Предложены основные меры государственной энергетической политики обеспечения экологической безопасности функционирования ТЭК России.

**ENSURING ENVIRONMENTAL SAFETY OF FUNCTIONING OF RUSSIAN FUELS IN
THE EPOCH OF THE GLOBAL ENVIRONMENTAL CRISIS**

Nikolay Chebotarev
e-mail: chebot_@mail.ru

Russian State University of Oil and Gas Gubkin, Moscow, Russia.

Summary. Presents the analysis of the causes of the aggravation of the global environmental crisis is presented. The need to ensure ecological safety of the functioning of the fuel and energy complex of Russia is shown. The goal of the state energy policy in the sphere of ensuring the ecological safety of the fuel and energy complex is specified: minimization of the negative impact of the extraction, production, transportation and consumption of energy resources on the environment and the climate. The main measures of the state energy policy ensuring environmental safety of the fuel and energy complex of Russia are proposed.

Проблемы развития общества, которые касаются всех и каждого, всего мирового сообщества, носящие всеобщий характер, называют глобальными. Проявление и последующее обострение этих проблем в планетарном масштабе настоятельно требуют поиска путей их разрешения на глобальном, межгосударственном уровне, потому что отдельные страны и даже группы стран не обладают необходимыми для этого колоссальными силами и средствами.

Глобальные проблемы имеют серьезнейшие экономические аспекты, обуславливающие невозможность разрешения проблем без объединения различных ресурсов (материальных, финансовых, трудовых, технологических, духовных, интеллектуальных, информационных) всего мирового сообщества [1].

Глобальные проблемы, обусловленные естественно-природными факторами, возникли и существуют давно: землетрясения, наводнения, ураганы, цунами, метеоритные дожди, магнитные бури и др. Неизбежное последствие развития общества в целом – результат ускорения и расширения масштабов его хозяйственной деятельности. Негативное воздействие глобальных проблем на все стороны жизни и деятельности человечества, затруднения в их разрешении на современном этапе и в перспективе связаны с повышенными темпами экономического роста на основе научно-технического прогресса.

Выделяют основные проблемы: экологическую; демографическую; продовольственную; разоружения; нераспространения ядерного оружия и предотвращение ядерной войны; международной безопасности.

Таким образом, особым связующим фактором формирования мировой экономики являются глобальные проблемы человечества, затрагивающие всех и решаемые только с привлечением совокупных средств многих или всех стран, международных организаций и при интернациональном экономическом сотрудничестве.

Особенностью глобальных проблем является их универсальный характер, так как они являются порождением современной цивилизации [2].

Во второй половине XX столетия в мировой экономике был поставлен вопрос об охране окружающей среды, т.к. её загрязнение в результате хозяйственной деятельности достигло в ряде областей критического уровня. Под угрозой уничтожения оказались различные биологические виды и экологические системы. В дальнейшем актуальность проблемы, исследования вопросов экологии, популяризация этих знаний, активизация неправительственных экологических организаций и движений, привели к её широкому обсуждению.

Главные причины обострения экологического кризиса:

1) вывод из землепользования огромных площадей культивируемых земель в результате чрезмерного употребления химических удобрений, засоления почв, ветряной и водной эрозии. 20 век принес человечеству уничтожение более 1/4 обрабатываемых земель;

2) вырубка леса, приводящая к наводнениям, эрозии почв, оползням, заболочиванию. Потеря лесных массивов на значительных площадях приводит к нарушениям экологического баланса в региональных и глобальных масштабах. В 20 веке было уничтожено около 2/3 лесов. Если полвека назад 12% суши Земли покрывали тропические леса, то сегодня они остались только на 6 % суши;

3) химическое воздействие на продукты земледелия и животноводства, воду, среду обитания человека и т.д., что влияет на здоровье, жизнь всех людей, не говоря о прямом уничтожении способности природной среды к воспроизводству;

4) растущий объем выброса в атмосферу Земли загрязнителей. Из-за накопления в атмосфере углекислого газа (парникового эффекта), обеднения озонового слоя может произойти изменение климата. По прогнозам, среднегодовая температура на Земле повысится к середине XXI в. на 1,5-4,5°C, а уровень Мирового океана уже к 2010 г. – на 1,4-2,2 м.;

5) стремительное наращивание отходов, превращение значительных земельных площадей в свалки различных промышленных отходов. В результате сокращаются полезные площади земли и расширяются территориальные очаги с повышенной опасностью для жизни людей. Объем промышленных отходов достиг 10 млрд. т., увеличившись за 30 лет в 2,5 раза. Загрязнение воды возросло за это же время более чем в 10 раз;

6) особую опасность для жизни человека и природы представляет рост количества атомных электростанций. Возможный вариант воздействия на экологию получен в результате чернобыльской трагедии: смерть людей, омертвление городов, земель, лесов, воды, перенос по воздуху на тысячи километров особо опасных радиационных загрязнителей и их выпадение в виде осадков на города и села [4].

Всё это подтверждает исключительную масштабность экологической проблемы, её значимость для настоящего и будущего мировой цивилизации, а также необходимость колоссальных средств, для преодоления или уменьшения её негативных последствий.

Пока что «экологические бюджеты» стран и международных организаций сравнительно невелики и неадекватны масштабам задач. В 1970 г. на природоохранные мероприятия человечество затратило 40 млрд. долл., в 1980 г. – около 75 млрд., в 1990 г. – приблизительно 150 млрд., в 2000 г. – около 250 млрд., в 2015 г. – 320 млрд.

На природоохранные цели индустриальные страны расходуют 1-2% своего ВВП, не оказывая должной поддержки развивающимся странам. Цена ежегодного ущерба причиняемого окружающей среде, составляет в среднем 4-6 % стоимости их ВВП. Поскольку бедные и богатые страны обладают различными возможностями, то и ответственность за состояние окружающей среды, например, стран «Севера» с 20% населения производящими около 70% выбросов в атмосферу, которые и порождают парниковый эффект, должна быть выше. Эти страны обязаны не просто быть наиболее ответственными в своих действиях, а помочь государствам «Юга» технологически и экономически области охраны окружающей среды.

Другая проблема в области охраны окружающей среды – строительство гидроэлектростанций, которые, с одной стороны, дают возможность получения электроэнергии, причем наиболее чистым способом, с другой – изменяют экологическую ситуацию в бассейне рек, затопляя большие площади, создавая препятствия для передвижения рыб и т.п. Экономические интересы отдельных корпораций и государств противостоят интересам отстаивающих сохранность природы экологических движений, а также правозащитных организаций [2].

Крупнейшие экологические катастрофы возможны также в случае локальных конфликтов.

Наблюдается переход от обсуждения проблем, связанных с «пределами ресурсов», имеющих на Земле, к вопросам о «пределе отходов». Экологическая проблематика предполагает совместную работу по ее разрешению государств, а также межправительственных и неправительственных организаций, транснациональных корпораций, экспертов в трёх основных направлениях: охрана воздушного бассейна; охрана водной среды; охрана поверхности и недр земли.

Российский топливно-энергетический комплекс (ТЭК) – один из основных источников загрязнения окружающей среды. На его долю приходится более 50% выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и более 20% сброса загрязненных сточных вод в поверхностные водоемы, а также более 70% суммарной эмиссии парниковых газов в Российской Федерации.

Обеспечение экологической безопасности функционирования ТЭК России предусматривает минимизацию негативного влияния добычи, производства, транспортировки и потребления энергоресурсов на окружающую среду и климат.

За период реализации «Энергетической стратегии России до 2020 года», заметен существенный прогресс в повышении экологической безопасности ТЭК. Ужесточены экологические требования в области недропользования, разработан комплекс мер по эффективному использованию попутного нефтяного газа, разработана система государственной экологической экспертизы инвестиционных проектов в энергетике [5].

В то же время сохраняются препятствия на пути разрешения проблемы рационального использования попутного нефтяного газа (отсутствует нормативная база доступа к газопроводам для производителей сухого газа), отсутствуют экономические меры стимулирования компаний с целью эффективной утилизации отходов от деятельности энергетического сектора и рекультивации нарушенных земель.

Основной целью государственной энергетической политики в сфере обеспечения экологической безопасности ТЭК является последовательное ограничение нагрузки ТЭК на окружающую среду и климат путем снижения выбросов (сбросов) загрязняющих веществ в окружающую среду, а также эмиссии парниковых газов, сокращения образования отходов производства и потребления.

Для реализации экологической безопасности функционирования энергетического сектора необходимы следующие основные меры государственной энергетической политики.

Создание благоприятной экономической среды, в том числе:

- стимулирование и создание условий для внедрения экологически чистых энергоэффективных и ресурсосберегающих технологий при производстве, транспортировке, хранении и использовании топливно-энергетических ресурсов;

- снятие основных инфраструктурных, технологических и иных барьеров, препятствующих рациональному использованию попутного нефтяного газа и минимизации объемов его сжигания на факелах;

- создание условий для расширения производства электрической и тепловой энергии на основе возобновляемых источников энергии.

Формирование системы перспективных регламентов, стандартов и норм, предусматривающих:

- контроль соблюдения экологических требований при реализации инвестиционных проектов в энергетике и текущей эксплуатации энергетических объектов;

- гармонизацию норм российского и международного экологического законодательства.

Поддержка стратегических инициатив, в том числе:

- развитие системы экологического аудита применительно к организациям всех форм собственности, осуществляющим хозяйственную деятельность в топливно-энергетическом комплексе;

- стимулирование увеличения производства высококачественного моторного топлива с улучшенными экологическими характеристиками, соответствующего

Замедление экономического роста существенно уменьшает спрос на топливо и энергию, снижает инвестиционную активность в ТЭК. Проблемами ТЭК России являются: ухудшение ресурсной базы по мере истощения действующих месторождений, снижение размеров и качества новых геологических открытий, технологическое отставание российского ТЭК от уровня развитых стран, высокий уровень зависимости от импорта части оборудования, материалов и услуг, существенный износ инфраструктуры и производственных фондов, ограниченные возможности по привлечению долгосрочных финансовых ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ерофеев Б.М. Экологическое право России. – М.: Юрист, 2010. – 711 с.
2. Никаноров Т.М., Хоружая Т.А. Глобальная экология. – М.: Приор, 2008. – 285 с.
3. О комиссии при президенте Российской Федерации по вопросам стратегии развития топливно-энергетического комплекса и экологической безопасности. Указ президента Российской Федерации. Ред. от 22.11. 2016 г.
4. Чеботарев Н.Ф. Мировая экономика и международные экономические отношения. – М.: Дашков и К. 2017. – 252 с.
5. Энергетическая стратегия России на период до 2035 г. – М.: Энергия. 2016. – 54 с.

УДК 550.834

**ГЛУБИННЫЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ЛИТОСФЕРЫ
ПЕЧЕНГСКОГО И ОНЕЖСКОГО РУДНЫХ РАЙОНОВ***Шаров Николай Владимирович¹, Лобанов Константин Валентинович²**sharov@krc.karelia.ru**lobanov@igem.ru**¹Институт геологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия**²ИГЕМ РАН, Москва, Россия*

Аннотация. Новая интерпретация геологических и сейсмических данных позволила выявить корреляцию поверхностных структур эндогенных рудных районов Балтийского щита с рельефом поверхности Мохо и локальными неоднородностями земной коры. В результате на основе согласованного анализа геологических и сейсмических данных построены модели глубинного строения Печенгского и Онежского рудных районов и выполнено их сопоставление.

**DEEP STRUCTURE OF THE LITHOSPHERIC OF PECHENGA AND ONEGA
ORE DISTRICTS**

Sharov Nikolay V., Lobanov Konstantin V.

*sharov@krc.karelia.ru**lobanov@igem.ru**¹Institute of Geology Karelian Research Centre RAS**²Leading researcher RAS, Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry*

Summary. New interpretation of geological and seismic data has revealed a correlation of surface structures of endogenous ore districts of the Baltic shield Moho topography and local inhomogeneities of the crust. As a result the model of the deep structure of Pechenga and Onega ore districts, based on a agreed analysis of geological and seismic data were constructed and performed their comparison.

Введение. Проблема соотношений рудных месторождений с глубинными неоднородностями литосферы занимает одно из важных мест в области геологии, геофизики и геохимии. Она разрабатывается в масштабе металлогенических провинций, металлогенических зон, рудных районов, отдельных крупных рудных месторождений и в разных направлениях.

Печенгский рудный район. Исследования глубинного строения Печенгского рудного района были начаты ИГЕМ РАН в 1971 г. с изучения разреза Кольской сверхглубокой скважины и осуществлялись в два этапа. На первом этапе на основе корреляции разреза скважины и адекватных материалов по поверхности была построена модель до глубины 15 км. Она исходила из более широких, чем обычно границ Печенгского рудного района и позволила расшифровать внутреннее строение никеленозной Печенгской структуры. При создании второй модели до глубины 40 км использованы результаты сейсмотомографического изучения переходной зоны Балтийский щит-шельф Баренцева моря. В итоге под Печенгской структурой зафиксирован локальный подъем раздела Мохо, интерпретированный как реликтовый мантийный плюм.

