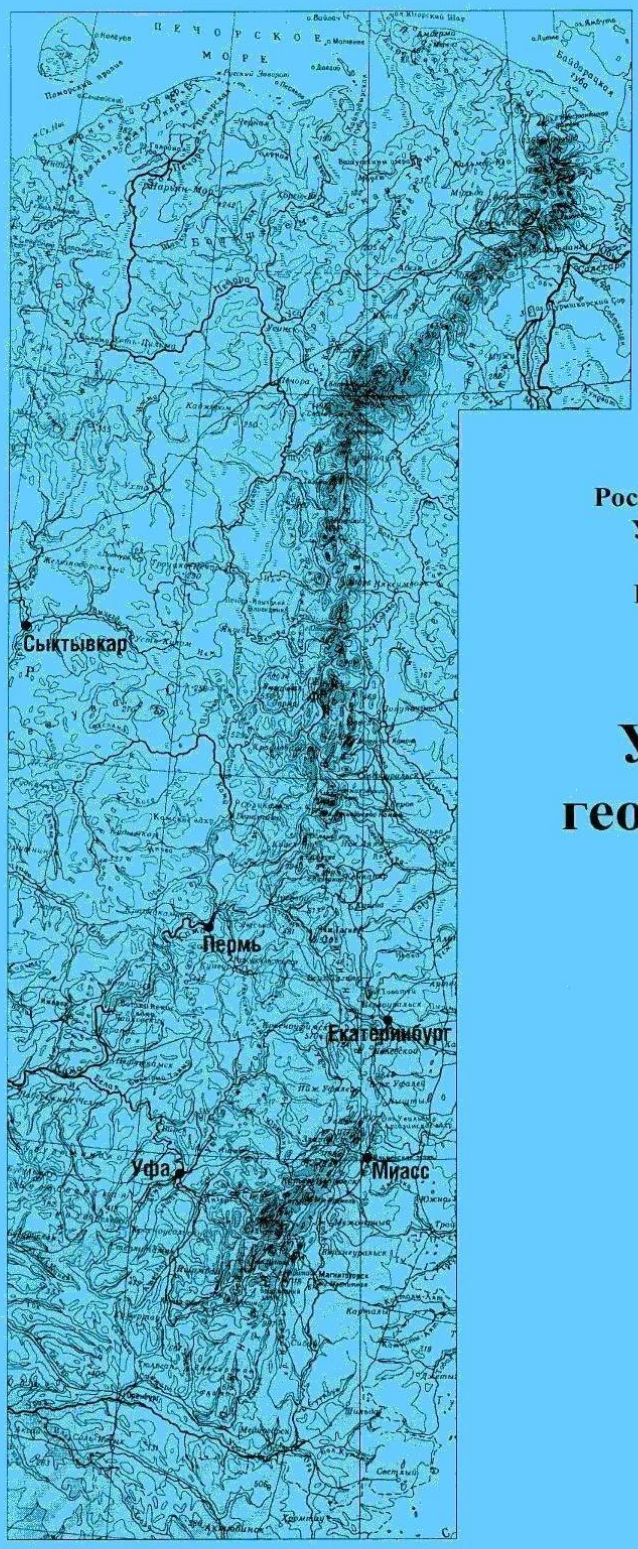
ISSN 1991-0223



Российская академия наук
Уральское отделение

Институт геофизики

Уральский геофизический вестник

№ 9
2006

Екатеринбург
2006

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ ГЕОФИЗИКИ

УРАЛЬСКИЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК

№ 9

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
Уткин В.И. (voutkin@rambler.ru)
Заместитель главного редактора
Бахтерев В.В.
Ответственный секретарь
Иголкина Г.В.

Члены редколлегии:

Авсюк И.Н.
Аревкова Э.О
Глухих И.И.
Демежко Д.Ю.
Дружинин В.С.
Кашубин С.Н.
Кормильцев В.В.
Маловичко А.А.
Мартышко П.С.
Сашурин А.Д.
Талалай А.Г.
Троянова Т.Е.
Улитин Р.В.
Хачай Ю.В.
Хуторский М.Д.
Человечков А.И.
Шаров Н.В.
Эпов М.И.

Институт геофизики УрО РАН
Ул.Амундсена, 100
20016, г.Екатеринбург, Россия
Тел. (343) 267 8868 / 267 8889
Факс. (343) 267 8872
E-mail: uralgeoph@mail.ru

Екатеринбург, 2006

УДК 550.83 **ISSN 1991 - 0223**
ББК 26.2
Г67

УРАЛЬСКИЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК, № 9 (сб. статей)
Екатеринбург: УрО РАН, 2006
ISBN 5-7691- 1539 - 4

В сборник вошли статьи, характеризующие особенности строения и развития земной коры Урала и сопредельных территорий. Представлены материалы о теоретических, методических, аппаратурных разработках методов поиска и разведки полезных ископаемых. Обсуждаются вопросы палеоклимата по геотермическим данным; геофизический мониторинг при геоэкологоческих исследованиях и с целью прогноза землетрясений. Изложены краткие сообщения, затрагивающие специальные, относительно узкие вопросы.

Сборник рассчитан на широкий круг геологов и геофизиков, интересующихся глубинным строением, геодинамикой и особенностями отражения разных полей Урала в геофизических данных.

Ответственный редактор
Член-корреспондент РАН **В.И.Уткин**

ISBN 5 - 7691 - 1539 - 4

ПРП - 2003 – 69(04)

У --8П6 (03) 1998---------- ПВ - 2006

© Институт геофизики УрО РАН, 2006 г.

Вниманию читателей

Необходимые номера журнала можно заказать по адресу:
20016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 100
Тел. (343)2678868/2678889; факс: (343)2678872; E-mail: voutkin@rambler.ru

Научное издание

УРАЛЬСКИЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК № 9

Рекомендовано к изданию Ученым советом
Института геофизики и НИСО УрО РАН

ЛР № 020764 от 24.02.98 г.

Технический редактор К о р н и л о в Ю. Б.
Корректор , компьютерная верстка А р е в к о в а Э. О.
Макетирование , компьютерная графика У т к и н В. И.

НИСО УрО РАН № 69(04). Подписано в печать 10.10.2006.
Формат 60 х 84 1/8 . Усл.печ.л.8,25
Уч.-изд.л. 9,0. Тираж 300
Заказ……

620016, г.Екатеринбург, ул.Амундсена, 100
Институт геофизики УрО РАН

Размножено с готового оригинал-макета в типографии
ООО «ИРА УТК», 620219 Екатеринбург, Карла Либкнехта, 42

СОДЕРЖАНИЕ

Белослюдцев О.М., Узбеков Н.Б.
Исследование информативности геомагнитных наблюдений при прогнозе землетрясений в Казахстане…… 5

Гуляев А.Н., Дружинин В.С.
К вопросу о детализации карт ОСР - 97 центральной части Уральского региона . 9

Демежко Д.Ю., Рывкин Д.Г., Голованова И.В.
О совместном влиянии фильтрации подземных вод и палеоклимата на тепловое поле верхней части земной коры…….. 16

Круткина О.Н., Пруцкая Л.Д.
Земноприливные колебания уровня подземных вод и их изменения при подготовке землетрясений на Северном Кавказе……. 27

Поляк Б.Г., Хуторской М.Д., Кононов В.И.
Проблемы геотермии: XX - XXI…….. 34

Ратушняк А.Н., Сарвартинов А.И.
Определение глубины и продольной проводимости проводящего слоя при двухпетлевом индуктивном частотном зондировании……... 52

Сенин Л.Н., Сенина Т.Е.
Переносные сейсмические станции «Синус»……. 57

Тихонов А.И., Тихонов В.П., Васильев А.В., Егоров С.П., Миронова Н.Е.
Использование уран - изотопного метода для выявления активных участков глубинных разломов на русской платформе и оценки их воздействия на экологическое состояние подземных вод……... 63

Уткин В.И., Демежко Д.Ю., Ситникова А.А.
Геодинамика Атлантики и климат Европы…….. 69

Чеботина М.Я., Гусева В.П.
Воздействие Белоярской АЭС на состояние планктона в водоеме - охладителе….. 76

ХРОНИКА. СОБЫТИЯ. ЛЮДИ.

VII Уральская молодежная научная школа по геофизике…….. 80

170 лет обсерваторских наблюдений на Урале: история и современное состояние. 86

Новые имена…… 96

Юбилеи…….. 98

CONTENTS

Belosljudtsev O.M., Uzbekov N.B.
Research of sele - descriptiveness of geomagnetic observations while predicting earthquakes in Kazakstan……... 5
.

Gulyaev A.N., Druzhinin V.S.
Concerning the problem of detailed compilation of OCP - 97 maps of the central Urals region…… 9

Demezhko D.Yu., Ryvkin D.G., Golova - nova I.V.
About joint influence of ground water flow and paleoclimate of the thermal field of the upper earth's crust…… 16

Krutkina O.N., Prutskaya L.D.
Earth tidal fluctuations of subsurfase waters level during preparation of earthquakes in the Northern Caucasus……... 27

Polyak B.G., Khutorskoij M.D., Kononov V.I.
Problems of geotermy: XX - XXI……. 34

Ratushnyak A.N., Sarvartinov A.I.
Definition of depth and longitudinal conductivity of a conducting layer while two - loopback inductive frequency sounding……... 52

Senin L.N., Senina T.E
Portable seismic stations " Sine "…….. 57

Tikhonov A.I., Tikhonov V.P., Vasiliev A.V., Egorov C.P., Mironov N.E.
Uranium - isotope method's application for active parts of deep breaks exposure on the Russian platform and estimation of their influence on the underground waters' ecological condition……..... 63

Utkin V.I., Demezhko D.Ju., Sitnikova A.A...
Geodynamics of Atlantic and climate of the Europe…….. 69

Chebotina M.Ja., Guseva V.P.
Beloyarskaya Atomic Power Station influence on the planktonic state in the cooling reservoir……... 76

CHRONICLE. EVENTS. PEOPLE.
80

VII Ural youth scientific school on geophysics……... 86

170 years of observatorial supervision on Ural: history fnd a modern condition……. 96

New names…….. 98

Anniversaries……..

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ГЕОМАГНИТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ПРИ ПРОГНОЗЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В КАЗАХСТАНЕ

Белослюдцев О.М., Узбеков Н.Б. - Институт сейсмологии МОН РК, Казахстан, г.Алматы

Аннотация. Изучена информативность геомагнитного мониторинга при прогнозе землетрясений в сейсмоактивных районах Казахстана. Основой оценки информативности результатов геомагнитных наблюдений стали расчеты по оценке количества сейсмических событий, предваряемых аномалиями в магнитном поле, и общего их числа. Алгоритм предусматривает анализ соотношения аномальных и нормальных интервалов временного ряда, содержащего аномальную компоненту, с сейсмическими событиями. Построены эмпирические зависимости между параметрами магнитных аномалий, энергетическим классом и эпицентральными расстояниями землетрясений.

RESEARCH OF SELF - DESCRIPTIVENESS OF GEOMAGNETIC OBSERVATIONS WHILE PREDICTING EARTHQUAKES IN KAZAKSTAN.