В последующие годы работы в Печенгском рудном районе развиваются по трем направлениям. Во-первых, обобщение многолетних структурно-петрологических исследований Печенгского рудного района и сопоставимых рудоносных площадей северо-восточной части Балтийского щита [2]. Во-вторых, интерпретация никеленозной Печенгской

структуры как палеопротерозойского приразломного вулканического центра. В-третьих, сопоставление тектонической позиции Печенгского рудного района и его глубинного строения.

Отправным пунктом интерпретации никеленосной Печенгской структуры как палеопротерозойского приразломного вулканического центра служит интегральная геодинамическая модель Печенгского рудного района до глубины 15 км. Она трактует Северное крыло Печенгской структуры как фрагмент вулканической кальдеры, осложненной согласными зонами расланцевания, а ее Южное крыло как чешуйчатую моноклираль, на которую надвинуты гранитоидные купола.

В связи с бурением Кольской сверхглубокой скважины в Печенгском районе и на смежных площадях выполнены уникальные по плотности и методам сейсмические исследования. Для построения сейсмотомографического разреза «Суша-море» [1] в базу данных были включены 4200 лучей Р-волн и 2400 лучей S-волн, зарегистрированных от региональных профилей, промышленных и других мощных взрывов. В ГП «Невскгеология» сначала был построен один опорный разрез, представленный в виде вариаций V_p , V_s и отношения V_p/V_s на глубину 40 км и по латерали, затем детальная трехмерная модель участка, в центре которого находится Кольская сверхглубокая скважина.

Установлено, что в Печенгском районе континентальная кора делится на верхнюю гетерогенную и нижнюю гомогенную, отличающиеся по величине скоростных параметров. Граница между ними располагается на глубине от 20 до 25 км. Сопоставление данных ГСЗ и МОВЗ позволило определить положение и строение раздела Мохо (рис. 1.). Он представлен двумя сейсмическими поверхностями, отстоящими друг от друга на 12 км. Его верхняя поверхность располагается на глубинах 34-41 км. Минимальные глубины в 34-36 км зафиксированы под Северным крылом Печенгской структуры, вмещающим медно-никелевые месторождения. Они отвечают изометричной в плане аномалии диаметром 35-45 км, интерпретированной как реликтовый мантийный плюм, точнее его кровля. Под ним на границе верхней и нижней коры выявлены аномалии с максимальными значениями V_p/V_s – признаки некогда существовавших промежуточных магматических камер.

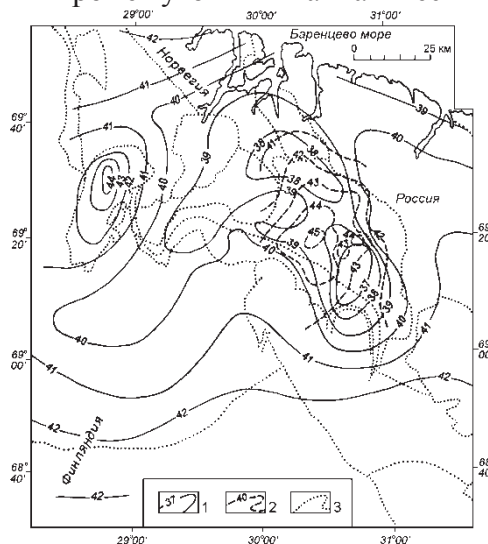


Рис. 1. Схема рельефа границы Моховичича (M1) в пределах Лапландско-Печенгского района по данным сейсмических исследований: [4]

1 и 2 – изогипсы раздела M1 (1) и M2 (2) в километрах; 3 – границы главных структурных зон и разделяющих их основных разломов на дневной поверхности

Сведения о литологическом составе пород на разделе кора-мантия и поведении раздела Мохо получены в результате переинтерпретации сейсмического профиля POLAR и совпадающего с ним профиля Fire-4. Он определен по соотношениям параметров V_p , V_s и V_p/V_s в профилях и образцах коровых и мантийных пород. Впервые установлено, что в Кольско-Норвежском блоке и блоке Инари сейсмический раздел Мохо располагается на

границе нижней коры, сложенной безгранатовыми основными гранулитами, и верхней мантии, состоящей из пироксенитов и перидотитов. По латерали раздел Мохо пересекает корни Лапландского гранулитового пояса, распространяющиеся из коры в мантию.

По аналогии можно предполагать, что под Печенгской структурой нижняя кора и верхняя мантия имеют тот же литологический состав. Это открывает возможность для петрологической характеристики промежуточных магматических камер, выделенных по сейсмическим данным.

В монографии Печенгская структура описана как грабен-синклиналь на архейском основании. После ее выхода были опубликованы разнообразные плейттектонические модели Печенгской структуры, согласно которым слагающий его палеопротерозойский осадочно-вулканогенный комплекс или, по крайней мере, его верхняя часть представляют собой океаническую кору. Эти модели по существу исключали возможность связи рудоносных поверхностных структур с разделом Мохо. Но приведенные выше данные доказывают наличие такой связи, по крайней мере, в Северном крыле никеленосной Печенгской структуры.

Онежская палеопротерозойская геологическая структура является уникальной, сравнительно хорошо обнаженной и изученной на территории Восточно-Европейской платформы. Она активно развивалась в интервале 2,5 - 1,7 млрд лет геологической истории. Ее территория площадью 40 тыс. км², расположенная на Ю-В Карелии и прилегающих районах Ленинградской и Вологодской областей, рассматривается в качестве одного из важных мировых эталонов палеопротерозойского этапа истории Земли.

Интерес к Онежской структуре возник в XVII веке в связи с развитием в России металлургии. Другим мощным толчком к ее освоению и изучению явилось начало строительства Санкт-Петербурга. Требовался гранит, мрамор, шунгит и др. строительные материалы. Известные архитектурные сооружения (Казанский, Исаакиевский соборы, Эрмитаж и др.) облицованы тивдийским и рускеальским мрамором, шокшинским кварцитом, нигозерским сланцем. В послевоенный период на территории ОС успешно проводились геолого-съёмочные работы и поиски урановых и других рудных месторождений. Открыты новые месторождения хромитов, шунгитов, ванадия и других полезных ископаемых.

ФГУ НПЦ «Недра» в 2007 - 2009 гг. провело бурение в Кондопожском районе РК Онежской параметрической скважины (ОПС) до глубины 3537 м. Впервые для западной части онежской структуры получен полный разрез заонежской свиты. Скважина вскрыла разрез нижнего докембрия, включающий граниты архейского фундамента и главные стратоны палеопротерозоя, представленные ятулийским, людиковийским и калевийским надгоризонтами [6]. В интервале 2751 -2944 м была вскрыта толща каменной соли. Обнаружение солей оказалось неожиданным т.к. находятся они в основании ниже протерозойской онежской структуры и перекрывают мигматизированные гранито-гнейсы архейского фундамента. Впервые вскрыт фундамент онежской структуры во внутренней его зоне в интервале глубин 294-350 м. Установлено, что граниты фундамента прошли несколько этапов становления и преобразования [3].

Онежский рудный район – это месторождения хромитов, титаномагнетитов с платиноидами и золотом, а также урана – ванадия с комплексом других элементов. Исследования глубинного строения на основе корреляции геологических и сейсмических данных направлены на установление связей его поверхностных структур и рудных месторождений с локальными неоднородностями коры и раздела кора-мантия.

Сейсмические работы методом обменных волн землетрясений (МОВЗ) в Онежском рудном районе выполнены в 1980-1987 гг. с использованием стандартной методики. Расстояние между точками наблюдений составляло 3-5 км, длительность наблюдений на каждой точке 24-30 дней (до полного набора необходимой информации). В результате проведенных сейсмических исследований [3] составлены схемы глубинного строения для Онежско-Ладужской площади в масштабе 1:200000 (рис. 2). Физической основой для оценки выделения глубинного строения послужила сейсмическая неоднородность земной коры по

вертикали и латерали. На всех разрезах МОВЗ в низах коры наиболее уверенно прослежены две границы M_I и M_{II} . Верхняя из этих границ по данным ГСЗ на других территориях приурочена к поверхности раздела, характеризующейся скоростью продольных волн $V_p = 7,9-8,2$ км/с, т.е. является подошвой земной коры. Граница M_{II} прослеживается на всех территориях, где проводились работы МОВЗ (Украина, Кольский полуостров, Казахстан) и определена авторами как подошва зоны перехода кора-мантия. Слой, расположенный между M_I и M_{II} определен как зона перехода кора-мантия. По данным ГСЗ на Кольском полуострове в районе СГ-3 скорости продольных волн на границе M_{II} слабо отличаются от скоростей в кровле зоны перехода и находятся в пределах $V_p = 8,0-8,3$ км/с. Данное обстоятельство является предпосылкой для довольно часто встречающейся оценки: при потере прослеживания одной из границ в работах ГСЗ наблюдается переход на другую границу с близкой скоростью и образуются т.н. «корни гор».

При анализе глубинного строения территории Онежской структуры обращает на себя внимание переменная мощность коромантийного переходного слоя [3]. Так в Северо-Онежском синклинии его наибольшая мощность от 10 по 14 км фиксируется в юго-восточной части на площади около 8000 км² (Петрозаводск – Волозеро – Водлозеро – Шокша - Петрозаводск). Ее можно назвать Центрально-Онежской линзой андерплейтинга по географическому положению относительно Онежского озера. Ранее [5], было высказано предположение о природе переходного коромантийного слоя как андерплейтингового явления, возникающего под влиянием мантийных плюмов при формировании ими крупных магматических провинций (КМП).

Намечается пространственная связь наиболее мощной Центрально-Онежской линзы андерплейтингового слоя с наиболее значительными месторождениями металлических полезных ископаемых Онежского рудного района. Он характеризуется разными по генезису и возрасту месторождениями: (осадочными, магматическими и метасоматическими), сформированными в палеопротерозое от 2.45 до 1.7 Ga. Это уникальный мировой объект по масштабам и уровню концентраций восстановленных форм углерода (шунгиты) в докембрии, отражающих интенсивность и длительность процесса флюидопереноса рудогенных компонентов, связанных с магматизмом [3].

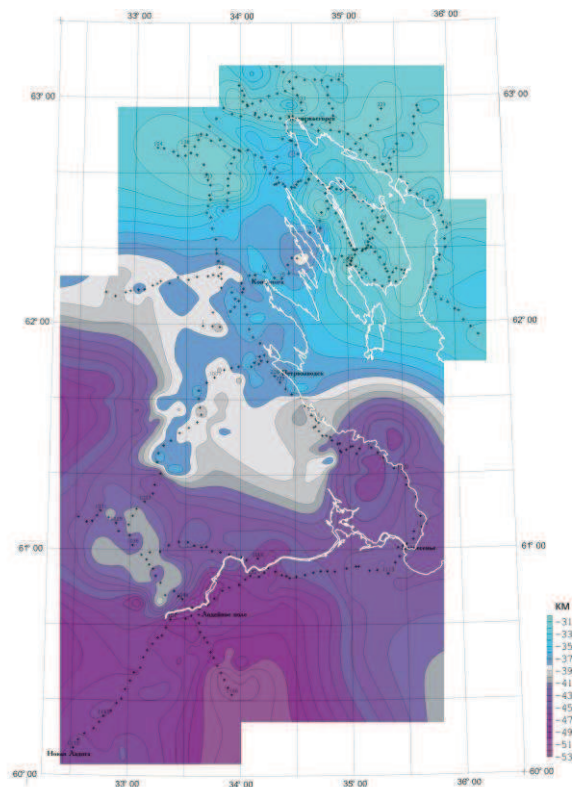


Рис. 2. Мощность земной коры по границе M_I . [3].

Заключение. Балтийский щит, где расположены Печенгский и Онежский рудные районы, по сочетанию сейсмических методов и их плотности наблюдений этим территориям нет аналогов на докембрийских щитах северного полушария Земли. И в том, и в другом районе сейсмические профили пересекли палеопротерозойские структуры, метаморфические и магматические комплексы, прошли в непосредственной близости от крупных магматических. Именно благодаря этому в Печенгском и Онежском рудных районах на основе корреляции геологических и сейсмических данных удалось выявить среднemasштабные неоднородности земной коры и раздела Мохо и установить пространственную связь с ними поверхностных структур и рудных месторождений.

В Печенгском рудном районе обнаружен локальный подъем раздела Мохо, или реликтовый мантийный плюм. Установлено, что над предполагаемы мантийным плюмом располагаются магматические медно-никелевые месторождения, ассоциированные с мантийными габбро-верлитовыми интрузиями.

В результате предложена интерпретация никеленосной Печенгской структуры как палеопротерозойского деформированного приразломного вулканического центра, определено положение Печенгской структуры и ее продолжения пояс Пасвик-Полмас в Лапландско-Кольском орогене и охарактеризован литологический состав в нижней коре и на разделе кора-верхняя мантия.