Belosljudtsev O.M., Uzbekov N.B. - Institute of seismology MES RK, Kazakhstan, Almaty

Abstract. Self-descriptiveness of geomagnetic monitoring while predicting earthquakes in seismoactive areas of Kazakhstan has been investigated. Estimation according to the number of seismic events anticipated by anomalies in a magnetic field and their total number became the basis of evaluation of self-descriptiveness of geomagnetic observations results. The algorithm provides the analysis of a relationship between abnormal and normal intervals of the time series containing abnormal component and seismic events. Empirical dependences between parameters of magnetic anomalies, an energy class and epicentric distances of earthquakes have been

Система региональных стационарных магнитовариационных наблюдений на территории Казахстана была создана в 1980 - 1981гг. и в настоящее время включает в себя 16 магнитовариационных станций (МВС), расположенных в сейсмоактивных зонах Заилиского, Кунгей и Джунгарского Алатау, одна станция (опорная) размещена в сравнительно асейсмичной части Илийской впадины (рис. 1).

Рис. 1. Схема размещения МВС на Алматинском полигоне.

Все МВС оснащены прецизионными протонными магнитометрами МВ - 01, измеряющими модуль полного вектора геомагнитного поля Т. Исследования метрологических параметров приборов и оценки аппаратурно - методических погрешностей измерения магнитных полей показали, что как при кратковременных, так и при долговременных (годы) непрерывных наблюдениях может быть реализована точность измерений на уровне первых десятых долей нТл [1 - 3].

Основной задачей геомагнитных исследований является поиск локальных аномалий в вариациях геомагнитного поля (ГМП), предваряющих сильные землетрясения, и разработка алгоритма прогноза места, силы и времени землетрясений в диапазонах времен краткосрочных, среднесуточных и долгосрочных предвестников. В соответствии с этой задачей методика измерений и обработка данных направлена на получение непрерывных рядов среднесуточных значений поля на каждой СМС.

Главным условием информативности любого прогностического метода является появление в физическом поле или в его производном параметре аномального состояния в период, предваряющий сейсмическое событие. То есть в анализируемом параметре должны быть состояния “фон” и “аномалия”, каждому из которых, в случае, если метод эффективен, должны соответст-

вовать период спокойной сейсмической обстановки и период подготовки сейсмического события.

Основой оценки информативности результатов геомагнитных наблюдений стали расчеты по оценке количества сейсмических событий, предваряемых аномалиями в магнитном поле, и общего их числа. Алгоритм оценки предусматривает анализ временного ряда аномалиесодержащего параметра и получения среднего, среднеквадратичного отклонения и порога (доверительного интервала) аномалии. Затем из временного ряда суточных значений параметра общей длины *T* выбираются даты начала и конца аномалии и рассчитывается период аномалии *t*. Далее из сейсмического каталога производится выборка землетрясений с эпицентральным расстоянием *R* от станции наблюдений с энергетическим классом выше K_{min}. Среди объема выборки событий, попавших в заданное эпицентральное расстояние, производится подсчет количества землетрясений *n* , время возникновения которых совпадает с аномальными периодами, к общему количеству землетрясений *N* в выборке. После этого производятся расчеты отношения суммы аномальных периодов ряда к общей его длине $\mathring{a}\ t / T$ и отношения количества землетрясений *n*, попавших в периоды аномалий, к общему числу землетрясений *N* в выборке $\mathring{a}\ n / N$ (рис.2). Если отношение $\mathring{a}\ n / N$ ненамного отличается от $\mathring{a}\ t / T$, то это означает случайное появление аномалий, независимо от происшедших землетрясений. Для идентификации аномалий с предвестником необходимо, чтобы регистрировали хотя бы каждое второе при данном эпицентральном расстоянии сейсмическое событие, $\sum n / N > 0.5$.

Для анализа информативности геомагнитного метода были подготовлены временные ряды данных модульных геомагнитных наблюдений по станциям с наиболее длинными периодами непрерывных наблюдений (с 1982 г.). Данные были обработаны на предмет выделения аномалий, которые могли бы идентифицироваться как геомагнитные предвестники. Было разработано программное средство анализа аномалиесодержащих временных рядов и сейсмичности с графическим представлением результатов в виде тектонической схемы Алматинского полигона и карты эпицентров землетрясений с энергетическим классом выше заданного, происшедших в периоды аномалий [4].

Результаты анализа.

Исследование аномальных параметров магнитного поля проводилось по каждой станции за весь период наблюдений с использованием каталога землетрясений Института сейсмологии. Для оценки эффективности геомагнитного метода анализ производился поочередно для каждого K_{min}, начиная с К = 9.0 (К ≥ 9.0, К ≥ 10.0, К ≥ 11.0, К ≥ 12.0, К ≥ 13.0, К ≥ 14.0).

Для каждой выборки из каталога с K_{min} проводились расчеты количества землетрясений, имеющих эпицентральное расстояние от станции: 300, 250, 200, 150, 100, 75 и 50 км. Также рассчитывалось отношение

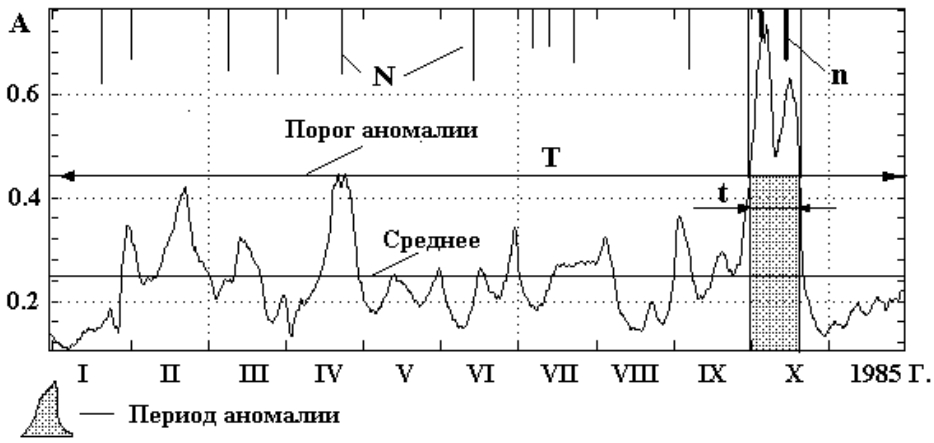


Рис. 2. Схема выделения аномальных периодов геофизических рядов. *n* – количество землетрясений в выборке, попавших в аномальный период, *N* – общее количество землетрясений в выборке, *t* – продолжительность аномального периода, *T* - длина временного ряда.

суммы аномальных периодов со значениями параметра, превышающего порог, к общей продолжительности периода анализа по каждой станции. Оно оказалось близким для данных по разным станциям и составило величину 0.13 – 0,17.

Таким образом, если каждое второе сейсмическое событие заданного класса предварялось геомагнитной аномалией до эпицентрального расстояния R, то оно имело предвестник с вероятностью P = 0,5.

По результатам анализа данных по сети станций полигона составлена таблица чувствительности станций (таблица 1) и калибровочные графики (рис.3).

Таблица иллюстрирует калибровочные графики, составленные для станций Кастек (рис. 3, А и Б), Майтюбе (рис. 3 В), Тургень (рис. 3 Г) и Саты (рис. 3 Д), из которых можно сделать заключение, что геомагнитные предвестники землетрясений свыше 12 энергетического класса могут быть зарегистрированы с вероятностью P = 0.5 на расстоянии в среднем для сети не более 100 - 150 км от

Таблица 1 - Определение радиуса чувствительности геомагнитных станций на землетрясения разного класса

Станция	**P>0.5**		**P>0.4**		**P>0.3**	
	K_{min}	**R, км**	**K_{min}**	**R, км**	**K_{min}**	**R, км**
Кастек	11	75	11	100	11	150
	12	100	12	150	12	150
	13	300	13	300	13	300
	14	300	14	300	14	300
Майтюбе	11	-	11	-	11	-
	12	-	12	100	12	100
	13	250	13	250	13	300
	14	300	14	300	14	300
Тянь-Шань	11	-	11	-	11	-
	12	-	12	75	12	75
	13	75	13	75	13	100
	14	-	14	-	14	-
Тургень	11	-	11	-	11	-
	12	-	12	-	12	200
	13	50	13	50	13	200
	14	200	14	300	14	300
Саты	11	-	11	-	11	-
	12	-	12	-	12	-
	13	100	13	100	13	150
	14	150	14	150	14	300
Чилик	11	-	11	-	11	-
	12	-	12	-	12	300
	13	300	13	300	13	300
	14	-	14	-	14	-
Известковый	11	-	11	-	11	200
	12	-	12	200	12	200
	13	250	13	300	13	300
	14	-	14	-	14	-
Курам	11	-	11	100	11	100
	12	150	12	150	12	150
	13	-	13	-	13	-
	14	-	14	-	14	-
Джаркент	11-14	-	11-14	-	11-14	-
Калкан	11-14	-	11-14	-	11-14	-
Бурундай	11-14	-	11-14	-	11-14	-

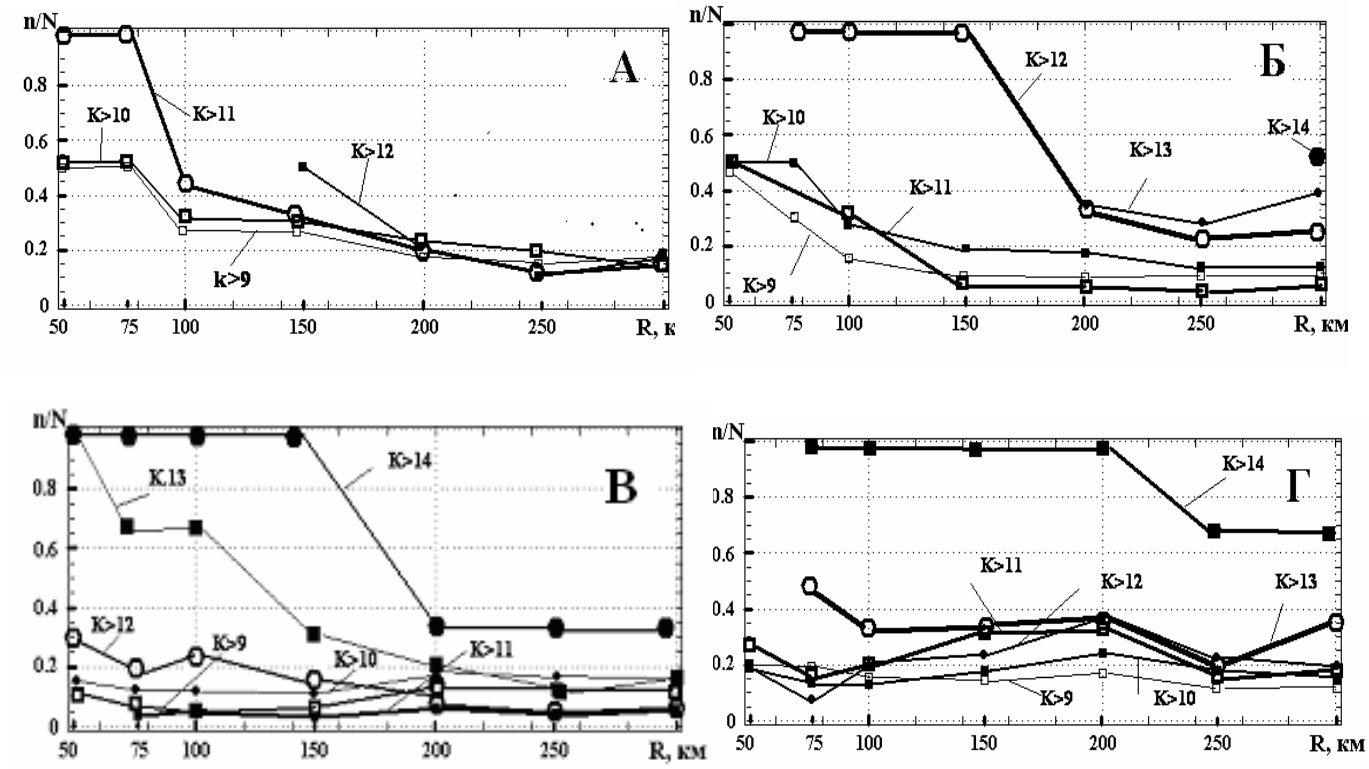


Рис. 3. Определение чувствительности *n/N* геомагнитных станций Алматинского полигона к землетрясениям различного класса в зависимости от эпицентрального расстояния *R*.
А - станция Кастек (1982 - 87 гг.); Б – станция Кастек (1991 - 2001 гг.); В – станция Саты (1982 - 2001 гг.), Г – станция Тургень (1982 - 2001 гг.).