В Онежском рудном районе установлено, что месторождения пространственно связаны с наличием повышенной мощности андерплейтингового слоя, где, вероятно, проходила в палеопротерозое главная дифференциация мантийных магматических расплавов с отделением флюидных и рудных фаз. Она создавала благоприятные условия для последующего внедрения обогащенных металлами магматических расплавов в верхние уровни коры.

Эти открытия доказали, что в рудных районах расположенных на Балтийском щите, локальные неоднородности коры и раздела Мохо и соотношения с ними эндогенных рудных месторождений не могут быть описаны какой-то одной моделью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исанина Э.В., Верба М.Л., Иванова Н.М. Казанский В.И., Шаров Н.В. Глубинное строение и сейсмогеологические границы Печенгского района на Балтийском щите и смежной части шельфовой плиты Баренцева моря // Геология рудных месторождений. 2000. Т. 42, № 5. С. 476-487.
2. Лобанов К.В. Структурно-петрофизические условия локализации раннепротерозойских пегматитовых и магматических месторождений северо-восточной части Балтийского щита. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геол.-мин. наук. Москва, ИГЕМ РАН. 2008, 70 с.
3. Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника, глубинное строение и минерагения) / Отв. ред. Л.В. Глушанин, Н.В. Шаров, В.В. Щипцов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. 431 с.
4. Сейсмогеологическая модель литосферы Северной Европы: Лапландско-Печенгский район / Отв. ред. Н.В. Шаров. Апатиты: КНЦ РАН, 1997. 226 с.
5. Шаров Н.В., Исанина Э.В., Заможная Н.Г., Крупнова Н.А., Сулейманов А.К. Результаты глубинных сейсмических исследований методами ОГТ, ГСЗ и МОВЗ Онежско-Ладужской площади (Республика Карелия, Россия) // Геофиз. журнал. 2011. 33, № 3. С. 23-39.
6. Шаров Н.В., Куликов В.С., Исанина Э.В., Дрогицкая Г.М., Казанский В.И. Глубинное строение и металлогения Северо-Онежского синклиория (Республика Карелия, Россия): корреляция геологических и сейсмических данных // Геофиз. журнал. 2013. № 4 С. 16-28.

УДК 004.67; 550.3; 550.34

**ГИС-КОМПОНЕНТЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССОВ
ПОДГОТОВКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**

Шопин Сергей Александрович¹, Дода Леонид Николаевич²

¹ e-mail: *sshopin@mail.ru*

² e-mail: *l.doda@mail.ru*

^{1,2} *ФБГОУ ВО Тульский государственный университет, Россия, г.Тула*

Аннотация. Рассмотрена структура и компоненты специализированной геоинформационной системы мониторинга признаков подготовки землетрясений. В качестве методической основы мониторинга используется эмпирическая схема краткосрочного прогноза и обобщающая ее концепция сейсмотектогенеза.

**GIS-COMPONENTS FOR MONITORING OF EARTHQUAKE
PREPARATION PROCESSES**

Sergey Shopin¹, Leonid Doda²

¹ e-mail: *sshopin@mail.ru*

² e-mail: *l.doda@mail.ru*

^{1,2} *Tula State University, Russia, Tula*

Summary. The structure and components of specialized geographical information system for the monitoring of earthquake preparation processes are considered. The empirical scheme of short-term earthquake prediction and seismotectogenesis concept generalizing the scheme are used as the methodological basis for the monitoring process.

В работах [1-3] разработана эмпирическая схема краткосрочного прогноза землетрясений (ЗТ) и обобщающая и развивающая ее концепция сейсмотектогенеза. Схема представляет собой набор геофизических закономерностей, дающих ответы на вопросы «Где? Когда? С какой силой?» произойдет землетрясение.

Базовые закономерности следующие:

1. землетрясения происходят в среднем на 14-е и 21-е сутки после сильных геомагнитных возмущений, вызванных геоэффективными явлениями на Солнце типа корональных выбросов массы или солнечных вспышек – прогноз даты;

2. после каждого достаточно сильного геомагнитного возмущения можно определить сейсмамагнитный меридиан (СММ) – проекцию на геоид наиболее возмущенных силовых трубок геомагнитного поля. Каждый СММ представляет собой круговой пояс, расположенный под углом 79° (угол наклона силовых линий геомагнитного диполя) к экваториальной плоскости геоида;

3. землетрясения происходят в окрестностях пересечения СММ с литосферными разломами (границами плит по модели Берда) – прогноз места;

4. над областями подготовки землетрясений наблюдаются специфические облачные структуры – облачные сейсмотектонические индикаторы (ОСТИ), которые согласно развиваемой гипотезе являются следствием локального усиления водородной дегазации и позволяют оценить магнитуду готовящегося землетрясения по простой формуле, аналогичной формуле И.П. Добровольского для радиуса зоны проявления предвестников – прогноз магнитуды и уточнение места;

5. пространственная и временная когерентность (квази-синхронность по времени и локализованность по месту) аномалий различных геофизических полей указывает на факт подготовки сильного ЗТ – уточнение места подготовки ЗТ.

Событие на Солнце считается геоэффективным, т.е. способным инициировать цепочки землетрясений, при выполнении следующего условия:

$$Kp(i) \geq 3 \vee Kp(i+1) - Kp(i) \geq 2, \quad i = 0 \dots 8, \quad (1)$$

где $Kp(i)$, $Kp(i+1)$ – оперативные Кр-индексы геомагнитной активности (по 9-ти балльной шкале) в соседних i -м и $(i+1)$ -м трехчасовом интервалах. Под Кр-индексом в формуле (1) понимается оценочный К-индекс на средних широтах (обсерватория Fredericksburg), высоких широтах (обсерватория College), Боулдере (обсерватория Boulder) или планетарный.

Основным параметром СММ является его долгота – географическая долгота точки на экваторе, через которую проходит СММ. Долгота СММ рассчитывается по формуле:

$$L = \begin{cases} L_s - 45 \cdot j, & \text{если } L_s - 45 \cdot j \in [-180; 180], \\ L_s - 45 \cdot j - 360, & \text{если } L_s - 45 \cdot j > 180, \\ L_s - 45 \cdot j + 360, & \text{если } L_s - 45 \cdot j < -180. \end{cases} \quad (2)$$

где L – долгота СММ в градусах; L_s – долгота подсолнечной точки на дату D_s геоэффективного события на Солнце, определяемая по Астрономическому ежегоднику за соответствующий год; $j = 1 \dots 9$ – порядковый номер трехчасового интервала порядка j , на котором выполняется условие его геоэффективности (1), $j = i + 1$ в формуле (1). Долгота L является целым числом, поэтому имеем 360 возможных СММ.

Линия СММ строится в виде множества точек, долгота и широта которых определяются по формуле:

$$\begin{cases} \varphi_i = -\arcsin\left(\sin\theta_0 \cos\left(\frac{2\pi}{N}i\right)\right), \\ \operatorname{tg}\lambda_i = \frac{-\cos\theta_0 \cos L \cos\left(\frac{2\pi}{N}i\right) + \sin L \sin\left(\frac{2\pi}{N}i\right)}{\cos\theta_0 \sin L \cos\left(\frac{2\pi}{N}i\right) + \cos L \sin\left(\frac{2\pi}{N}i\right)}, \quad i = 0, 1, \dots, N-1 \end{cases} \quad (3)$$

где $\theta_0 = 79^\circ$, λ_i , φ_i – географическая долгота и широта точки СММ, N – число точек линии СММ, L – долгота СММ на экваторе.

С помощью рассчитанных СММ зоны возможных ЗТ определяются как круговые зоны радиусом 7° (примерно 770 км в средних широтах) с центрами, расположенными в местах пересечения СММ и границ тектонических структур, в первую очередь, границ плит.

Для ОСТИ эмпирически установлена следующая взаимосвязь между протяженностью структуры и магнитудой землетрясения:

$$L = L_0 \exp M \quad \Leftrightarrow \quad M = \ln\left(\frac{L}{L_0}\right) \pm 0.2, \quad (4)$$

где L – протяженность ОСТИ в км, $L_0 = 1$ км.

Готовность зон возможных ЗТ и потенциально возможная магнитуда ЗТ в них определяется, в первую очередь, по т.н. облачным сейсмоиндуцированным структурам или ОСТИ. ОСТИ представляют собой специфические облачные структуры, выявляемые на космоснимках и трассирующие границы литосферных, плит, блоков или разломов. В качестве исходной информации для поиска и идентификации ОСТИ выступают спутниковых снимки с геостационарных (MeteoSat, MTSAT, Kalpana, GOES, Himawari-8) и низкоорбитальных (Terra, AQUA, NOAA, Метеор-М) спутников, прежде всего метеорологического назначения, снимки с которых доступны в свободном доступе в сети Интернет. Важно отметить, что ОСТИ представляют собой динамическое явление и их выявление требует проведения анализа поведения облачности на ряде последовательных снимков, при анализе только статических изображений высока вероятность неверной идентификации. Методика выявления ОСТИ опирается на анализ динамики их развития и

соответствия их форм с границами плит. Важным свойством ОСТИ является их определенная повторяемость для конкретных сейсмоопасных зон, что позволяет использовать результаты анализа конкретных сильных землетрясений при прогнозной работе.

Для практической реализации схемы краткосрочного прогноза необходимо создание специализированной геоинформационной системы, реализующей сбор первичной геофизической информации, ее обработку и единообразное отображение, а также предоставляющей оператору инструменты, реализующие расчеты по зависимостям (1)-(4).

Базовым требованием при разработке ГИС-компонентов было использование только свободно-распространяемых программных библиотек и компонентов, а также свободно-распространяемых средств разработки.

Основные задачи, решаемые с помощью ГИС-компонентов следующие:

- 1) автоматизированный сбор наземных и спутниковых данных;
- 2) автоматическое формирование пространственных мета-данных и преобразование в единую рабочую проекцию используемой спутниковой и картографической информации;
- 3) отображение на одной временной оси выборок из массивов наземных данных;
- 4) отображение на единой картографической основе используемых картографических материалов и спутниковых данных, расчет линий сейсмомагнитных меридианов и прогнозных зон по соотношениям эмпирической схемы прогноза;
- 5) измерения на спутниковых снимках, определение потенциальной магнитуды землетрясения.

Перечень исходных данных соответствует компонентам наземно-космической системы сейсмопрогнозного мониторинга, обеспечивающей разрабатываемые компоненты исходными геофизическими данными. Перечень исходных данных включает в себя:

- 1) данные специальных гравиметрических измерений Тульского государственного университета (приборы типа ШГМ);
- 2) данные подземно-электрических (протонных) измерений дистантной школы «Космометеотектоника»;
- 3) данные электротеллурических измерений Магнитной обсерватории Какиока (Япония);
- 4) данные спутниковых систем дистанционного зондирования Земли метеорологического профиля, включающие геостационарные спутники семейств MeteoSat (Европейского космического агентства, Европейский союз), MTSAT (Himawari, Японское метеорологическое агентство), Kalpana-1 (Индийская организация космических исследований). GOES (Национальная информационная служба спутниковых данных об окружающей среде, США);
- 5) данные Парижского центра вращения Земли (Paris Observatory, Earth Rotation Center, <http://hpiers.obspm.fr/eop-pc/>);
- 6) данные гелиогеофизических параметров:
 - официальные данные по геомагнитной активности (официальные планетарные трехчасовые К_p-индексы), размещаемые на сайте немецкого исследовательского центра в области наук о Земле (GFZ Potsdam);
 - оперативные данные по геомагнитной активности Центра предсказания космической погоды (NOAA/NWS Space Weather Prediction Center, США);
- 7) данные о фактических землетрясениях программы Earthquake Hazards Program Геологической службы США (USGS);
- 8) данные метеорологических полей (приземный и высотный анализ) по модели GFS.

Технологическая схема работы ГИС-компонентов показана на рисунке 1. ГИС-компоненты представляют собой клиентские и серверные модули, предназначенные для эксплуатации в локальной или распределенной сети.

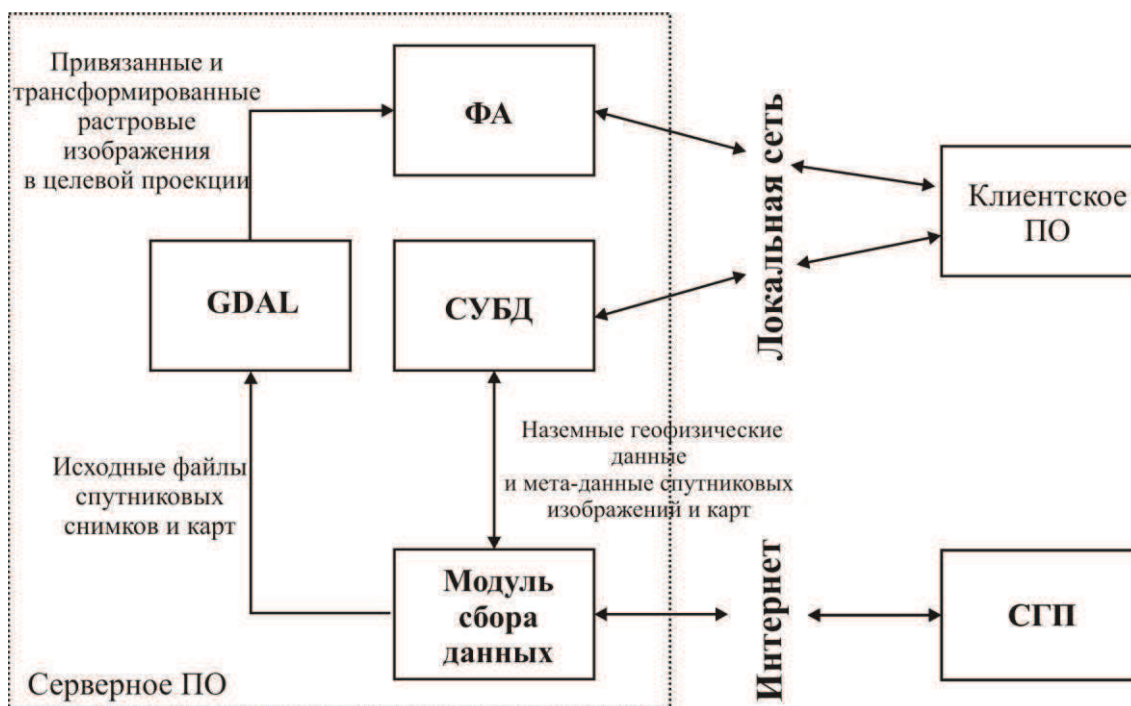


Рис. 1. Технологическая схема работы ГИС-компонентов: ФА – файловый архив; СУБД – система управления базами данных; СГП – серверы геофизического профиля

Серверное ПО обеспечивает реализацию процедур сбора, верификации, предварительной обработки и сохранения в БД используемых геофизических данных. Основной серверной платформой являются операционные системы семейства Linux (Ubuntu Linux LTS).

В состав серверного ПО входит:

- СУБД, в качестве которой используется MariaDB/MySQL;
- пакет для обработки ГИС-данных GDAL;
- файловый архив, реализуемый средствами операционной системы (Samba-сервис);
- модуль сбора данных, обеспечивающий загрузку первичной геофизической информации с серверов геофизического профиля в сети Интернет, ее верификацию, предварительную обработку и сохранение в БД. Для спутниковых снимков и растровых карт в БД сохраняются только мета-данные, хранение изображений осуществляется в файловом архиве, доступном в виде сетевой папки в локальной сети. Данные метеорологических полей также сохраняются в файловом архиве.

Спутниковые изображения и карты в пакетном режиме привязываются с формированием геопривязанных изображений в формате GeoTIFF и трансформируются в целевую географическую проекцию, в качестве которой принята Web Merkatog (код EPSG: 3857).

Клиентское ПО обеспечивает выполнение операции по анализу картографических данных, представленных спутниковыми снимками, и наземных данных, представленных графиками различных геофизических параметров. Клиентское ПО представляет собой специализированную ГИС-систему, обеспечивающую интерфейс пользователя и расчетные и аналитические инструменты для работы с используемыми данными. Клиентское ПО разработано на языке C# для платформы .Net Framework. Для разработки ГИС-систем использованы свободно-распространяемые библиотеки DotSpatial и MapWinGIS. Расчетные процедуры с метеорологическими полями – построение карт и графиков поправок атмосферного химического потенциала [4] реализовано в виде модулей для свободно-распространяемой системы научных вычислений GNU Octave.

ГИС-компоненты разработаны как плагин (подключаемый модуль) к полнофункциональной свободно-распространяемой ГИС-системе MapWindow 5. Данный

подход позволил получить полнофункциональную ГИС-систему, реализующую современный интерфейс ГИС-систем, аналогичный интерфейсу геопорталов Google Maps, Яндекс Карты или геопортал Роскосмоса.

Пример интерфейса ГИС-системы показан на рисунке 2. В окне карты показана цифровая топографическая основа, линии СММ и две прогнозные зоны, положение эпицентра ЗТ у восточного побережья Камчатки 20 марта 2016г., а также карта поправки атмосферного химического потенциала.

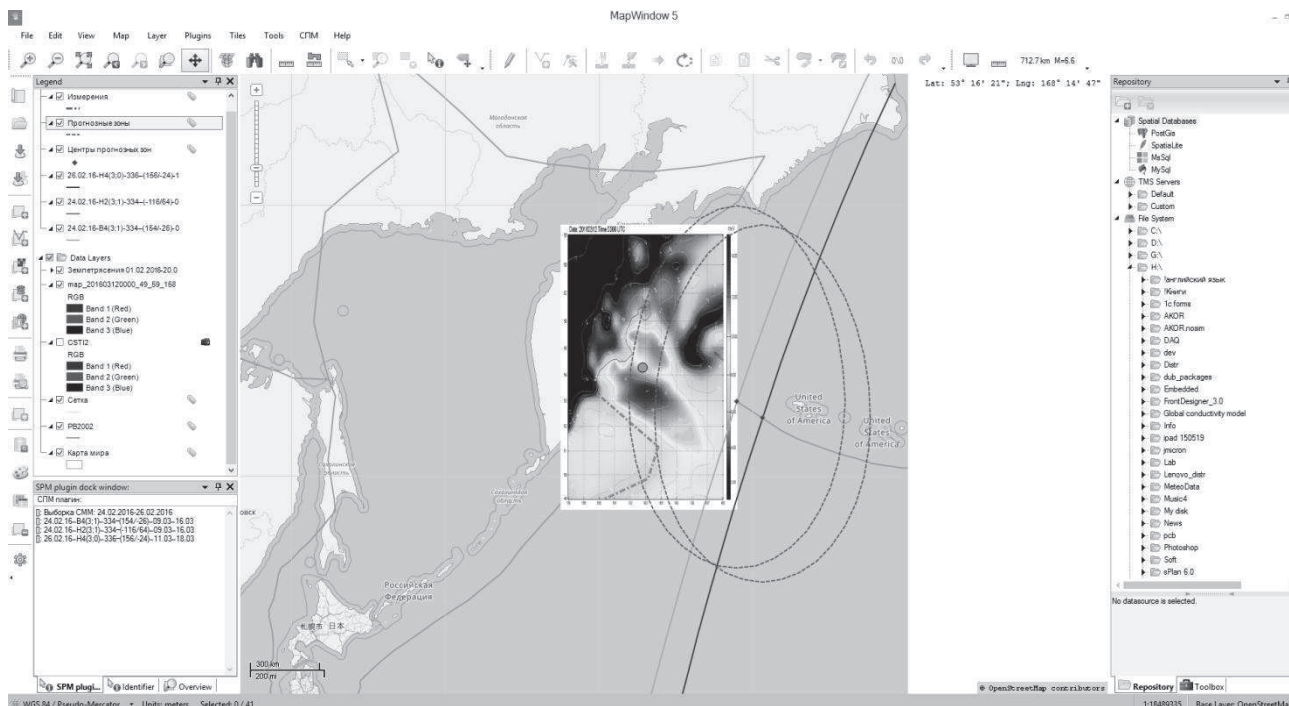


Рис. 2. Пример окна ГИС-системы MapWindow с элементами, созданными с помощью разработанных ГИС-компонентов

Созданные ГИС-компоненты обеспечивают возможность осуществления сейсмпрогнозных экспериментов для различных регионов планеты, а также выполнение ретроспективного анализа признаков подготовки произошедших сильных ЗТ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (контракт № 14.577.21.0109, универсальный идентификатор проекта RFMEFI57714X0109).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дода Л.Н., Натяганов В.Л., Степанов И.В. Эмпирическая схема краткосрочного прогноза землетрясений // Доклады Академии Наук. 2013. Т.453, № 5. С. 551-557.
2. Дода Л.Н., Натяганов В.Л., Степанов И.В., Чайка А.А. Космогеофизическая концепция прогноза землетрясений // Газовая и волновая динамика: вып. 5. М.: Айрис-пресс, 2013. С.167-197
3. Doda L.N., Dushin, Natyaganov V.L., Smirnov N.N., Stepanov I.V. Earthquakes forecasts following space- and ground-based monitoring // Acta Astronautica. 2011. V.69. P.18-23
4. Пулинец С.А., Узунов Д.П., Давиденко Д.В., Дудкин С.А., Цадиковский Е.И. Прогноз землетрясений возможен?!. М.: «Тривант», 2014.

УДК 551.24-550,343-629.78(575.123)

**ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НЕКОТОРЫХ ЗОН ОРГАНИЗАЦИИ GPS
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ В УЗБЕКИСТАНЕ И
СОЗДАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ В СРЕДЕ ARCGIS**

*Эргешов Ихтиёр Махкамбаевич¹, Хамидов Лутфулла Абдуллаевич²,
Хусамиддинов Ахрор Сабриддинович², Хамидов Хайрулла Лутфуллаевич²*

¹ e-mail: i.ergeshov@gkmm.uz

² e-mail: hamidov_l@mail.ru

¹Центр геодезии и картографии Госком «Ергеодескадастр» РУз, Узбекистан, Ташкент;

²Институт сейсмологии им.Г.А.Мавлянова АН РУз, Узбекистан, Ташкент

Аннотация. В статье рассмотрены геологические условия для реализации GPS измерений в некоторых зонах Узбекистана. Показано поступление геологических и геодезических съемок через системы сбора и первичной обработки информации в районах Ташкентского, Ферганского, Наманганского, Самаркандского и Кашкадарьинского вилоятов от одноименных GPS и сейсмических станций. На базе собранной информации сформирована СУБД «Магнитуда землетрясения».

**GEOLOGICAL CONDITIONS OF SOME ZONES OF THE ORGANIZATION OF GPS
MEASURING ITEMS IN UZBEKISTAN AND CREATION OF THE DATABASE
IN THE ARCGIS MEDIUM**

*Ergeshov Ikhtiyor Makhkambaevich¹, Khamidov Lutfulla Abdullaevich²,
Khusamiddinov Ahror Sabriddinovich², Khamidov Khairulla Lutfullaevich²*

¹i.ergeshov@gkmm.uz

²e-mail: hamidov_l@mail.ru

¹Centre of Geodesy and Cartography State Committee "Ergeodescadastre" RUz,
Uzbekistan, Tashkent;

²Institute of Seismology named after G.A.Mavlyanov AS Uzbekistan, Tashkent

Summary. The article considers geological conditions for the implementation of GPS measurements in some zones of Uzbekistan. The receipt of geological and geodetic surveys through the systems of collection and primary processing of information in the regions of Tashkent, Fergana, Namangan, Samarkand and Kashkadarya regions from the same GPS and seismic stations is shown. Based on the collected information, the DBMS "Magnitude of the earthquake" was formed.

В течение длительного времени прикладные геодезические, геологические и геоморфологические исследования были направлены на анализ вертикальных тектонических движений, которые к тому же носили скорее качественный, чем количественный характер. Лишь в конце прошлого столетия, с развитием и становлением новой теории - теории литосферных плит, в поле зрения оказались горизонтальные движения. Детальные измерения современных тектонических движений не проводилось, так отсутствовало надежная техническое оборудование. Для целей изучения движений земной коры наиболее стабильно функционирующей, а потому и получившей наибольшее распространение в мировой практике на сегодняшний день является система GPS измерений. Однако для выделения пунктов GPS измерений и включения его в сеть международной системы обработки необходимо геологическое изученное и выбор однородного морфометрического поля.

В геологическом строении, например, Восточной части Узбекистана в определенных зонах принимают участие палеозойские отложения (хребты Каржантау, Майгашкан, Сюрень-Ата и др.), которые погружаются с востока на запад и перекрываются мезо-кайнозойским

чехлом мощностью от 1000м до 3000м. Мезозойские отложения представлены юрскими и меловыми образованиями континентального генезиса. Юрские отложения встречаются фрагментарно (Ходжикент, Хумсан, перевал Каранкуль), в то время как меловые отложения пользуются более широким распространением. Рассматриваемый комплекс пород представлен: конгломератами, состоящими из кремневых и кварцевых пород, песчаниками и глинами различных оттенков. Общая мощность нерасчлененных меловых отложений в верховьях Караманас-Сая, по данным Н.П.Васильковского и М.П.Репникова [1], достигает 220м-230м и постепенно сокращается к северо-востоку, до 50м в верховьях Бельдерсая. Палеогеновые отложения, подобно осадкам мелового возраста, обнажаются вдоль горных сооружений; представлены желтоватыми мергелями (бухарский ярус); кварцевыми песками и глинами (алайский и туркестанский ярусы). С удалением от предгорной равнины на восток, отложения бухарского и сузакского ярусов выклиниваются и замещаются кварцевыми песчаниками и известняками алайского и глинами туркестанского ярусов, мощность которых колеблется от 20м до 50м.