станции регистрации, с К=13 – не более 200 км и с К = 14 – не более 250 км

Данные по станциям Бурундай, Калкан и Джаркент для построения калибровочных графиков оказались непредставительными, поскольку эпоха режимных измерений на них идет с 1996 г., за это время сейсмическая активность на полигоне явилась несколько пониженной, и длина полученного временного ряда оказалась недостаточной для подобных построений (таблица 1). Это обстоятельство говорит о необходимости консервативного подхода к поддержке работы сети наблюдений: без особой необходимости прерывать работу станций режимной регистрации не следует, при прогнозных работах длинные ряды наблюдений с накопленными статистическими характеристиками параметров представляют значительную научную и практическую ценность, и если на первых этапах вновь введенные в эксплуатацию станции не имеют высокой информативности, последняя, при соблюдении технических и методических условий, с течением времени повышается.

Литература

1. *Курскеев А.К.* Проблемы прогнозирования землетрясений. Алма - Ата. “Наука”. 263с.
2. *Бушуев А.В.* Исследование вариаций геомагнитного поля в связи с прогнозированием землетрясений в Юго - Восточном Казахстане: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук. М.. 1982. 21 с.
3. *Узбеков Н.Б.* Вариации геомагнитного поля в связи с прогнозом землетрясений в Северном Тянь - Шане. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физ.- мат. наук. Алматы. 2001. 22 с.
4. Курскеев А.К., Белослюдцев О.М. Научные основы и методы прогноза землетрясений в Казахстане // Вестник инженерной академии РК. 1997, №1, с. 151 - 162.

К ВОПРОСУ О ДЕТАЛИЗАЦИИ КАРТ ОСР - 97 ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

Гуляев А.Н., Дружинин В.С. - Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

А***ннотация***. Составлена схематическая карта детального сейсмического районирования центральной части Уральского региона, которая представляет собой результат уточнения карт ОСР - 97.
На ней показаны потенциально сейсмичные зоны четырех категорий потенциальной сейсмичности, представляющие собой установленные и предполагаемые по геолого - геофизическим данным зоны нарушения сплошности земной коры и узлы их пересечения.
Площадь выделенных участков, где реально возможны сейсмические сотрясения силой в 6 баллов заметно меньше, чем на картах ОСР - 97. Даная карта после рассмотрения в соответствующих инстанциях и доработки может стать руководящим документом для проектировщиков и строителей.

CONCERNING THE PROBLEM OF DETAILED COMPILATION OF OCP - 97 MAPS OF THE CENTRAL URALS REGION

Gulyaev A.N., Druzhinin V.S. Institute of Geophysics, UB of RAS, Yekaterinburg.

Abstract. Schematic zoning of potential seismic areas of the Urals region central part, shown at the GSZ - 97 maps of General seismic zoning of the Russian Federation territory, according to the probability degree of appearance of earthquakes with intensity of 6 and more, is performed. Zones of disturbed continuity of the earth crust and tectonic junctions, formed by their mutual drawing together, intersecting and jointing, are also shown as potential seismic sites. As a result, the area of potential seismic sites, where earthquakes with intensity of 6 numbers and more may really take place, is much smaller, than the area of potential seismic regions outlines at GSZ - 97 maps. The compiled map after its examination and approval by coordinating departments may become a guidance for planners and builders.

Потенциально сейсмичные 6, 7 и 8 - балльные области, показанные на картах ОСР - 97 [1], охватывают значительную часть площади Среднего Урала и прилегающих к нему частей Северного и Южного Урала. Предполагается, что в каждой точке в пределах этих областей для условий сухих песчано - глинистых грунтов мощностью более 10 м существует одинаковая вероятность возникновения сейсмического сотрясения соответствующей силы. В то же время достаточно сложное геологическое строение Урала, наличие неоднородностей в его земной коре, а так же характер сейсмичности позволяет предположить, что вероятность возникновения очагов ощутимых землетрясений и, вызванных ими сейсмических сотрясений силой 6 баллов по шкале MSK - 64 и более в пределах вышеупомянутых областей неодинаковая. Следовательно, актуальной является задача детализации и районирования потенциально сейсмичных областей на картах ОСР - 97 по степени вероятности возникновения сейсмических сотрясений соответствующей расчетной величины и составления карт детального сейсмического районирования.

Анализ данных, приведенных в работах [4,5], позволяет предположить, что вероятность возникновения очагов землетрясений с сейсмическими сотрясениями соответствующей силы выше в пределах зон крупных разломов и тектонических узлов, образованных сближением и пересечением данных разрывных структур.

В работе [13] показано, что практически все наиболее сильные землетрясения Урала приурочены к зонам геодинамического влияния региональных глубинных разломов. При этом большая часть наиболее сильных из них приурочена к зоне Главного Уральского глубинного разлома на участках его пересечения с разрывными зонами второго порядка.
Кроме того известно, что в условиях центральной части Уральского региона эпицентральные области наиболее сильных сотрясений, достигающих по интенсивности 6 баллов, а иногда даже 6.5 - 7.0 баллов по шкале MSK - 64, как это было во время самого сильного за инструментальный пе-

риод сейсмологических наблюдений на Урале Билимбаевского землетрясения 17.08.1914 года, магнитуда которого оценивается как порядка 5.0, имеют достаточно компактные размеры, составляющие порядка от первых километров до первых десятков километров. Так на основании анализа макросейсмического описания, приведенного в работах [2,3], область наиболее сильных сотрясений, достигавших 6 баллов, а на некоторых участках вероятно и более 6 баллов, упоминавшегося выше Билимбаевского землетрясения, имеет протяженность порядка 25 - 30 км. Ширина этой области, по - видимому, несколько меньше. Для более слабых землетрясений, с магнитудой 4.0 - 4.5, характерны еще меньшие размеры областей с силой сотрясения порядка 6 баллов, составляющие первые километры.

Следовательно, в пределах контуров потенциально сейсмичных областей, показанных на картах ОСР - 97 в качестве наиболее вероятных участков с силой сейсмических сотрясений 6 баллов и более, могут рассматриваться тектонические узлы, образованные взаимным сближением и пересечением крупных зон нарушения сплошности земной коры, а так же сами зоны. Эти зоны могут рассматриваться как каналы эффективной передачи сейсмической энергии. В пределах них вследствие развития глубоких карманов выветривания (эрозионно - структурных депрессий) [6] предположительно можно ожидать некоторого увеличения силы сейсмического воздействия. Следовательно, зоны геодинамического влияния разрывных и флексурно-разрывных зон могут рассматриваться как потенциально сейсмичные зоны.

Ширина этих зон порядка 10 - 20 км. Она определяется размерами на дневной поверхности области возможных 6 балльных сотрясений, рассчитанной по известной формуле [4] с использованием параметров очагов наиболее сильных Уральских землетрясений.

На основании вышеизложенного нами было выполнено предварительное районирование потенциально сейсмичных областей ОСР - 97 в пределах центральной части Уральского региона по предполагаемой относительной степени вероятности возникновения сейсмических сотрясений силой 6 баллов и более (рис. 1 цветная вкладка). Методика составления этой карты включала в себя следующие элементы:

а) составление схемы зон нарушения сплошности земной коры,

б) выделение тектонических узлов, образованных взаимным пересечением этих зон,

в) оценку сейсмопотенциала этих зон и узлов.

При составлении схемы зон нарушения сплошности земной коры были использованы разрывные нарушения, показанные на геологических и тектонических картах [7], а так же предполагаемые зоны нарушения сплошности, выделенные по результатам морфоструктурного анализа и районирования основных геофизических полей, поверхностей разделов в литосфере, рельефа дневной поверхности, поля скоростей современных вертикальных движений земной коры, а так же зоны, выделенные по данным глубинных сейсмических зондирований [14,15].

Оценка сейсмопотенциала (магнитуды, силы сейсмического сотрясения в эпицентре) выделенных зон и узлов выполнялась с использованием :

а) построенных схем сейсмотектоники, наибольших наблюденных магнитуд и сотрясений (рис.2 и рис.3),

б) степени относительного сходства тектонической позиции рассматриваемых потенциально сейсмичных зон и узлов с позицией сейсмичных (проявленных) зон и узлов, в которых уже отмечалось возникновение сейсмических явлений силой 6 баллов и более.

В качестве потенциально сейсмичных участков **первой категории**, в которых предположительно наиболее высока вероятность возникновения очагов землетрясений с магнитудой 4.5 - 5.0 и силой сотрясения в эпицентре 6.0 баллов по шкале MSK - 64 и более были выделены наиболее крупные тектонические узлы, в которых уже отмечалось возникновение очагов дос-

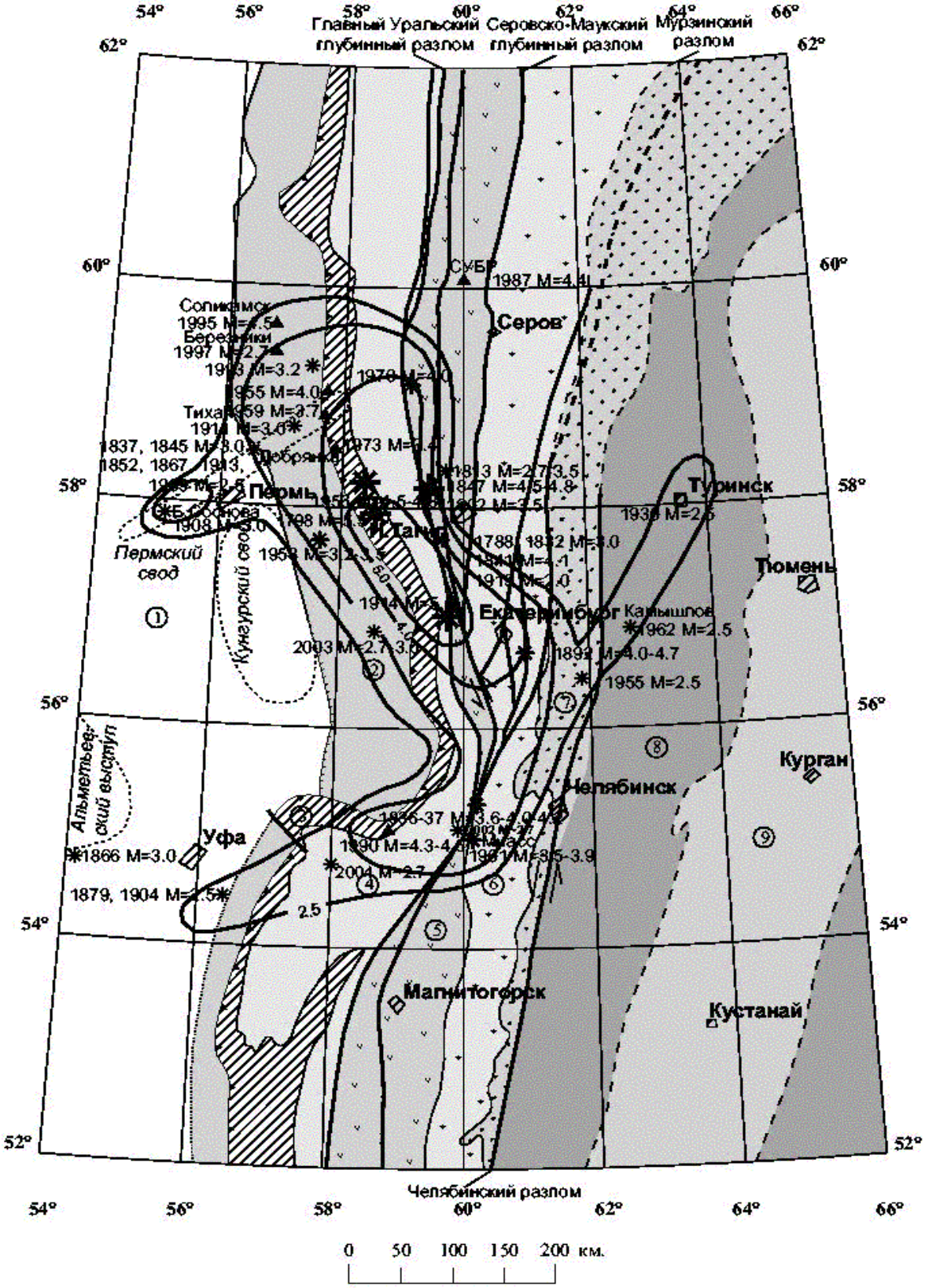


Рис.2. Схема наибольших наблюдавшихся магнитуд природных землетрясений Центральной части Уральского региона. Составил Гуляев А.Н.

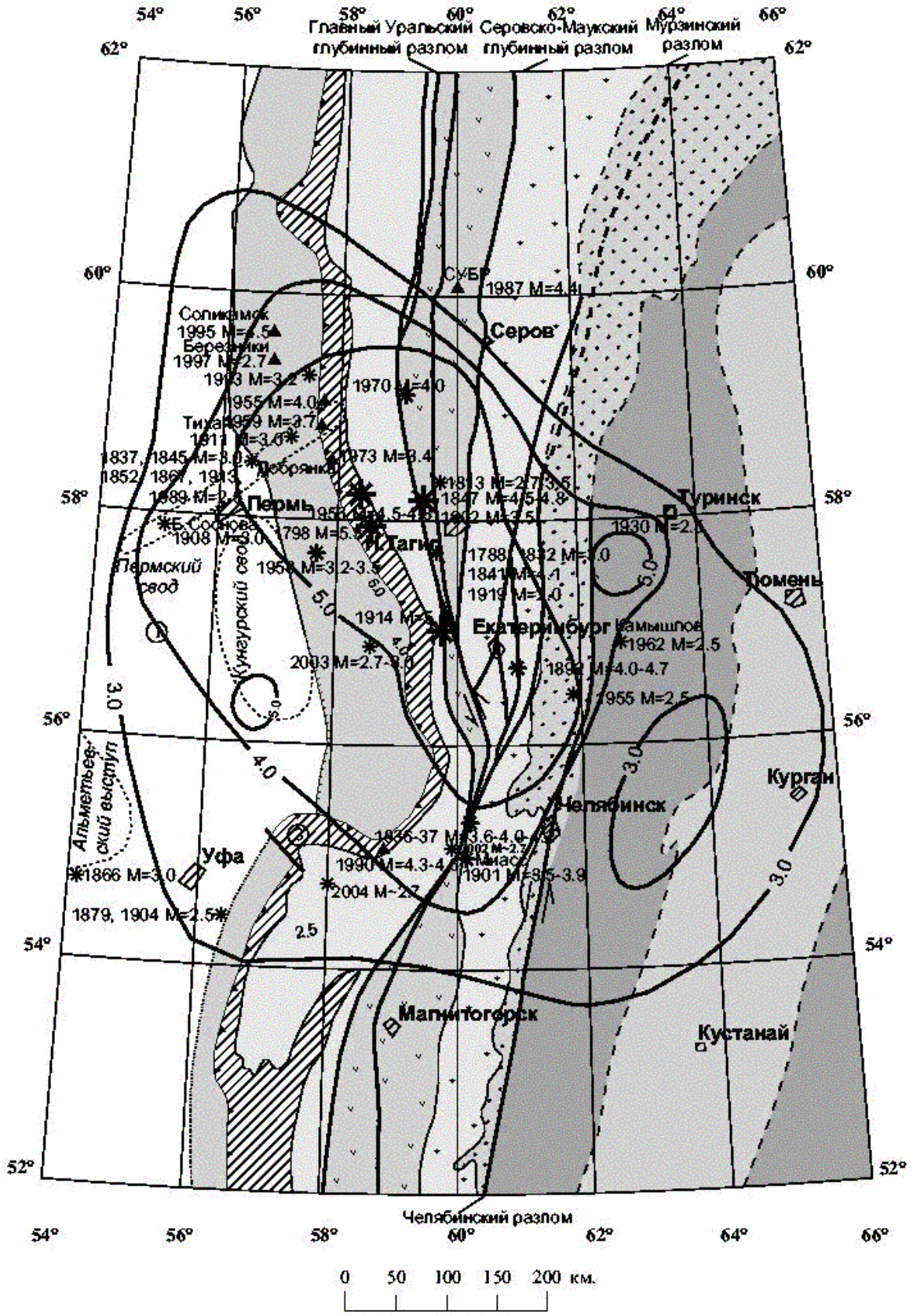


Рис.3. Схема наибольших наблюденных сейсмических сотрясений (в баллах шкалы MSK - 64) природных землетрясений Центральной части Уральского региона. Составил Гуляев А.П.

таточно сильных землетрясений (Билимбаевский, Серебрянский, Висимо-Тагильский, Койвинский, Лялинско - Павдинский) и, в которых возникновения очагов сильных землетрясений еще не отмечались (Нязепетровский, В.Уфалейский, Кыштымский, Иткульский, Качканарский, Горнозаводский, Лялинский). Наиболее крупные из потенциально сейсмичных зон первой категории соответствуют зонам геодинамического влияния Главного Уральского разлома, разлома Платиноносного Пояса, Дегтярско - Уфалейского разлома, Чусовско - Кизеловской зоне надвигов, краевым флексурно - разрывным зонам, ограничивающим наиболее приподнятую часть новейшего Уральского орогена. По многим из этих структур в мезозойское время развились эрозионно - структурные депрессии, заполненные суглинками и дресвяниситыми отложениями мезозойской коры выветривания относительно увеличенной мощности [6]. В неоген - четвертичное время большая часть из этих зон была так же обновлена [8,9], они были освоены поймами рек, в них происходит разгрузка подземных вод.

В качестве потенциально сейсмичных участков и зон **второй категории**, в пределах которых вероятность сейсмических сотрясений силой 6 баллов и более оценивается как более низкая, чем в пределах участков первой категории, выделены зоны и узлы в пределах горных сооружений Северного и Южного Урала, находящиеся за пределами контуров Средне - Уральской области, в которой были отмечены землетрясения силой 6 баллов и более.

Предполагается, что в пределах участков второй категории, вероятнее всего, можно ожидать возникновения очагов землетрясений с магнитудой 3.5 - 4.5 и силой сотрясения в эпицентре до 4.5 – 5.5 (до 6.0) баллов по шкале MSK - 64. К этой же категории участков были отнесены участки в пределах Средне - Уральской области, но расположенные между зонами и узлами первой категории.

В качестве потенциально сейсмичных участков **третьей категории**, в пределах которых вероятность сейсмических сотрясений силой 6 баллов и более оценивается как более низкая, чем в пределах участков первой и второй категории, были выделены зоны и узлы, примыкающие к зонам второй и первой категорий со стороны Восточно - Европейской платформы и Западно - Сибирской плиты, а так же участки в пределах горного сооружения Северного и Южного Урала между зонами и узлами второй категории.

Предполагается, что в пределах них вероятнее всего возникновение землетрясений с магнитудой порядка 3.0 - 4.0 и силой сотрясения порядка 4 – 5 баллов.

В качестве потенциально сейсмичных участков **четвертой категории**, в пределах которых вероятность сейсмических сотрясений силой 6 баллов и более оценивается как более низкая, чем в пределах участков первой и второй категории, были выделены зоны и узлы в пределах Восточно - Европейской платформы (ВЕП) и Западно - Сибирской плиты и тектонические узлы, образованные их пересечением.

Предполагается, что в пределах них, вероятнее всего, можно ожидать возникновения очагов землетрясений с магнитудой 2.0 - 3.0 и силой сотрясения в эпицентре до 3.0 - 4.0 баллов по шкале MSK - 64.

Из наиболее крупных зон можно выделить зоны геодинамического влияния субмеридиональных, Челябинского, Мурзинского, Серовско - Маукского разломов, флексурно - разрывные структуры ограничивающие Тюменско - Кустанайский и Восточно - Уральский прогибы, предполагаемые зоны нарушения сплошности и деформации земной коры, которые могут соответствовать долинам наиболее крупных рек таких, как Кама, Уфа, Белая, Тура, Тавда, Пышма, Исеть, Миасс и других.

В процессе построения этой схематической карты возникла необходимость уточнения положения эпицентров самого сильного за не инструментальный период сейсмологических наблюдений землетрясения 23.05.1798 года, магнитуда которого оценивается как 5.3, и самого сильного за инструментальный период наблюдений

Билимбаевского землетрясения.

В работе [12] эпицентр землетрясения 23.05.1798 года помещен приблизительно в 25 км к востоку от Перми в район деревни Насадка на р. Сылва, что соответствует западной границе Предуральского прогиба. В то же время на основании макросейсмического описания, приведенного в работах [2,3], можно предположить, что эпицентр этого события вероятнее всего мог (должен был) размещаться приблизительно в середине области, охваченной ощутимыми сотрясениями. Эта область согласно [2,3] вмещала в себя Пермский, Осинский, Кунгурский, Екатеринбургский и Верхотурский уезды тогдашней Пермской губернии. Следовательно, таким участком предположительно мог быть участок в районе долины р. Чусовая на интервале от района пос. Кын на юго - востоке до устья р. Койва на северо - западе, то есть приблизительно в 100 – 120 км к востоку от деревни Насадка. Этот район располагается в Западно - Уральской зоне надвигов и складчатости на западной границе Центрально - Уральского поднятия и по тектонической позиции и строению более подходит в качестве потенциально сейсмичного региона, чем Предуральский прогиб.