По мнению подавляющего большинства исследователей, палеогеновые отложения с размывом залегают на меловых отложениях. На северо-западном склоне Сюрень-Аты в разрезе палеогеновых отложений в [1] - выделены (в м) следующие слои: Бухарский ярус. Желтоватые мергели с *Modiola* sp. -3,0; Сузакский ярус. Кварцевые пески и глины с *Ostrea bellovacina* L a m. var *.trinkleri* Bohm -6,0; Алайский ярус. Пески кварцевые и слюдистые, выше известняки с *Ostrea turkestanensis* R o m. - 30,0; Туркестанский ярус. Глины зеленые, загипсованные с *Fatina* (*Gryphaea*) *romanovskyi* Bohm. - 11,12; Верхнеферганский подотдел. Пачка зеленых глин и песков с фораминиферами верхнеферганского подотдела - \approx 20,0. В целом, разрез палеоцен-эоценовые отложения Приташкентского района мало, чем отличается от аналогичных по возрасту разрезов, получивших распространение на территории Узбекистана. Поэтому вопрос о трансгрессии палеогенового моря, апогей которого приходится на эоцен, не вызывает сомнения у большинства исследователей. Эоценовые отложения, как упоминалось, на исследуемой территории перекрыты континентальными красноцветными отложениями. Скучная фауна, плавный переход, т.е. наличие прослоев зеленых глин в низах красноцветной толщи, препятствует возможности выделения границы между эоценом и олигоценом с одной стороны, олигоценом (P₃) и миоценом (N₁) - с другой. С аналогичным явлением столкнулись Браташ и др. при изучении палеоген-неогеновых отложений Афгано-Таджикской депрессии, Б.В.Ситдииков [2] при описании палеоген-неогеновых отложений Кызылкумов и другие. Нерасчлененная толща олигоцен-миоценовых отложений относительно широко распространена в районах прилегающих к геодинамическому полигону. Рассматриваемая возрастная группа пород, приурочена, главным образом, к депрессионным участкам, в частности, к Чирчикской, Нурекатинской, Келесской и другие. Завершается разрез неогеновых отложений слоем конгломератов, по подошве которых рекомендует проводить границу плиоцена (N₂) [3]. Фрагменты плиоценовых отложений (свита «В» по Ф.П.Корсакову), сохранившиеся по данным Н.П.Васильковского лишь в долине реки Аксаката, сложены крупными, иногда плохо окатанными, обломками речного генезиса [3].

В четвертичное время тектонические движения резко активизировались, на что указывает нынешнее гипсометрическое положение речных террас. Необходимо отметить, что укоренившиеся воззрения на стратиграфию четвертичных отложений Узбекистана страдают внутренним противоречием. Следы древнего оледенения сохранились в горах в виде гляциальных и флювиогляциальных образований, в частности, в верховьях Нурекатасая, Аксакаты, Пскема, Чаткала, Угама и другие [3]. Следы самого древнего оледенения датируются в исследуемом районе поздним плейстоценом, что косвенно указывает на размах новейших тектонических движений в четвертичное время. В раннем кайнозое (палеоцен-Р) Центральная Азия представляла собой огромную область седиментации (С.Д.Морозов и др.) [4]. Открытое море распространялось на Устюрт, Туркмению и далее на запад, образуя единый Евразийский бассейн. Наиболее интенсивные

нисходящие движения того времени фиксируются в Предкопетдагском прогибе, где мощность палеоценовых отложений, представленных глинистыми и карбонатно-глинистыми породами, составляет 200 и более метров. В Приташкентском районе, как и Центрально-Кызылкумском, вырисовывается прибрежная зона, осложненная островными грядами. По данным С.Д.Морозова и др. [4], в юго-восточную часть рассматриваемого морского бассейна поступали пресные речные воды с Чаткало-Кураминской прибрежной зоны, что способствовало опреснению и созданию благоприятных условий для накопления терригенно-карбонатных отложений, в частности мергелей. В позднем палеоцене сохранился режим регионального опускания территории, что способствовало расширению границ морского бассейна. Ряд исследователей полагают [5], что на востоке и юго-востоке Центральной Азии в позднем палеоцене существовали окраинно-материковые бассейны, которые на западе сливались с открытым морем. Предполагают [6], что в рассматриваемое время Афгано-Таджикский и Ферганский палеобассейны соединялись с Приташкентской лагуной посредством пролива, который обозначился между Приаральско-Кызылкумским и Нуратау-Туркестанским палеоархипелагами.

В настоящее время для комплексного анализа геологических, геодезических и геофизических данных на ЭВМ, наряду с широким использованием специализированных автоматизированных систем, например программных продуктов GeoSoft, большое развитие получили геоинформационные системы (ГИС) [7,8]. При решении практических задач заметно возрос интерес к возможностям ГИС, и главное, появилось понимание того, что многие задачи решаются значительно эффективнее с применением геоинформационных технологий. Получения, хранения, обработки и анализа геодезических данных, применительно к конкретному кругу задач необходима разработка новейших информационно-аналитических систем (ИАС), созданных на основе ГИС-технологий [5,6,9]. Нами, в рассматриваемой системе, реализованы механизмы расширения аналитических и функциональных возможностей базовой ГИС. Уровни архитектуры на примере ИАС хранения, обработки и анализа результатов, геодезических и сейсмологических съемок, выполненных Государственным Центром Геодезии и картографии (ГЦГК РУз) Узбекистана совместно с Институтом сейсмологии АН РУз (ИС АН РУз) представлены в работах И.М.Эргешева, Л.А.Хамидова и др. [10,11]. На первоначальном этапе результаты геодезических съемок поступали через системы сбора и первичной обработки информации в районах Ташкентского, Ферганского, Наманганского, Самаркандского и Кашкадарьинского вилоятов от одноименных GPS и сейсмических станций, в первичные базы данных. Данные в ИАС занесены как вручную, так и автоматически. Система сбора и первичной обработки информации реализована как при помощи ряда внешних прикладных программ, так и как стандартное расширение ГИС ArcGIS.

Исходной информацией при формировании единой базы данных послужили как многочисленные результаты полевых и тематических работ, выполненных ГЦГК РУз и ИС АН РУз с конца 90-х годов, так и большой объем разнородной информацией, полученной с использованием глобальной сети Internet. В настоящее время в единой базе кроме геодезических и сейсмологических данных, содержатся данные о рельефе (полученные с топографических карт различного масштаба, матрицы высот GTOPO30, SRTM), поле разрывных структур, сеймотектоническое поле, зоны землетрясений полученные по разным съемкам масштабов 1: 200000 - 1: 1000000 на Восточный Узбекистан и другая информация.

Собрана информация о землетрясениях, имевших место в 2013, 2014, за январь-июль 2015 года и июнь-август 2016 года. Составлена СУБД «Магнитуда землетрясения», разработанной на базе СУБД Access. Для удобства анализа СУБД разработана в двух вариантах: СУБД с общим информационным массивом за все годы и СУБД отдельно для каждого года. В составленной среде представлены векторные и растровые функции ряда параметров (землетрясения, современные движения, разломы), вид которых при работе в среде показано как пример в рис.1 и рис.2.

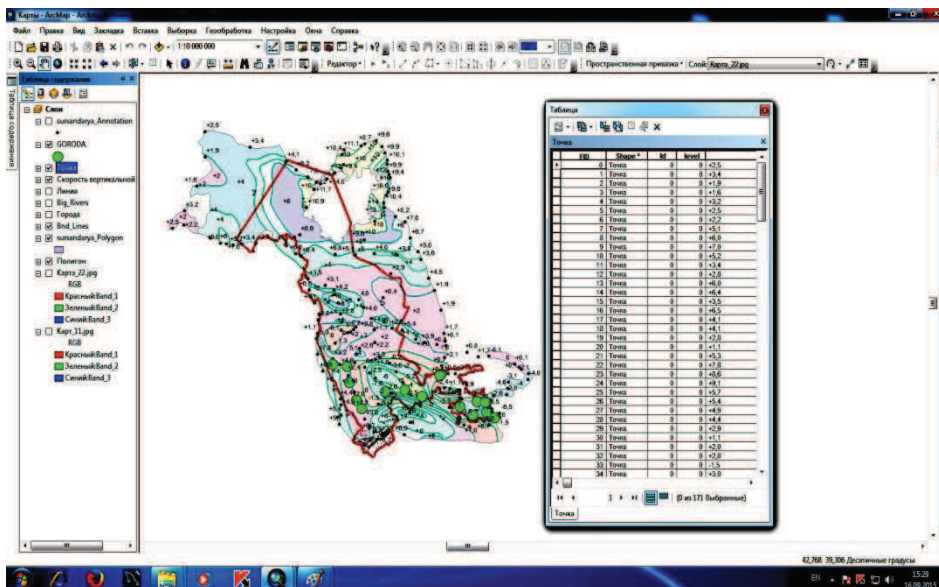


Рис. 1. Современное движение и их векторные величины.

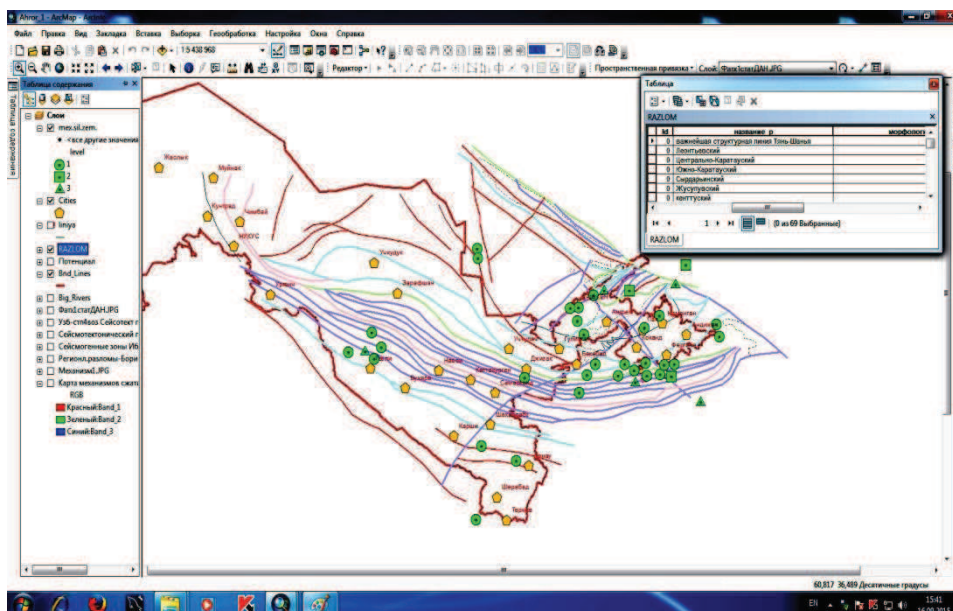


Рис. 2. Разломы, их название и координаты расположения в таблице.

Известно, что база данных, являясь одним из главных звеньев архитектуры ИАС, выступает в качестве основного источника данных для обработки и анализа всей имеющейся информации [8,9,10,11]. Геодезические и геофизические материалы, уже хранящиеся в созданной нами базе данных, требуют дальнейшей обработки и анализа в следующем этапе исследований. При этом ГИС дает возможности передавать данные в обрабатывающие комплексы (внешние программы), а затем возвращать в ArcGIS для хранения и последующего создания цифровых карт. Для оптимизации процесса обработки, особенно сейсмологических материалов, создается несколько модулей, реализуемых в виде расширения для ГИС ArcGIS, а также в виде набора инструментов с использованием модуля Model Builder.

На стадии обработки и анализа данных, наша система позволяет производить различные преобразования полей: аналитическое продолжение в верхнее и нижнее полупространство, расчет вертикальных производных смещений и методом усреднения в скользящем окне, тренд-анализ поля (региональная компонента при этом заменяется алгебраическим полиномом $Q_m(x)$ заданной степени m , коэффициенты которого определяются методом наименьших квадратов).

На первоначальном этапе организовано поступление геологических и геодезических съемок через системы сбора и первичной обработки информации в районах Ташкентского, Ферганского, Наманганского, Самаркандского и Кашкадарьинского вилоятов от одноименных GPS и сейсмических станций. Анализ первичных данных GPS измерений показало, возможную вероятность сейсмической активизации в ближайшее время южной части Ферганской долины и центральной части Гиссарских структур [11].

Данные в ИАС занесены как вручную, так и автоматически. Система сбора и первичной обработки информации реализована как при помощи ряда внешних прикладных программ, так и как стандартное расширение ГИС ArcGIS. Произведен сбор данных о землетрясениях, произошедших в Центрально Азиатском регионе в 2013-2015гг. На базе собранной информации сформирована СУБД «Магнитуда землетрясения». Полученные материалы будут служить основой для оценки и моделированию современных тектонических движений как предвестников сильных землетрясений в Западном Тянь-Шане с применением современных GPS и ГИС-технологий.

Работа выполнена при поддержке проектов А-14-014 и ФА-Ф-8-008 Программы фундаментальных и прикладных исследований Агентство развития науки и технологии при КМ РУз и Академии наук РУз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильковский Н.П. и Репников М.П. Тектоника и сейсмичность северо-восточной части Ташкентского района – Ташкент:Фан.-1940.- 127с.
2. Ситдиқов Б.Б. К характеристике начальной фазы эпиплатформенных тектонических движений в Центральных Кызылкумах// Доклады АН УзССР.-1967.- №11.-С.45-48.
3. Ярмухамедов А.Р., Эргешов И.М., Валиев И.С., Саттаров А.С. Исследование проявления современных движений земной коры геодезическим методом на Таваксайском геодинамическом полигоне в связи с сейсмичностью.–Ташкент, ИС.-2006–174с.
4. Морозов С.Д. и другие. «Геология палеогеновых отложений Центральных и Юго-Восточных Кызылкумов». – Ташкент: Фан.- 1988 – 156с.
5. Давлятов Ш.Д., Ахмеджанова М.А. и др. Региональная геология, тектоника и стратиграфия // Наука в Узбекистане.- Ташкент: Фан.- 1974.- С.400 - 406.
6. Далимов Т.Н., Абдуллабеков К.Н., Ярмухамедов А.Р., Тойчиев Х.А., Раджабов Ш.С., Эргешов И.М. К вопросу о постановке и некоторых результатах космогеодезических исследований (GPS) с целью изучения современных движений земной коры Тянь – Шаня.// Тезисы докладов Второго международного симпозиума, 29 октября- 3 ноября.-Бишкек.- 2002.- С.33 - 34.
7. Кузнецов О.Л., Никитин А.А., Черемсина Е.Н. Геоинформатика и геоинформационные системы.- Москва: ВНИИгеосистем.- 2005.- 453с.
8. Ломтадзе В. В. Программное и информационное обеспечение геофизических исследований.- М: Недра.- 1993.- 268 с.
9. Симанов А.А. Основные принципы формирования базы геоданных для первичной обработки, хранения и анализа гравиметрической информации // Глубинное строение. Геодинамика. Мониторинг. Тепловое поле Земли. Интерпретация геофизических полей.- Третьи научные чтения памяти Ю.П. Булашевича.- Материалы. -Екатеринбург: ИГФУрО РАН.- 2005.- С. 139-140.
10. Хамидов Х.Л., Шукуров З.Ф. Вычисление модулей векторов перемещений для землетрясений западного Тянь-Шаня. // ДАН РУз.- Ташкент.- №5.-2015.- С.41-45.
11. Хамидов Л.А., Эргешов И.М., Махкамов С.М., Хамидов Х.Л. Оценки современных смещений центральной части Ферганской долины.// XVIII Уральская молодежная научная школа по геофизике - г. Перми, Россия.- 20-24 марта 2017 года. С.228-233 (<http://pts.mi-perm.ru/conf/downloads/SbornikUYS2017.pdf>) .

УДК.550.394, 550.504

**СЕЙСМИЧЕСКОЕ СОБЫТИЕ 19.10.2015 ГОДА НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ
В ПОЛЕ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ РАДОНА**

Юрков Анатолий Константинович¹, Козлова Ирина Анатольевна²,

Бирюлин Сергей Викторович³

¹*e-mail: akyurkov@mail.ru*

²*e-mail: ikozlova75@mail.ru*

³*e-mail: serrega2009@gmail.com*

^{1,2,3}*Институт геофизики им. Ю.П.Булашевича УрО РАН, Россия, Екатеринбург*

Аннотация. В представленной работе рассмотрены особенности поведения поля объемной активности почвенного радона до и после сейсмического события на Среднем Урале 19 октября 2015 года. Проведено сравнение с отражением сейсмических событий в поле объемной активности радона на Южных Курилах и с поведением радона при проведении промышленных взрывов на карьерах. Высказано предположение об иной природе события 19.10.2015 года или об особых условиях подготовки сейсмических событий на Среднем Урале.

**SEISMIC EVENT ON 19.10.2015 IN THE MIDDLE URALS
IN THE FIELD OF VOLUMETRIC ACTIVITY OF RADON**

Yurkov Anatoly Konstantinovich¹, Kozlova Irina Anatolievna², Biryulin Sergey Viktorovich³

¹*e-mail: akyurkov@mail.ru*

²*e-mail: ikozlova75@mail.ru*

³*e-mail: serrega2009@gmail.com*

Federal State Budgetary Institution of Science

Institute of Geophysics of the Ural Branch of the RAS, Russia, Ekaterinburg

Summary. In the paper presented, the features of the behavior of the field of volumetric activity of soil radon before and after the seismic event in the Middle Urals are considered on October 19, A comparison is made with the reflection of seismic events in the field of volumetric activity of radon in the Southern Kuriles and with the behavior of radon during industrial explosions in quarries. It is suggested that there is a different nature of the event on 19.10.2015 or about special conditions for the preparation of seismic events in the Middle Urals.

Изучение связи вариаций объемной активности почвенного радона (ОАР) с изменениями геодинамической обстановки верхней части геологического разреза в Институте геофизики начиналось еще в пятидесятых годах прошлого столетия работами Ю.П.Булашевича по прогнозированию внезапных выбросов угля на шахтах Кизеловского угольного бассейна. Отсутствие аппаратуры, позволяющей выполнять измерения в мониторинговом режиме и обладающей необходимой чувствительностью, не позволило в те годы детально исследовать все возможности радонового метода. В дальнейшем исследования по использованию радона для изучения опасных природных явлений были продолжены при изучении горных ударов на шахтах Северо-Уральского бокситового рудника в конце восьмидесятых годов прошлого столетия. Предпосылками использования радона для прогнозирования горных ударов послужило его слабая зависимость от промышленных помех, которые затрудняли применение на шахтах других геофизических методов. Кроме известных достоинств радонового метода (присутствие практически во всех горных породах, отсутствие кумулятивного эффекта, химическая инертность) особо следует отметить его возможность реагировать уже на начало изменения геодинамических условий, выражающихся в изменении объема порового пространства, которое предваряет

трещинообразование и соответственно генерацию упругих колебаний.

При изучении процесса подготовки горных ударов в глубоких шахтах удалось установить ряд закономерностей поведения объемной активности радона (ОАР) в зависимости от расположения детектора в зоне сжатия или растяжения [1]. Следующим этапом стало изучение возможностей использования радоновых аномалий, как прогностических признаков в процессе подготовки тектонических землетрясений [6]. В результате исследований была выявлена общая закономерность, как при горных ударах, так и при процессах подготовки тектонических землетрясений – событие всегда происходит в момент или после прохождения экстремума кривой изменения объемной активности радона.

Из других геофизических методов, которые фиксируют изменение объема порового пространства, следует отметить гидрогеодинамический метод. Применение методики температурных измерений, по стволу скважины, разработанной в Институте геофизики, существенно расширило возможности гидрогеодинамического метода по сравнению с измерениями просто уровня столба жидкости. По анализу температурных изменений в процессе подготовки сейсмических событий была показана деформационная чувствительность температурных изменений в зависимости от магнитуды события и расстояний до его эпицентра. Если отношение магнитуды к логарифму расстояния больше 2,5, то данное событие отражается в температурных вариациях. Эта величина совпадает с так называемым критерием Кинга, установленного для гидрогеодинамических наблюдений по изменениям уровня столба жидкости в скважинах [3].

Величина 2,5 - отношения магнитуды к логарифму расстояния оказалось применима, и для определения возможной реакции поля объемной активности радона на подготовку сейсмических событий. Понятно, что для получения статистически значимых закономерностей изменений температуры и ОАР необходимо регистрировать большое количество событий, что возможно только в сейсмоактивных регионах. Однако слишком частые события, удовлетворяющих критерию 2,5 могут затруднить интерпретацию особенностей поведения ОАР из-за наложения процессов подготовки разных событий, следующих с небольшим интервалом друг за другом [4].

Поэтому регистрация редких событий, происходящих в сейсмически пассивных регионах, может быть достаточно информативной и полезной. К таким редким событиям относится землетрясение 19 октября 2015 года (18.10.2015 г. в 21.44 по Гринвичу) на Среднем Урале вблизи населенного пункта Сабик. Магнитуда события по разным оценкам варьирует от 3,5 до 4,7. Глубина очага по данным Пермской сейсмологической сети около 10 километров [2]. По данным определений Казахстанской сейсмологической сети глубина существенно меньше. Величина отношения магнитуды к логарифму расстояний для этого события была не менее 2,6, т.е. по аналогии с событиями на Курильских островах процесс подготовки данного землетрясения должен был проявиться в поле ОАР. Тем не менее, анализ результатов радоновых наблюдений на станции, расположенной на территории обсерватории Коуровка показал, что процесс подготовки данного события не отразился в изменениях объемной активности радона (Рис.1).



Рис.1. Изменение объемной активности почвенного радона с 08.10.2015 г. по 07.11.2015 г. (пункт наблюдения «Коуровка»)

Существенное повышение ОАР началось только с 21 октября 2017 года, т.е. через 2 дня после события. Величина аномалии ОАР в экстремуме увеличилась, по сравнению с фоном, в три раза (до 6000 Бк/м^3). Такое поведение объемной активности радона характерно при проведении производственных карьерных взрывов (Рис.2) [5]. Как видно из рисунка 2 повышение ОАР началось через 2 суток после проведения промышленного взрыва 04.04.2013 г.

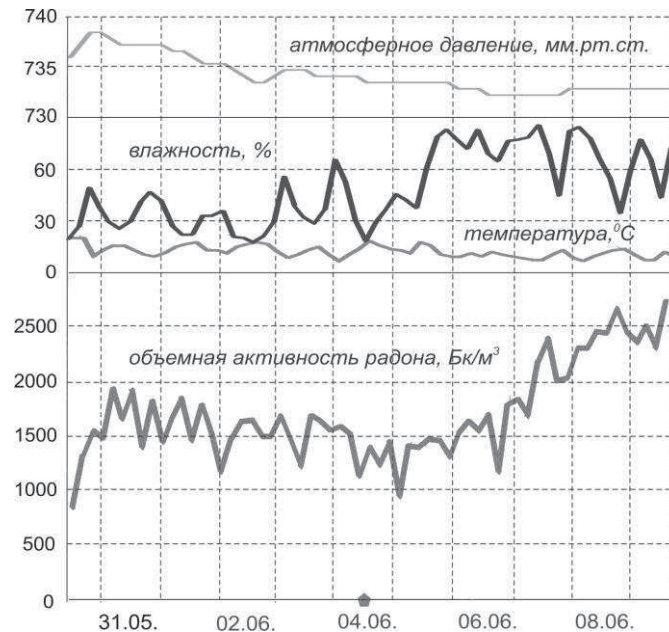


Рис 2. Вариации атмосферного давления, влажности, температуры и объемной активности радона в период с 30.05.13 г. по 10.06.13 г. (пункт наблюдения «Исеть») [5]

Вторая радоновая станция, располагалась в поселке Исеть, на расстоянии около 100 км от эпицентра события (отношения магнитуды к логарифму расстояний было менее 2), т.е. она находилась вне зоны чувствительности ОАР на произошедшее 19.10.2015 г. тектоническое событие.

На рисунке 3 приведено характерное для сейсмоактивной зоны Южных Курил изменение объемной активности радона (ОАР) на Южно-Курильском геодинамическом полигоне (о.Кунашир) с 5 сентября по 20 сентября 2015 года. Тектоническое событие, как отмечалось выше, происходит после прохождения максимума объемной активности радона и ее выхода на фоновый уровень.

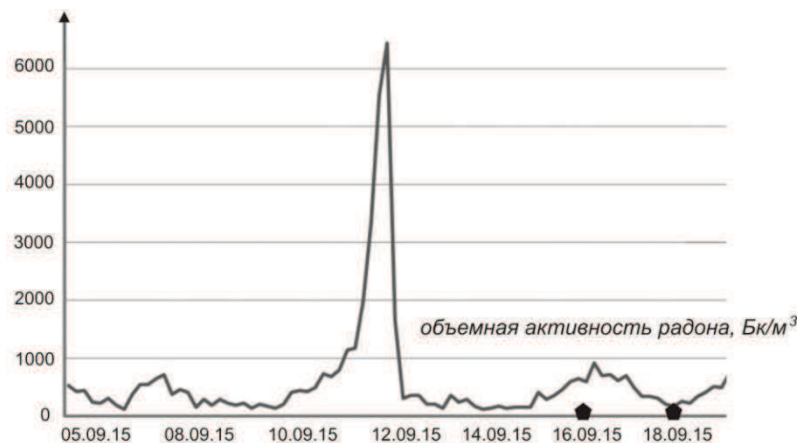


Рис.3. Изменение объемной активности почвенного радона с 05.09.2015 г. по 29.09.2015 г (пункт наблюдения «Южно-Курильск»)

В наблюдаемый временной интервал в районе Южных Курил произошло 2 сейсмических события: 16.09.2015 г. с магнитудой 5,2 на расстоянии 130 км от станции и 18.09.2015 г. с магнитудой 4,8 на расстоянии около 20 км. Отношение магнитуды к логарифму расстояния для первого события было 2,4, а для второго 3,6. Подготовка событий с критерием меньше 2,5 обычно, как было сказано выше, на кривых ОАР не отмечается. Поведение объемной активности радона, показанные на рисунке 3, определяется подготовкой события 18 сентября. Это подтверждается еще и тем, что землетрясение произошло в так называемой «ближней зоне» (20 километров от станции), для которой характерно наступление события после прохождения экстремума и выхода ОАР на фоновые значения [1]. Аналогичным образом, в поле объемной активности радона, регистрируемом в сейсмоактивном районе Южных Курилах, отмечаются все события, превышающие величину отношения магнитуды к логарифму расстояния равную 2,5.