Эпицентр Билимбаевского землетрясения согласно [12] помещен в район железнодорожной станции Дружинино, в то время как участок наиболее сильных сотрясений, согласно [2,3], располагался приблизительно в 20 - 25 км севернее в долине р. Чусовая на отрезке от пос. Билимбай на юго - востоке до деревни Трека на северо-западе. Не исключено, что координаты эпицентра Билимбаевского землетрясения, вошедшие во все каталоги работ [3,11,12], были определены инструментально недостаточно точно с использованием редкой сети сейсмических станций, и может быть более правильно было бы в качестве эпицентральной принимать область проявления наиболее сильных землетрясений в долине р. Чусовая на интервале от пос. Билимбая до деревни Трека, то есть приблизительно на 20 - 25 км севернее инструментально определенного эпицентра.

В районе пос. Билимбай, в 10 - 15 - 20 км севернее него на основании анализа геолого - геофизических и тектонических данных можно предполагать существование крупного тектонического узла, который может рассматриваться, как структура, в которой вероятность возникновения очагов землетрясений выше, чем в смежных с ним участках земной коры.

В результате выполненного предварительного районирования в пределах контуров потенциально сейсмичных областей на картах «А», «В» и «С» ОСР-97 были выделены участки, где наиболее вероятны сейсмические сотрясения силой 6 и более баллов. Их площадь меньше площади вышеупомянутых потенциальносейсмичных зон. В то же время, были выделены зоны, где вероятность возникновения сейсмических сотрясений силой 6 баллов и более оценивается как несколько более высокая, чем на картах ОСР - 97. В частности к ним относится тектонический узел, охватывающий южную часть территории Екатеринбурга. В пределах него на основании имеющихся данных не исключается возможность возникновения очага землетрясения с магнитудой до 4.5, а возможно и до 5.0 и силой сотрясения в эпицентре 6 баллов и более.

Отличие полученной предварительной карты детального сейсмического районирования от ранее опубликованных [10, 11] в том, что:

а) при ее построении использовался уточненный каталог землетрясений Урала, взятый из работы [3], б) был привлечен более широкий набор геолого - геофизических материалов,

в) были уточнены размеры и сейсмопотенциал потенциально сейсмичных зон и участков. Карта совмещена с картами ОСР - 97 для удобства сопоставления и пользования.

После доработки вышеупомянутой карты детального сейсмического районирования центральной части Уральского региона в соответствии с замечаниями ведущих специалистов в области сейсмического районирования, рассмотрения ее в соответствующих инстанциях и утверждения

Межведомственной комиссией по сейсмостойкому строительству при СМ РФ, она может стать временным руководящим документом для проектировщиков и строителей.

Литература

1. Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации ОСР – 97. Комплект карт и другие материалы для строительных норм и правил (СН и П) «Строительство в сейсмичных районах». М. февраль 1998.14 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. *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.
4. Сейсмическое районирование территории СССР. М. Наука. 1980. 306 с.
5. Детальное сейсмическое районирование в горных областях. Отв. редактор К.Е. Калмурзаев. Фрунзе, Илим. 1984. 299с.
6. *Гузовский Л.А.* Распространение древних кор выветривания на Урале // Материалы по геоморфологии Урала, под редакцией Герасимова И.П., выпуск 2. М. Недра. 1971, с.100 – 112.
7. Геология СССР, том XII, часть 1,книга 2, М. Недра. 1969. 304 с.
8. Новейшая тектоника Урала, под редакцией А.П. Сигова и В.А. Сигова, Издательство Саратовского университета, 1975, 104 с.
9. *Буданов Н.Д.* Гидрогеология Урала. М. Недра. 1964. 304 с.
10. *Гуляев А.Н., Дружинин В.С.* Качественные критерии оценки степени потенциальной сейсмической опасности и схематическое сейсмическое районирование Среднего и прилегающих частей Северного и Южного Урала.// Уральский геофизический вестник, № 1, 2000, с.47 - 51.
11. *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. 124с.
12. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР (с древнейших времен до 1975 г.) / Отв.ред. Н.В. Кондорская, Н.В. Шебалин. М.: Наука. 1977. 535 с.
13. *Дружинин В.С., Гуляев А.Н., Колмогорова В.В., Парыгин Г.И., Уткин В.И., Кашубин С.Н.* О тектонической природе Уральских землетрясений // Геофизика, № 3, 2004, с. 56 –65.
14. *Дружинин В.С., Каретин Ю.С., Кашубин С.Н.* Глубинное геокартирование Уральского региона по данным ГСЗ // Региональная геология и металлогения, С - Петербург, изд. ВСЕГЕИ, 2000, №10, с.152 - 161.
15. *Дружинин В.С.* Схематическая разломно - блоковая модель литосферы Среднего Урала // Геофизика XXI столетия, М, Научный мир, 2003,с. 83 – 90.

О СОВМЕСТНОМ ВЛИЯНИИ ФИЛЬТРАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ПАЛЕОКЛИМАТА НА ТЕПЛОВОЕ ПОЛЕ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Демежко Д.Ю., Рывкин Д.Г. – Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург
Голованова И.В. - Институт геофизики УНЦ РАН, Уфа

Аннотация. Сформулированы основные принципы моделирования теплового поля верхней части земной коры с учетом влияния климатических изменений прошлого и вертикальной фильтрации подземных вод. Анализируются одномерные модели теплообмена для различных гидрогеологических условий. Получено аналитическое решение стационарной задачи теплового сопряжения при фильтрации жидкости в проницаемом слое конечной мощности с переменной скоростью.

ABOUT JOINT INFLUENCE OF GROUND WATER FLOW AND PALEOCLIMATE ON THE THERMAL FIELD OF THE UPPER EARTH'S CRUST

Demezhko D.Yu., Ryvkin D.G. – Institute of Geophysics, UB of RAS, Yekaterinburg
Golovanova I. V. - Institute of Geophisics, USC of RAS, Ufa

Abstract. Basic simulation principles of the thermal field of earth crust's upper part by taking into account the influence of past climatic changes and vertical groundwater filtration have been formulated. One - dimensional models of heat exchange are being analized for various hydrogeological conditions. The analytical decision of a stationary thermal conjugation problem has been received for the fluid's filtration in the permeable layer of a final thickness with variable

Введение

Совокупность факторов, определяющих тепловое поле верхней части земной коры, условно можно разделить на внутренние и внешние. К внутренним относятся источники тепла в коре (U, Th, K) и мантии, а также теплофизические свойства пород. К внешним – климатически обусловленные изменения температуры земной поверхности, фильтрация метеорных вод в глубокие горизонты (ниже зоны аэрации), рельеф, альбедо дневной поверхности, наличие водоемов и др.

Наибольший интерес представляет исследование совместного влияния палеоклимата (ПК) и подземных вод (ПВ) на распределение температуры в верхней части земной коры. С одной стороны, это наиболее существенные из внешних факторов, которые не удается подавить, например, путем латерального усреднения данных (если задача состоит в оценке глубинного теплового потока) С другой – информация о ПК и ПВ, содержащаяся в современном тепловом поле, сама по себе представляет ценность.

Реконструкция палеоклимата по геотермическим данным – один из наиболее перспективных методов палеоклиматологии [Lachenbruch and Marshall, 1986, Beltrami and Mareshal, 1991, Дучков, Соколова, 1998, Демежко, 2001].

В последнее время повысился интерес к исследованиям теплового поля как индикатора движений подземных вод [см. обзорную статью Anderson, 2005]. Однако физическое понимание проблемы, на наш взгляд, сохранилось на уровне 1960 - 1970г.г., когда была создана основная теоретическая база [Bredehoeft and Papadopulos, 65, Огильви, 1972, Лялько и др., 1972]. В частности, сохранилась неоднозначность выбора граничных условий. Другая проблема, практически полностью игнорируемая как исследователями палеоклимата, так и гидрогеологии, состоит в разделении палеоклиматического и гидрогеологического влияний, в общем случае не аддитивных.

1. УРАВНЕНИЕ ТЕПЛОПЕРЕНОСА И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

При совместном действии вынужденной конвекции и теплопроводности вектор теплового потока в пористой среде определяется, как сумма двух векторов [Франк, Мизес, 1937, Карслоу, Егер, 1964]:

$$\vec{q} = \vec{q}_1 + \vec{q}_2 = c_f r_f \vec{V} T - l_m \vec{\nabla} T \qquad (1)$$

Конвективная составляющая $\boldsymbol{q_1}$ пропорциональна скорости фильтрации и связана с переносом тепла при движении жидкости под действием внешних сил. Скорость фильтрации подземных вод в однородной пористой среде $\boldsymbol{V}$ связана со скоростью движения воды в сообщающихся порах $\boldsymbol{v}$ и пористостью пород h соотношением $\boldsymbol{V} = h\boldsymbol{v}$ [Аравин, Нумеров, 1953].

Из определения (1) видно, что теплоперенос в среде может происходить и при отсутствии температурного градиента ÑT, т.е. при постоянной температуре. Величина q_1 пропорциональна также теплоемкости единицы массы c_f, плотности r_f и температуре T жидкости. Кондуктивная составляющая $\boldsymbol{q_2}$, согласно закону Фурье, пропорциональна и направлена противоположно градиенту температуры и пропорциональна теплопроводности пород матрицы l_m.

Уравнение переноса тепла при отсутствии источников, в соответствии с определением (1), имеет вид:

$$div\ \vec{q} + c_m r_m \frac{\partial T}{\partial t} = 0 \quad , \qquad (2)$$

где t - время, $c_m r_m$ – теплоемкость (при постоянном давлении) единицы объема скелета породы. При малой пористости пород теплоемкостью флюида обычно пренебрегают.

Скорость фильтрации входит только в координатную часть дифференциального оператора уравнения (2). Поэтому фильтрация влияет и на стационарное, и на нестационарное поле температур. А климатические изменения теплового поля связаны с нестационарным граничным условием на земной поверхности. Поэтому будем искать решение уравнения теплопереноса (2) в виде суммы:

$$T(z,t) = T_V(z) + U_V(z,t) \quad , \qquad (3)$$

где первое слагаемое описывает влияние фильтрации на стационарное тепловое поле, а второе - влияние течения подземных вод на распространение в земной коре палеоклиматического сигнала.

1.1 Стационарное тепловое поле с учетом фильтрации

В ряде работ [Bredehoef and Papadopulos, 1965, Лялько и др., 1972, Огильви, 1972, Taniguchi et al., 1999] при моделировании теплового режима с учетом фильтрации решается одномерное стационарное уравнение, к которому сводится (2), при постоянных тепловых параметрах среды и скорости течения

$$l_m \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = c_f r_f V \frac{\partial T}{\partial z} \quad , \qquad (4)$$

В уравнении (4) и далее индекс “$\boldsymbol{v}$” у температуры опускаем, z – вертикальная координата. Если при нисходящей фильтрации ($V > 0$), температура растет с глубиной ($\partial T/\partial z>0$), то из (4) следует, что $\partial^2 T/\partial z^2>0$, т.е. термограмма выпукла в направлении оси глубин.