Таким образом, особенностью отражения в поле объемной активности радона землетрясения, произошедшего 19.10.2015 г. на Среднем Урале, является отсутствие каких-либо признаков, указывающих на подготовку данного события (Рис.1). Повышение ОАР через два дня после землетрясения совпадает с реакцией поля объемной активности радона наблюдаемую после промышленных карьерных взрывов (Рис.2). Такое поведение поля объемной активности радона во время землетрясения 19.10.2015 г. может быть обусловлено отличием процесса подготовки этого события на Среднем Урале, либо с тем, что данное событие могло иметь другую (не тектоническую) природу.

Работа выполнена при частичной поддержке проектов Комплексной программы фундаментальных научных исследований УрО РАН № 15-2-5-32, № 15-18-5-19.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булашевич Ю.П., Уткин В.И., Юрков А.К., Николаев В.В. Изменение концентрации радона в связи с горными ударами в глубоких шахтах. // Доклады РАН, 1996, Т.346, № 2, С.245-248.
2. Гуляев А.Н. Ощутимые землетрясения на Среднем Урале. // Известия вузов. Горный журнал, 2016, № 7, С.75-79.
3. Демежко Д.Ю., Юрков А.К., Уткин В.И., Шапов В.А. Температурные изменения в скважине куп-1 (о.Кунашир), вызванные землетрясением Тохоку (11.03.2011г. М=9,0). // Доклады РАН, 2012, т.445, № 2, С.200-204.
4. Козлова И.А., Юрков А.К. Отражение последовательных сейсмических событий в поле объемной активности радона. // Уральский геофизический вестник, 2016, № 1, С.35-39.
5. Козлова И.А., Парыгин Г.И., Юрков А.К. Изменение объемной активности радона в верхней части геологического разреза при проведении промышленных карьерных взрывов // Известия вузов. Горный журнал, 2015, № 7, С.110-115.
6. Уткин В.И., Юрков А.К. Радон и проблема тектонических землетрясений. // Вулканология и сейсмология, 1997, № 4, С.84-92.

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Awad Hassoup</i> LAKE ASWAN SEISMICITY, EGYPT	4
<i>Said Gaci</i> A NEW TECHNIQUE FOR ESTIMATING S-WAVE VELOCITY COMBINING EMPIRICAL MODE DECOMPOSITION AND MULTILAYER PERCEPTRON NEURAL NETWORKS	9
<i>Абдрахманова З.Т., Шаханов А.М., Ефименко С.А.</i> ЯДЕРНО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ «ON-LINE» КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИСХОДНОЙ РУДЫ НА ЖЕЗКАЗГАНСКИХ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИКАХ	13
<i>Акимова Е.Н., Мислов В.Е., Третьяков А.И.</i> О РЕШЕНИИ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ НАХОЖДЕНИЯ ВТОРОЙ ПРОИЗВОДНОЙ НЬУТОНОВСКОГО ПОТЕНЦИАЛА	18
<i>Арзамасцев Е.В., Бородин П.Б., Коноплин А.Д., Кусонский О.А.</i> ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗРЕЗА ВОСТОЧНОЙ ОКРАИНЫ ПРЕДУРАЛЬСКОГО КРАЕВОГО ПРОГИБА В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ «АРТИ»	23
<i>Астраханцев Ю.Г., Белоглазова Н.А., Баженова Е.А., Вдовин А.Г., Федосов М.А.</i> ВЫДЕЛЕНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКИ НАРУШЕННЫХ ЗОН ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СКВАЖИННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	27
<i>Барабанов В.Л.</i> О НОВЫХ ПОДХОДАХ К ОЦЕНКЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД С ЦЕЛЬЮ КОМПЛЕКСНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ	32
<i>Баталева Е.А., Баталев В.Ю.</i> РАЗВИТИЕ МЕТОДИКИ АЗИМУТАЛЬНОГО МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА БИШКЕКСКОМ ПРОГНОСТИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ	37
<i>Баталева Е.А., Баталев В.Ю.</i> ВЛИЯНИЕ РОЕВ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ НА ВАРИАЦИИ КАЖУЩЕГОСЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ	42
<i>Бахтерев В.В.</i> О ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ОБРАЗЦОВ ХРОМИТОВОЙ РУДЫ (ПРИ ПОСТОЯННОМ И ПЕРЕМЕННОМ НАПРЯЖЕНИИ)	47
<i>Бибнев А.С.</i> СЕЗОННАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОНИТОРИНГОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ НА ОБСЕРВАТОРИИ «АРТИ»	51
<i>Беликов В.Т., Рывкин Д.Г.</i> ВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТВЕРДОГО ТЕЛА ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ	55
<i>Белоглазова Н.А., Глухих И.И.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОНАЛЬНОСТИ ДОЛЕРИТОВЫХ ИНТРУЗИЙ ПО МАГНИТНЫМ СВОЙСТВАМ	59
<i>Беспалько А.А., Яворович Л.В., Еременко А.А., Штирц В.А.</i> ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭМИССИИ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ФОРМИРОВАНИИ И РАЗВИТИИ МЕДЛЕННО МЕНЯЮЩИХСЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	63
<i>Беспалько А.А., Штирц В.А., Чулков А.О., Яворович Л.В.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФРАКРАСНОГО СВЕЧЕНИЯ СКВАЖИН ПРИ НАГРУЖЕНИИ ДО РАЗРУШЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД	68
<i>Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С., Новикова П.Н., Петрова В.В.,</i>	73

Пилипенко О.В., Рашидов В.А., Трусов А.А. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ И ПЕТРОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДВОДНЫХ ВУЛКАНОВ ОХОТОМОРСКОГО СКЛОНА КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ	
Богомолов А.В. МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ НА ЗОЛОТО-КВАРЦ-СУЛЬФИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ	78
Болдина С.В. ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ В СКВАЖИНЕ ЮЗ-5, КАМЧАТКА, ВЫЗВАННЫЕ ЖУПАНОВСКИМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ 30.01.2016 г., $M_w=7.2$	83
Боровский М.Я., Богатов В.И., Шакуро С.В. ЭКОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ УСЛОВИЙ МЕСТ ПРОИЗВОДСТВА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТА	88
Бычков С.Г., Мичурин А.В., Симанов А.А. ГРАВИМЕТРИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ КАРСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ	93
Варзаков А.П., Борисов А.В., Виноградов В.Б. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	98
Вишнев В.С. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ, ОБРАБОТКИ И ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ПОЛЯ ТОКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЖЕЛЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ	103
Володькова Т.В. АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УДЫХИНСКОГО ЗЕЛЕНОКАМЕННОГО ПОЯСА (ПРИАМУРЬЕ)	108
Гаспарян Г.С., Оганесян А.О., Саргсян Р.С., Авдалян А.Г. ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ И ДСР РАЙОНА СТРОИТЕЛЬСТВА КАПССКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА АРМЕНИИ	113
Глушкова Т.А., Талалай А.Г. ЯДЕРНОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ	118
Голиков Ю.В. СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫЗВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ В МЕТОДЕ ЗОНДИРОВАНИЯ СТАНОВЛЕНИЕМ ПОЛЯ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ (ЗСБ)	123
Голованова И.В., Данукалов К.Н. ПАЛЕОМАГНЕТИЗМ ОРДОВИКСКО-СИЛУРИЙСКИХ ВУЛКАНИТОВ ЗАПАДНОГО СКЛОНА ЮЖНОГО УРАЛА	128
Голованова И.В., Данукалов К.Н. ПОЗДНЕПАЛЕОЗОЙСКОЕ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЕ НА ЮЖНОМ УРАЛЕ	132
Горнов П.Ю. ТЕПЛОВОЕ ПОЛЕ ОХОТОМОРСКОГО РЕГИОНА	137
Горшков В.Ю., Маликов А.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЛИЧИЯ ЭПИГЕННОГО ПИРИТА КОНДУКТИВНЫМИ МЕТОДАМИ	142
Григорьева С.А. ИОНОСФЕРА НАД УРАЛОМ ВО ВРЕМЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 19 ОКТЯБРЯ 2015 ГОДА А.Н.	146
Гуляев А.Н. ЗОНЫ ВОЗМОЖНОГО ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОЧАГОВ ОЩУТИМЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА	150

Гуляев А.Н. О СЕЙСМИЧЕСКОЙ И ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ УРАЛА	155
Данилов К.Б., Афонин Н.Ю. ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СЕВЕРА РУССКОЙ ПЛИТЫ ПО ДАННЫМ МЕТОДА МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ	159
Денисов Д.К., Нурдаев И.А., Рылов Е.С., Федорченко И.А., Феофилактов С.О. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РАЙОНЕ БОЛЬШЕ-БАННОГО ГЕОТЕРМАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (КАМЧАТКА)	164
Долгаль А.С., Бычков С.Г. ОЦЕНКА РАЗЛИЧИЙ АНОМАЛИЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ ДЛЯ ПЛОСКОЙ И СФЕРИЧЕСКОЙ МОДЕЛЕЙ ЗЕМЛИ	169
Дружинин В.С., Начапкин Н.И., Осипов В.Ю. ЗНАЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ О СТРОЕНИИ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЛИТОСФЕРЫ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА ДЛЯ РАЗВИТИЯ НАУК О ЗЕМЛЕ	174
Жариков С.Н., Кутуев В.А. ИЗУЧЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВА В КАРЬЕРЕ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ЗАОТКОСНЫХ РАБОТ	179
Иванченко В.С., Вдовин А.Г., Баженова Е.А. ПРИМЕНЕНИЕ КАРОТАЖА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА КАЧКАНАРСКОМ ТИТАНОМАГНЕТИТОВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ	184
Иголкина Г.В., Дрягин В.В., Мезенина З.С., Иванов Д.Б. К ВОПРОСУ ОБ АНАЛИЗЕ АКУСТИЧЕСКИХ ЭМИССИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПЛАСТОВ – КОЛЛЕКТОРОВ	187
Имаева Л.П., Имаев В.С., Козьмин Б.М., Мельникова В.И. СТРУКТУРНО-ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ПАРАМЕТРЫ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ ЗОНЫ ЧЕРСКОГО	192
Иманкулов Б.И., Кендирбаева Дж.Ж. ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ МЕЖГОРНЫХ ВПАДИН КЫРГЫЗСТАНА В СВЕТЕ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ СИСТЕМ	197
Исаев В.И., Стоцкий В.В. ТЕРМОПОЛЕ И РАЙОНИРОВАНИЕ СЛАНЦЕВОЙ НЕФТЕНОСНОСТИ ЮЖНОГО СЕГМЕНТА КОЛТОГОРСКО-УРЕНГОЙСКОГО ПАЛЕОРИФТА	201
Кендирбаева Дж.Ж. К ДИСКРЕТНОСТИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В СВЕТЕ РАЗРЫВНО-БЛОКОВОЙ ДЕЛИМОСТИ КЫРГЫЗСКОГО ТЯНЬ-ШАНЯ	206
Кишман-Лаванова Т.Н. ВЕРОЯТНОСТНО-ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ГРАВИМЕТРИИ	211
Корчин В.А. СКОПЛЕНИЯ АБИОГЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ В КОРОВЫХ ЗОНАХ НИЗКИХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СКОРОСТЕЙ ПАЛЕОРИФТОГЕНОВ АНТАРКТИЧЕСКОГО ПОЛУОСТРОВА	215
Корчин В.А., Буртный П.А., Карнаухова Е.Е. УПРУГО-ПЛОТНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРНЫХ ПОРОД В РАЗЛИЧНЫХ ПРОГРАММНЫХ РТ УСЛОВИЯХ	220
Кочнев В.А., Александровский Д.А. О ФОРМИРОВАНИИ ПОТОКОВ ЖИДКОСТИ ВО ВРАЩАЮЩЕМСЯ ШАРЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНИХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ПРИЛИВНЫХ СИЛ	224
Крашенинников А.В., Соловьев С.П., Рыбаков В.А. ВОЗМУЩЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ АТМОСФЕРЫ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ, ВЫЗВАННЫЕ СОЛНЕЧНЫМИ ВСПЫШКАМИ	228