При решении обыкновенного дифференциального уравнения (4) на границах исследуемой области обычно задают постоянные температуры. Такие граничные условия оправданы, если фильтрация осуществляется в конечной слабопроницаемой области водообмена, ограниченной двумя мощными водоносными горизонтами [Лялько и др., 1972], действующими как термостат. Если одна из границ – дневная поверхность – на ней также целесообразно задавать постоянную температуру. В этом случае термостатирование на уровне установившейся среднегодовой температуры земной поверхности осуществляется солнечным тепловым потоком, который на четыре порядка выше геотермического. Для простоты примем за начало температурной шкалы $T(z)$ температуру на верхней границе области фильтрации. Решение уравнения (4) при $0 \le z \le h$

$$T(z) = T_h \frac{e^{Pe\,(z/h)} - 1}{e^{Pe} - 1}, \qquad Pe = \frac{c_f r_f V h}{l_m}, \qquad (5a)$$

где T_h– температура нижней границы области фильтрации. Число Пекле Pe харак-

теризует относительный вклад в теплоперенос величины конвективной составляющей теплового потока q_1 по сравнению с кондуктивной q_2. Равенство $Pe = 1$ определяет критическую скорость фильтрации $V_c = l_m/(c_f r_f h)$ такую, что при $V > V_c$ в исследуемой области преобладает конвективный перенос тепла.

Зависимости $T(z)$ при различных значениях числа Пекле приведены на рис.1.

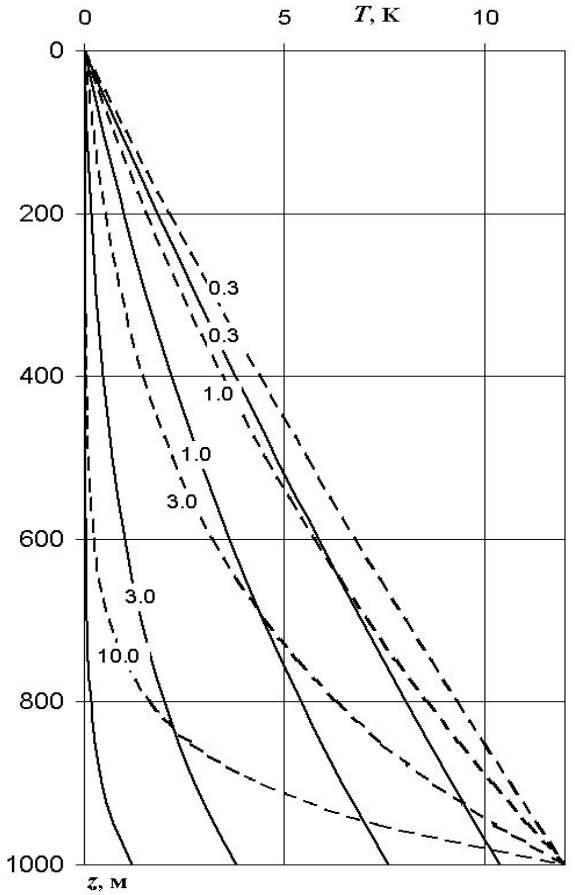


Рис.1 Изменение температуры с глубиной в случае нисходящей фильтрации с постоянной скоростью при различных граничных условиях на нижней границе: пунктир – постоянная температура, сплошные линии - температурный градиент (тепловой поток). Шифр кривых - значения числа Пекле *Pe*.

В отсутствии мощного водоносного горизонта на нижней границе фильтрующаяся с верхних горизонтов холодная вода рано или поздно понизит ее температуру, равно как и температуру нижележащих пород, не охваченных фильтрацией. В этом случае на нижней границе логичнее задать либо тепловой поток, либо связанный с ним геотермический градиент G_0. Решение уравнения (4) тогда будет иметь вид:

$$T(z) = G_0 h \frac{e^{-Pe}(e^{Pe(z/h)} - 1)}{Pe} \quad . \qquad (5б)$$

В соответствии с этим решением температура на нижней границе под влиянием фильтрации уменьшится на величину

$$\Delta T = G_0 h \left(1 - \frac{1 - e^{-Pe}}{Pe}\right). \qquad (6)$$

Отметим, что полное стационирование теплового поля согласно второму граничному условию (при $z = h$ задается поток) практически не реализуемо, так как требует бесконечно большого времени на изменение температуры во всем полупространстве ниже области водообмена.

Приведенная оценка изменения температуры на нижней границе (6) является оценкой сверху. Эти особенности имеют важные методические следствия: а) температурные отклонения внутри области фильтрации от невозмущенного движением подземных вод распределения температур являются мерой интенсивности водообмена; б) те же температурные отклонения ниже области водообмена несут информацию о длительности процесса фильтрации.

В реальных геологических условиях вертикальная компонента скорости фильтрации уменьшается с глубиной.

Рассмотрим этот случай. Пусть фильтрация жидкости происходит только в проницаемом приповерхностном слое однородной пористой среды мощностью h, а нижележащие породы непроницаемы.

Начало прямоугольной системы координат выберем на плоской поверхности проницаемого слоя, ось x направим вдоль этой поверхности, а ось z вертикально вниз. Фильтрующую жидкость будем считать несжимаемой, а твердую матрицу пород недеформируемой.

Стационарную систему двумерных

уравнений теплопереноса (тепловые параметры внутри каждого слоя постоянны), с учетом (1) и (2), запишем в виде:

$$l_m\left(\frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2}\right)=c_f\, r_f\left(V_x\frac{\partial T_1}{\partial x}+V_z\frac{\partial T_1}{\partial z}\right), \quad (7)$$

$$\frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T_2}{\partial z^2}=0 \quad (8)$$

где V_x и V_z- компоненты вектора скорости фильтрации. Предполагается, что в области водообмена ($0 \le z \le h$, индекс “1”) температуры жидкости и пород твердой матрицы T_1 одинаковы.

Пусть на земной поверхности поддерживается постоянная температура, которую примем за начало отсчета

$$T_1(x,0) = 0 \ , \quad (9)$$

а в непроницаемых породах, вдали от границы водоупора $z = h$ - геотермический градиент,

$$\left.\frac{\partial T_2}{\partial z}\right|_{z\to\infty} = G_0 \ , \quad (10)$$

связанный с глубинным тепловым потоком. На контакте проницаемых и непроницаемых пород $z = h$ температура и нормальная составляющая теплового потока должны быть непрерывны

$$T_1(x,h) = T_2(x,h) \ , \quad (11)$$

$$\left(c_f\, r_f V_z T_1 - l_m\frac{\partial T_1}{\partial z}\right)_{z=h} = -\, l_r\left.\frac{\partial T_2}{\partial z}\right|_{z=h} \ , \quad (12)$$

где l_r – теплопроводность непроницаемых пород. Равенство (12) является следствием определения теплового потока (1) и может быть получено непосредственно из системы уравнений теплопереноса (7) - (8) [Фейнман, 1966].

Допустим, что до возникновения фильтрации температура в проницаемом приповерхностном слое земной коры зависит только от глубины, т.е. изотермами являются плоскости z = const.

Конвективный теплоперенос в направлении, параллельном изотермической поверхности, (даже с переменной вдоль поверхности скоростью течения) не изменит ее температуры. Поэтому, если вертикальная компонента вектора скорости жидкости V_z зависит только от глубины, а горизонтальная компонента V_x от глубины не зависит, конвективный теплоперенос может изменить температуру плоскостей z = const, но сохранит их изотермичность, т.е. новое стационарное тепловое поле также будет одномерным. Выберем вертикальную компоненту скорости линейно убывающей с глубиной и равной нулю на непроницаемой границе $z = h$

$$V_z = V_s(1 - z/h) \ , \quad (13)$$

а горизонтальную компоненту скорости (не зависящую от глубины) подберем так, чтобы, выполнялось уравнение неразрывности

$$\frac{\partial V_x}{\partial x}+\frac{\partial V_z}{\partial z} = 0.$$

.

В этом случае $V_z(h) = 0$ и непрерывность вертикальной составляющей теплового потока при $z = h$, согласно (12) и (13) сводится к условию кондуктивного теплового сопряжения

$$l_m\frac{\partial T_1}{\partial z} = l_r\frac{\partial T_2}{\partial z} \ \ при \ \ z = h \ . \quad (14)$$

Соответствующее (7) двумерное нестационарное уравнение теплопереноса, и подобная (13) зависимость компонент вектора скорости несжимаемой жидкости от координат использовалась в исследовании теплопередачи при идеальном торможении потока плоской непроницаемой изотермической границей [см. Шехтер, 1971]. В работе приведено точное решение этой двумерной нестационарной задачи – распределение температуры, зависящее только от одной, перпендикулярной к непроницаемой границе координаты.

Можно показать, что системе уравнений теплопереноса (7) - (8), условиям (9) - (11) и (14) при зависимости скорости от координат (13) удовлетворяет одномерное распределение температуры, зависящее только от глубины z

$$T_1(z) = G_0 h \frac{l_r}{l_m} \frac{\sqrt{p}}{2} \frac{erf(\sqrt{Pe_z}) - erf(\sqrt{Pe_z}(1 - z/h))}{\sqrt{Pe_z}}, \; 0 \le z \le h,$$

$$T_2(z) = G_0 h \frac{l_r}{l_m} \frac{\sqrt{p}}{2} \frac{erf(\sqrt{Pe_z})}{\sqrt{Pe_z}} + G_0(z-h), \; z > h, \qquad , \qquad (15)$$

$$Pe_z = \frac{c_f r_f V_m h}{l_m}.$$

где *erf(u)* - интеграл вероятности. Индексом “z” в (15) и далее отмечены параметры, связанное с переменной по глубине зоны водообмена скоростью нисходящей фильтрации $V_z = V_s\,(1\text{-}z/h)$.

Зависимости $T_{1,2}(z)$ для переменных скоростей фильтрации и $l_m = l_r$ приведены на рис. 2.

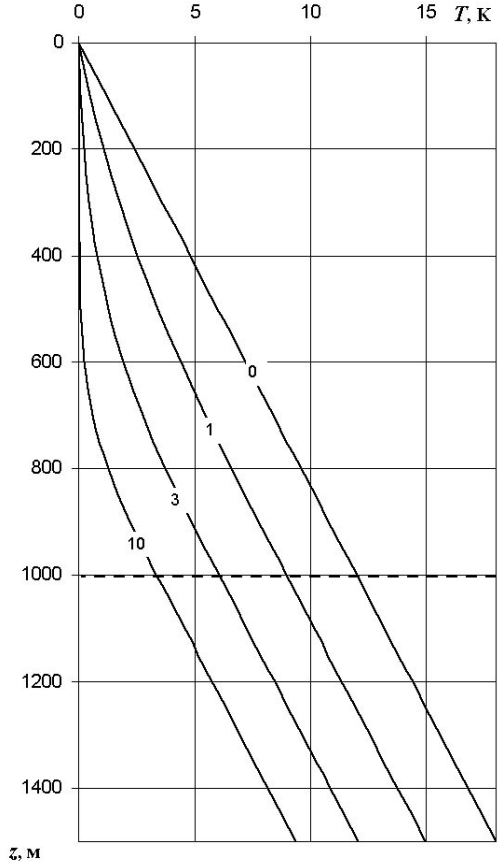


Рис.2 Изменение температуры с глубиной при переменной скорости вертикальной фильтрации. Шифр кривых – значения числа Пекле Pe_z.

Число Пекле Pe_z соответствует средней скорости течения $V_m = V_s/2$. Отметим, что температура в проницаемом слое $T_1(z)$ является решением одномерного уравнения (4) при линейном уменьшении, согласно (13), скорости фильтрации с глубиной.