Кризский В.Н., Нафикова А.Р. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА РАДОНА В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДАХ	232
Кусонский О.А., Бородин П.Б., Бебнев А.С., Григорьева С.А., Русинова В.В. УРАЛЬСКИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 4 ЯНВАРЯ, 19 ОКТЯБРЯ 2015 Г. И СОПУТСТВУЮЩИЕ ИМ ВОЗМУЩЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ПО ДАННЫМ ОБСЕРВАТОРИИ «АРТИ»	235
Кусонский О.А., Бородин П.Б., Бебнев А.С. ВЕКОВЫЕ ВАРИАЦИИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА УРАЛЕ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ В ОБСЕРВАТОРИЯХ «ЕКАТЕРИНБУРГ», «ВЫСОКАЯ ДУБРАВА» И «АРТИ»	240
Ладовский И.В., Бызов Д.Д., Чернокутов А.И. ОБ УЧЕТЕ "СФЕРИЧНОСТИ" ЗЕМЛИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ТРЕХМЕРНЫХ ПЛОТНОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ РАЗЛИЧНОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ	245
Лазарева Е.А., Мухамадеева В.А. ОБ АНОМАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В СВЯЗИ С АКТИВИЗАЦИЕЙ СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БИШКЕКСКОГО ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА	250
Лобова Г.А., Лунёва Т.Е. НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ ПАЛЕОЗОЙСКОГО РЕЗЕРВУАРА НЮРОЛЬСКОЙ МЕГАВПАДИНЫ ПО ГЕОТЕМПЕРАТУРНОМУ КРИТЕРИЮ	255
Ломтев В.Л. НОВЫЕ ДАННЫЕ О СТРОЕНИИ И РЕГИОНАЛЬНОЙ ГАЗОНОСНОСТИ КАЙНОЗОЙСКОГО ЧЕХЛА ЗАПАДА КАРОЛИНСКОЙ ПЛИТЫ (ЛОЖЕ ПАЦИФИКИ)	260
Ломтев В.Л. АЛЛОХТОННАЯ КОРА ПОД ЯПОНСКИМ И ОХОТСКИМ МОРЯМИ	265
Макарова Н.В., Макеев В.М., Дорожко А.Л., Суханова Т.В., Коробова И.В., Бондарь И.В. ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ НОВЕЙШИХ СТРУКТУР В ПРЕДЕЛАХ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ И НА СМЕЖНОЙ ТЕРРИТОРИИ	270
Манилов Ю.Ф. СТРОЕНИЕ ЛИТОСФЕРЫ ЮЖНОГО СИХОТЭ-АЛИНЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГРАВИМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ	275
Мартышко П.С., Пьянков В.А., Рублев А.Л. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ДЕФОРМИРОВАНИЯ НЕОДНОРОДНОГО ДИЛАТИРУЮЩЕГО ВКЛЮЧЕНИЯ	278
Миндубаев М.Г., Демежко Д.Ю., Хацкевич Б.Д. ИЗУЧЕНИЕ СВОБОДНОЙ ТЕПЛОВОЙ КОНВЕКЦИИ В БУРОВЫХ СКВАЖИНАХ. РЕЗУЛЬТАТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	283
Митюнина И.Ю. МНОГОМЕРНЫЙ АНАЛИЗ АТРИБУТОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ ЗАПИСЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	287
Натяганов В.Л. МИФ О ТУНГУССКОМ МЕТЕОРИТЕ (ДЕГАЗАЦИОННАЯ ПРИРОДА ТУНГУССКОГО ВЗРЫВА 1908г.)	292
Натяганов В.Л., Скибицкий А.Н., Шопин С.А. ПРЕДВЕСТНИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ДЕГАЗАЦИОННО-ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ПРИРОДЫ	297
Никитин Д.С.	302

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВОМОРСКОГО ШЕЛЬФА	
<i>Носкова Н.Н.</i> ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 23 ИЮНЯ 2016 Г. В ПРЕДЕЛАХ МОСКОВСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ	306
<i>Нуждаев И.А., Теофилактос С.О., Денисов Д.К.</i> МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ЮЖНОЙ КАМЧАТКИ	310
<i>Овчаренко А.В., Кусонский О.А., Русинова В.В.</i> ОБРАБОТКА, АНАЛИЗ И ПРИМЕНЕНИЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ GPS/ГЛОНАСС ОБСЕРВАТОРИИ «АРТИ»	315
<i>Овчаренко А.В.</i> ОБНАРУЖЕНИЕ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭФФЕКТОВ ВО ВРЕМЕННЫХ РЯДАХ ГРАВИМЕТРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА	320
<i>Овчаренко А.В.</i> СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ 4D-МОДЕЛИ СОВРЕМЕННОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ УРАЛА	324
<i>Паровышинный В.А., Казаков А.И.</i> ВАРИАЦИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НАД ЗАЛЕЖЬЮ ГАЗА В СВЯЗИ С ПРОБЛЕМОЙ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ	329
<i>Пономарева Т.А.</i> ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НАД ПОРОДАМИ СЕВЕРА УРАЛА	334
<i>Простолупов Г.В.</i> ЛОКАЛИЗАЦИЯ ЯВНЫХ И НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ ПОЛЮСОВ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ОТНОСИТЕЛЬНО ИСТОЧНИКОВ И ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА POLUS	339
<i>Пьянков В.А., Рублев А.Л.</i> ИЗУЧЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОГНОЗА ПОЛОЖЕНИЯ ЭПИЦЕНТРА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ПО АНОМАЛИЯМ РАДОНА	343
<i>Пьянков В.А., Рублев А.Л.</i> МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ МНОГОСЛОЙНОГО РАЗРЕЗА ЗЕМНОЙ КОРЫ ПО МАГНИТНЫМ ДАННЫМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА	348
<i>Романов А.М.</i> ПРОСЛЕЖИВАНИЕ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ В НЕДРАХ ИЗ ОЧАГОВ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ	353
<i>Рыбаков Е.Н., Тягунов Д.С.</i> ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ В 1953 ГОДУ И В НАШЕ ВРЕМЯ	358
<i>Рыбин А.К., Александров П.Н., Забинякова О.Б.</i> ОБОБЩЕНИЕ ИМПЕДАНСНЫХ СООТНОШЕНИЙ ТИХОНОВА-КАНЬЯРА НА СЛУЧАЙ НАЛИЧИЯ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЭНДОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ	363
<i>Рябова С.А., Спивак А.А.</i> ЭФФЕКТЫ ЛУННО-СОЛНЕЧНОГО ПРИЛИВА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ ЗЕМЛИ	368
<i>Селезнев А.А.</i> СОСТАВ И СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО ГРЯЗЕВОГО ОСАДКА НА УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ	373
<i>Сенин Л.Н., Сенина Т.Е., Воскресенский М.Н., Парыгин Г.И.</i> ОПЫТ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ РЕГИСТРАТОРОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ	377

СИГНАЛОВ «РЕГИСТР» И «REFTEK» ПРИ ИЗУЧЕНИИ СЕЙСМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРОИТЕЛЬНОГО ОБЪЕКТА	
<i>Спивак А.А., Харламов В.А.</i> ПРОЯВЛЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ЗЕМЛИ В ГЕОМАГНИТНЫХ ВАРИАЦИЯХ	382
<i>Старовойтов В.П.</i> ПОЛЕВЫЕ ИСПЫТАНИЯ МАГНИТОМЕТРА-ГРАДИЕНТОМЕТРА МГП-01	386
<i>Стогний Г.А., Стогний В.В.</i> К ПРОБЛЕМЕ ФОРМИРОВАНИЯ ВЕРХНЕМАНТИЙНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КЕРЧЕНСКО-ТАМАНСКОГО РАЙОНА КРЫМСКО-КАВКАЗСКОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЗОНЫ	390
<i>Сурина О.В., Вишнев В.С., Астафьев П.Ф.</i> РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОГРАВИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СТРОЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПО АЛАПАЕВСКОМУ ПРОФИЛЮ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И ГРАВИТАЦИОННЫХ ДАННЫХ	394
<i>Тарантин М.В.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИЙ ГЛУБИНЫ ФУНДАМЕНТА И ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЗЕМЛИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ КАРТ	399
<i>Тимохин А.В.</i> ЛИТОЛОГО-СТРУКТУРНЫЕ И ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗВЕСТКОВЫХ МАССИВОВ КАК СПЕЦИАЛЬНЫЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ СЫРЬЕВОЙ ОЦЕНКИ МИНЕРАЛЬНОЙ БАЗЫ СОДОВОГО ПРОИЗВОДСТВА (НА ПРИМЕРЕ ЧАНЬВИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)	404
<i>Тягунов Д.С.</i> КАРТА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННОГО МАГНИТНОГО ШУМА ЕКАТЕРИНБУРГА И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ	409
<i>Усенко С.В., Бойко А.Н., Прохорова Т.В.</i> ОСОБЕННОСТИ ТЕКТОНИКИ И РЕЛЬЕФА ОКЕАНИЧЕСКОГО ДНА ГРЕНЛАНДСКОГО БАСЕЙНА СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ	412
<i>Федоренко И.В.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГЛУБИН РОЕВЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ХРЕБТА ГАККЕЛЯ ПО СПЕКТРАМ ПРЯМЫХ ВОЛН	417
<i>Федорова О.И., Горшков В.Ю., Маликов А.В., Петухова Ю.Б.</i> СРАВНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗОНДИРОВАНИЙ С СИММЕТРИЧНОЙ УСТАНОВКОЙ AMNB И ТРЕХЭЛЕКТРОДНОЙ КОМБИНИРОВАННОЙ УСТАНОВКОЙ AMN+MNA	422
<i>Хамидов Л.А., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л.</i> ВОЗМОЖНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ СЛЕЖЕНИЯ МЕСТНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ В БЛИЖНИХ ЗОНАХ ВОДОХРАНИЛИЩ УЗБЕКИСТАНА	429
<i>Хацкевич Б.Д., Демежко Д.Ю., Миндубаев М.Г.</i> ИЗУЧЕНИЕ СВОБОДНОЙ ТЕПЛОВОЙ КОНВЕКЦИИ В БУРОВЫХ СКВАЖИНАХ. РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА	431
<i>Хачай О.А., Хачай О.Ю.</i> НОВЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ШАХТНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ С УЧЁТОМ ИЕРАРХИЧНОЙ ГЕТЕРОГЕННОСТИ ГОРНОГО МАССИВА	436
<i>Хачай Ю.В., Хачай О.А., Антипин А.Н.</i> ВЛИЯНИЕ ВЫДЕЛЕНИЯ ТЕПЛА ПРИЛИВНОГО ТРЕНИЯ В СИСТЕМЕ ЗЕМЛЯ-ЛУНА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВО ВНУТРЕННИХ ОБЛАСТЯХ ПЛАНЕТЫ НА СТАДИИ ЕЕ АККУМУЛЯЦИИ	439
<i>Хачай Ю.В., Миндубаев М.Г.</i>	444

ВЛИЯНИЕ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ НА УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	
<i>Холутов С.Ю.</i> ИЗМЕРЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ВЕКТОРНОГО МАГНИТОМЕТРА ROS-4 ЗА 2.5 ГОДА: ВОЗМОЖНОСТИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИНТЕГРАЦИИ В СИСТЕМУ МОНИТОРИНГА МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ "ПАРАТУНКА" ИКИР ДВО РАН (КАМЧАТКА)	448
<i>Христенко Л.А., Степанов Ю.И., Кичигин А.В., Паршаков Е.И., Тайницкий А.А., Ширяев К.Н.</i> ИНТЕРПРЕТАЦИЯ МОНИТОРИНГОВЫХ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОПРОФИЛИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ АППАРАТА ТЕОРИИ ОЦЕНОК	453
<i>Цуркис И.Я., Жуковец В.Н.</i> О НОВОМ ПОДХОДЕ К ОЦЕНКЕ ЧАНДЛЕРОВСКОЙ ЧАСТОТЫ	456
<i>Чеботарев Н.Ф.</i> ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЭК РОССИИ В ЭПОХУ ГЛОБАЛЬНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КРИЗИСА	461
<i>Шаров Н.В., Лобанов К.В.</i> ГЛУБИННЫЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ЛИТОСФЕРЫ ПЕЧЕНГСКОГО И ОНЕЖСКОГО РУДНЫХ РАЙОНОВ	468
<i>Шопин С.А., Дода Л.Н.</i> ГИС-КОМПОНЕНТЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССОВ ПОДГОТОВКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ	470
<i>Эргешов И.М., Хамидов Л.А., Хусамиддинов А.С., Хамидов Х.Л.</i> ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НЕКОТОРЫХ ЗОН ОРГАНИЗАЦИИ GPS ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ В УЗБЕКИСТАНЕ И СОЗДАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ В СРЕДЕ ARCGIS	475
<i>Юрков А.К., Козлова И.А., Бирюлин С.В.</i> СЕЙСМИЧЕСКОЕ СОБЫТИЕ 19.10.2015 ГОДА НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ В ПОЛЕ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ РАДОНА	480

Научное издание

**ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ, ГЕОДИНАМИКА,
ТЕПЛОВОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ,
ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ**
Девятые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича

Материалы конференции

*Рекомендовано к изданию Ученым советом
Института геофизики им.Ю.П.Булашевича УрО РАН
(протокол № 6 от 29.06.2017г.)*

620016, Екатеринбург, ул. Амундсена, 100
Институт геофизики им.Ю.П.Булашевича УрО РАН

Подписано в печать 01.09.2017 г.
Тираж 100 экз. Заказ № 547

Размножено с готового оригинал-макета в типографии
ООО «ИРА УТК», 620000, г. Екатеринбург, ул. Луганская, 59