Рассмотрим предельные случаи. При малых скоростях фильтрации (Pe_z <<1) из (15) следует:

$$T_1(z)\big|_{Pez \to 0} = \frac{l_r}{l_m} G_0 z$$

$$T_2(z)\big|_{Pez \to 0} = \frac{l_r}{l_m} G_0 h + G_0(z-h) \qquad .$$

Это - известное решение “кондуктивной” стационарной задачи теплового сопряжения в кусочно - однородной двухслойной среде при граничных условиях (9) - (10).

В другом предельном случае больших скоростей фильтрации (Pe_z >> 1) также получим ожидаемый результат - постоянную температуру, равную температуре верхнего горизонта во всей зоне водообмена и линейно растущую с глубиной в непроницаемых породах.

1.2 Эффективная теплопроводность

В слабопроницаемых кристаллических породах движения подземных вод приурочены к зонам тектонических нарушений. Встречаются ситуации, когда в пределах небольшого района (например, рудного поля) зоны с нисходящей фильтрацией чередуются с зонами восходящей [Демежко, 2001]. Возможно, это происходит под влиянием современных движений отдельных блоков пород. Нисходящий поток метеорных вод охлаждает породы на глубине *h*, где осуществляется горизонтальный переток. Температура пород и находящихся с ними в тепловом равновесии подземных вод описывается уравнениями (5б) либо (15) и определяет “нижнее” граничное ус-

ловие для восходящего потока. Если в регионе установилась подобная циркуляция, можно определить средний по глубине зоны водообмена h геотермический градиент

$$G_1 = \frac{1}{h}\int_0^h \frac{\partial T_1}{\partial z}dz = \frac{T_1(h)}{h}. \qquad (16)$$

Полагая, что стационарный кондуктивный поток в слое, охваченном циркуляцией, при латеральном усреднении равен глубинному тепловому потоку, введем эффективную теплопроводность зоны водообмена, зависящую от скорости фильтрации, при помощи равенства $q_0 = l_r G_0, = l_{эф.} G_1$.

При заданном на горизонте $z = h$ градиенте и постоянной скорости нисходящей фильтрации из (5б) получим:

$$G_1 = G_0 \frac{1-e^{-Pe}}{Pe} = F_{Pe} G_0,\ l_{эф} = \frac{l_r}{F_{Pe}} \quad , (17а)$$

а из решения задачи теплового сопряжения (15) при скорости фильтрации, убывающей с глубиной и $l_m = l_r$

$$G_{1z} = G_0 \frac{\sqrt{p}}{2}\frac{erf(\sqrt{Pe_z})}{\sqrt{Pe_z}} = F_{Pez} G_0, \qquad (17б)$$

$$l_{эфz} = \frac{l_r}{F_{Pe_z}}$$

Зависимости эффективной теплопроводности от чисел Pe и Pe_z приведены на рис. 3.

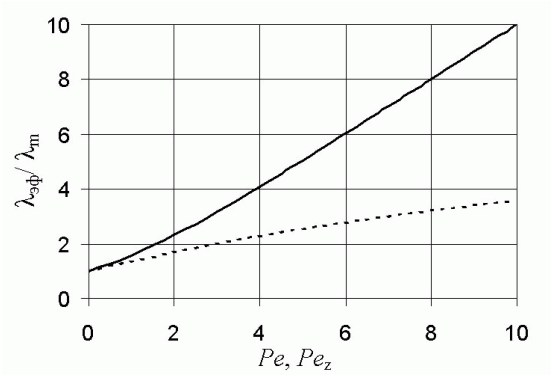


Рис.3. Зависимости эффективной теплопроводности при фильтрации с постоянной скоростью (сплошная линия) и линейно уменьшающейся с глубиной (пунктир) скоростями от соответствующих чисел Пекле.

Так же однозначно связаны с числами Пекле поправочные множители F_{Pe} и F_{Pez}, (они не превышают единицы и уменьшаются при возрастании скорости течения), описывающие уменьшение кондуктивного градиента при нисходящей фильтрации. Их можно назвать множителями (факторами) Пекле. Из сравнения (6) и (15) с (17) видно, что эти множители определяют уменьшение температуры на нижнем горизонте после “включения” нисходящей фильтрации. Следовательно, уменьшение температуры на горизонте $z = h$

$$\Delta T = (1-F)T(h) \quad , \qquad (18)$$

где F - соответствующее число Пекле.

1.3 Влияние фильтрации на нестационарное тепловое поле.

Для учета влияния фильтрации на изменения теплового поля, связанные с эволюцией температуры земной поверхности, формирующей климат, рассмотрим одномерное нестационарное уравнение теплопереноса (2):

$$l_m \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} - c_f r_f V \frac{\partial U}{\partial z} = c_m r_m \frac{\partial U}{\partial t} \quad , \qquad (19)$$

где $U(z,t)$ – нестационарная температура. При климатических колебаниях температуры поверхности в распространении на глубину возникающих температурных аномалий участвует как кондуктивная, так и конвективная компоненты.

Пусть температура поверхности – гармоническая функция времени

$$U(0,t) = D\cos(w\,t + j) \quad , \qquad (20)$$

где D – амплитуда, w - частота, j - фаза температурного сигнала.

Тогда, при постоянной скорости фильтрации V, уравнение (20) имеет в однородном полубесконечном массиве пород $z \geq 0$ решение, описывающее установившиеся и затухающие с глубиной гармонические колебания температуры с периодом $\tau = 2p/w$,

$$U(z,t) = De^{-k_1 z}\cos(wt - k_2 z + j),$$
$$k_i = \frac{k_0}{w_i},\ i = 1,2,\ \ k_0 = \sqrt{\frac{w}{2a_m}} = \sqrt{\frac{p}{a_m t}}, \qquad (21)$$

$$w_1 = ((b^4+1)^{1/2} + b^2)((b^4+1)^{1/2} + b^2)^{1/2} + 2^{1/2} b),$$
$$w_2 = (b^4+1)^{1/2} + b^2,$$
$$b = \frac{V_*}{2\sqrt{a_m w}} = \sqrt{\frac{V_*^2 t}{8pa_m}}, V_* = \frac{c_f r_f}{c_m r_m} V.$$

В выражении (21) a_m – температуропроводность пород матрицы, V_* - эффективная скорость фильтрации, учитывающая различие тепловых параметров скелета породы и жидкости. Коэффициент k_1 характеризует степень затухания амплитуды сигнала с глубиной, k_2 – растяжение температурного профиля.

Если фильтрация отсутствует (V = 0, т.е. $b = 0$), то коэффициенты k_1, k_2 и k_0 в выражении (21) становятся равными, и оно совпадает с известной зависимостью

$$U(z,t) = De^{-k_0 z}\cos(wt - k_0 z + j), \qquad (22)$$

описывающей распространение гармонических колебаний в твердом теле при кондуктивном теплопереносе [Карслоу и Егер, 1964, Любимова, 1968]. Решение (21) эквивалентно полученному ранее [Parkhomov and Zui, 1999]. Но представление (21), как нам, кажется, более наглядно. По форме оно совпадает с решением кондуктивной задачи (22), что существенно облегчает сравнение полученных решений.

Влияние фильтрации на распространение гармонических колебаний температуры поверхности описывается единственным параметром b - отношением эффективной скорости жидкости в пористой среде V_* к скорости кондуктивного распространения температурной волны

$$V_w = 2\sqrt{a_m w} = \sqrt{\frac{8pa_m}{t}}. \qquad (23)$$

Вертикальные температурные профили при гармонических колебаниях температуры поверхности с периодами 100 и 1000 лет в моменты времени ± τ/4 и ± τ приведены на рис.4. При температуропроводности a_m = 32м^2/год = 1×10^{-6}м^2/с и периоде колебаний τ = 10000 лет кондуктивная скорость V_w = 0.28 м/год. Поэтому при значениях скоростей фильтрации, характерных для слабопроницаемых пород (~ 0.01 м/год), коэффициент b довольно мал (0.035). Из выражения (23) видно, что V_w медленно уменьшается при увеличении периода колебаний. Следовательно, только при колебаниях температуры земной поверхности с периодами более 10^5 - 10^6 лет фильтрация может существенно повлиять на распространение климатического сигнала. Увеличение скорости нисходящей фильтрации приводит к росту глубины проникновения климатического сигнала. Из сравнения (21) и (22) следует, что амплитуды гармонических колебаний при кондуктивном теплопереносе и переносе тепла с учетом фильтрации совпадают на

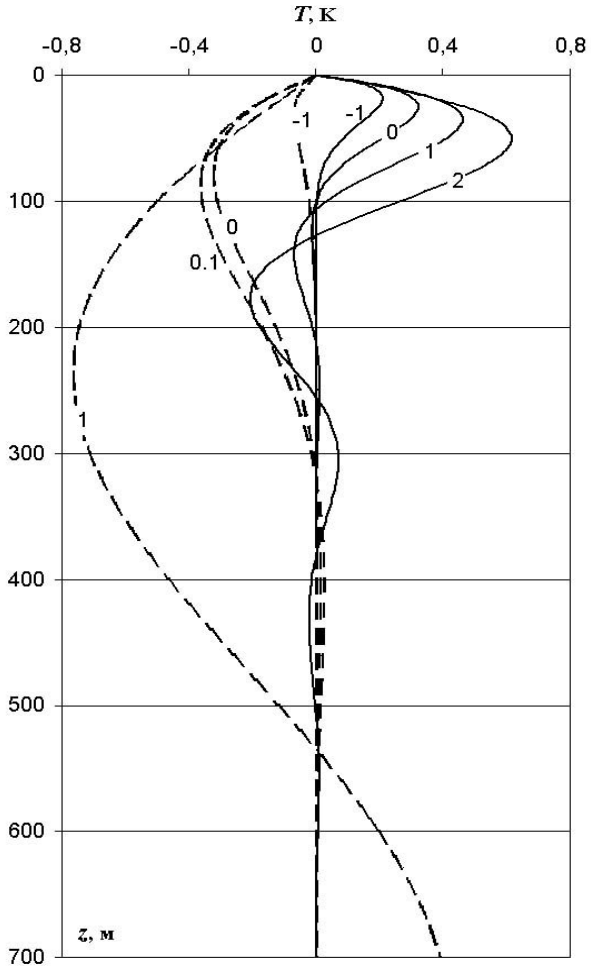


Рис.4. Распространение гармонических колебаний температуры земной поверхности с периодами 100 (сплошные линии) и 1000 лет (пунктир) на глубину. Шифр кривых – скорость вертикальной фильтрации (м/год): “+” - нисходящей, “-“ - нисходящей.

соответственных глубинах z_0 и, z_1, если $k_0 z_0 = k_1 z_1$. Используя выражение (21) получим:

$$z_1 = \frac{k_0}{k_1} z_0 = ((b^4+1)^{1/2} + b^2)\times$$
$$\times((b^4+1)^{1/2} + b^2)^{1/2} + 2^{1/2} b)z_0, \qquad (24)$$
$$z_1 \approx (1 + 2^{1/2} b + 1.5 b^2) z_0 \quad при \;\; b^2 << 1.$$

Из равенства (24) видно, что при совместном действии теплопроводности и нисходящей фильтрации ($b > 0$), температурная волна проникает глубже ($z_1 > z_0$). Восходящая фильтрация, напротив, уменьшает глубину проникновения температурной волны.

Введем эффективную скорость распространения волны $V_{эф}$, характеризующую совместное влияние фильтрации и теплопроводности, а также эффективную температуропроводность $a_{эф}$. Первая определяется из (21), как скорость движения фазы гармонического сигнала $V_{эф} = w / k_2$.[Карлов, Кириченко, 2003].

Решив уравнение (23) относительно a_m, заменим в решении V_w на $V_{эф}$ и a_m на $a_{эф}$ и определим коэффициент эффективной температуропроводности:

$$a_{эф} = \frac{V_{эф}^2}{2w} = \frac{w}{2k_2^2(V_*, w, a_m)} \; . \qquad (25)$$

Можно отметить, что в отличие от введенной нами ранее эффективной теплопроводности, эффективная температуропроводность зависит от частоты климатического сигнала, т.е. не является только свойством среды. Для реального климатического сигнала, имеющего в своем спектре целый ряд гармоник, эффективная температуропроводность описывается через групповую эффективную скорость.

С другой стороны, формально коэффициент $a_{эф}$ мы можем определить, сравнивая параметры затухания сигнала с глубиной при наличии фильтрации и в ее отсутствие, – т.е через коэффициент k_1. И это будут две различные температуропроводности.

Таким образом, часто употребляемый в случаях, когда имеется несколько механизмов переноса тепла термин «эффективная температуропроводность», не имеет определенного физического смысла.

2. ВЛИЯНИЕ ФИЛЬТРАЦИИ НА ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКУЮ ИНТЕРПРЕТАЦИЮ ГЕОТЕРМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Для удобства анализа, в соответствие с принятой моделью, эффект искажающего влияния фильтрации на температурное поле можно разделить на стационарный и нестационарный. В температурном поле палеоклиматический сигнал и стационарный искажающий эффект фильтрации аддитивны, поэтому последний можно просто вычесть из измеренного распределения температур. Температурные реконструкции весьма чувствительны к стационарным искажающим эффектам. Например, неучтенная фильтрация с постоянной скоростью 0.05 м/год в интервале 0 - 300 м приводит к появлению фиктивных аномалий температурной истории амплитудой до 5 К [Демежко, 2001].

Учет нестационарного эффекта сложнее. С одной стороны, климатический сигнал распространяется либо на большие глубины (в случае нисходящего потока флюида), либо на меньшие (при восходящем потоке).

При реконструкции температурной истории земной поверхности нарушается датировка палеоклиматических событий – временна́я шкала растягивается или сжимается. Этот эффект пропорционален отношению эффективной температуропроводности к кондуктивной температуропроводности матрицы $a_{эф}/a_m = (k_0/k_2)^2$.

На рис.5 показано как меняется временная шкала при изменениях кондуктивной температуропроводности и скорости фильтрации.

При скоростях фильтрации менее 0.1 м/год для t = 1000 лет и 1 м/год для t = 10 лет временная шкала определяется исключительно кондуктивной температуропроводностью.

Увеличение скоростей V_* на порядок и более от указанных значений приводит к тому, что временная шкала начинает зави-

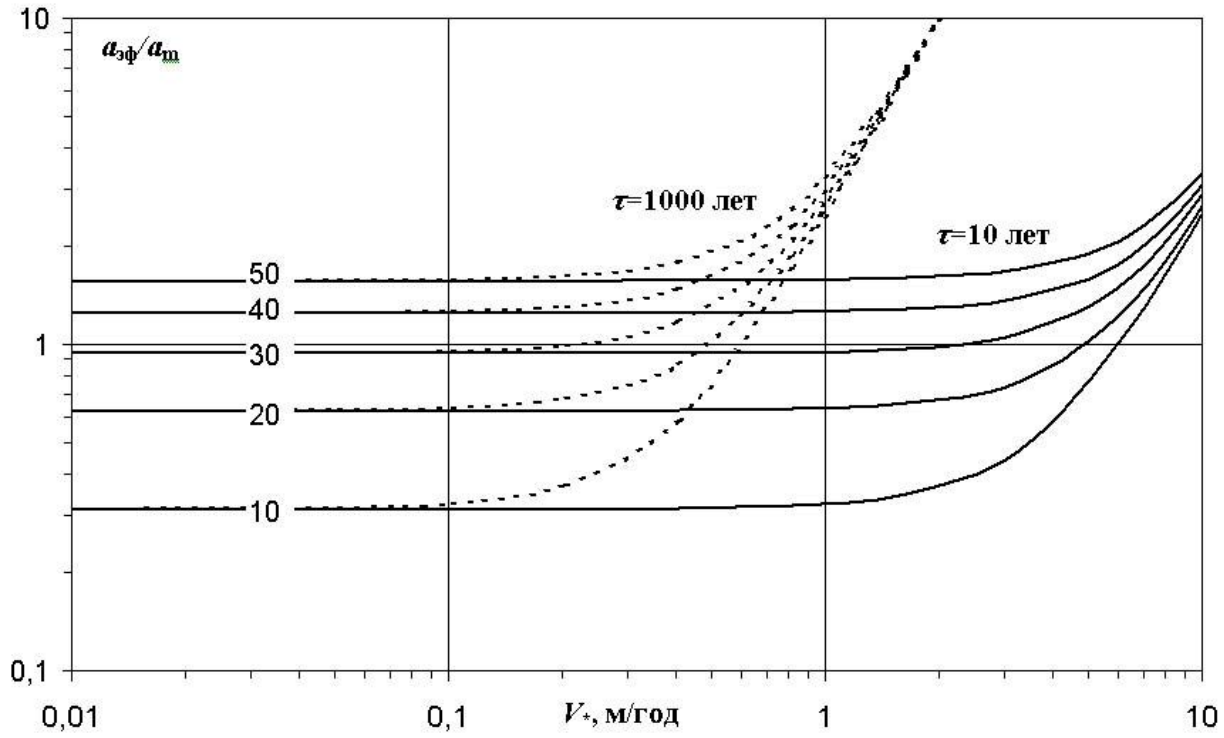


Рис.5. Относительное растяжение временной шкалы реконструированных температурных историй, равное отношению $a_{эф}/a_m$, в зависимости от скорости нисходящей фильтрации подземных вод. Приведены примеры для двух гармонических колебаний температуры земной поверхности с периодами 10 и 1000 лет. Шифр кривых – температуропроводность матрицы (м^2/год).

сеть только от фильтрации (кривые сближаются). Область совместного влияния тепловых свойств среды и фильтрующегося в ней флюида на процесс распространения климатического сигнала не превышает одного порядка скоростей.

Помимо искажения масштабов временнóй шкалы, нестационарный эффект фильтрации проявляется также в искажении амплитуд палеоклиматических событий. Коэффициенты k_1 и k_2 в уравнении (21), ответственные за ослабление сигнала с глубиной и растяжение температурного профиля, различно зависят от скорости фильтрации (рис.6).

Чувствительность коэффициента k_1 к фильтрации на порядок выше. При этом характер кривых $k_1(V_*)$ и $k_2(V_*)$ примерно одинаков.

В широком диапазоне изменения скоростей фильтрации для гармонического сигнала любой частоты можно выделить три области: в первой ($k_1/k_0 \approx k_2/k_0 \approx 1$) нестационарные искажающие эффекты практически не влияют на климатический сигнал, в последней ($k_1/k_0 \approx k_2/k_0 \approx 0$) – климатический сигнал распространяется без изменения фазы и амплитуды.

Между ними располагается сравнительно узкая, не более одного порядка скоростей фильтрации, промежуточная область, в которой доля кондуктивного и конвективного механизмов распространения климатического сигнала сопоставимы.

Найденная закономерность теоретически подкрепляет известный методический прием: использовать для палеоклиматической интерпретации лишь те термограммы, которые не обнаруживают очевидных признаков фильтрации.

Влияние фильтрации в этих случаях с большой долей вероятности ничтожно мало и может не учитываться. Напротив, при использовании геотермических данных в гидрогеологических исследованиях необходимо учитывать всю температурную историю.

По мере роста скорости фильтрации в

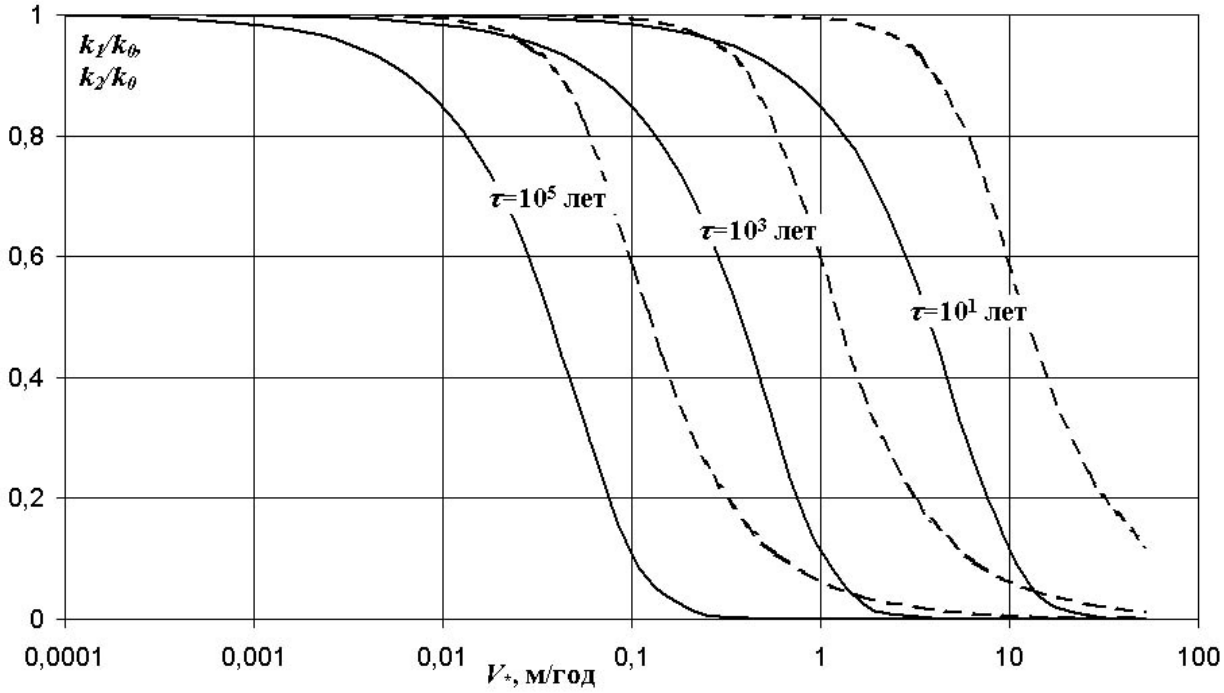


Рис.6. Изменение нормированных коэффициентов k_1/k_0 (сплошные линии) и k_2/k_0 (пунктир) в зависимости от скорости фильтрации подземных вод. Приведены примеры для трех гармонических колебаний температуры земной поверхности с периодами 10^5, 10^3 и 10^1 лет.

искажении уже гидрогеологического сигнала все большую роль начинают играть высокочастотные (и одновременно высокоамплитудные) гармоники температурной истории – годовые и суточные.

ВЫВОДЫ

1. Совместное влияние фильтрации подземных вод и палеоклимата на температурное поле верхней части земной коры можно разделить на стационарную и нестационарную компоненты, первая из которых описывает влияние фильтрации на стационарное тепловое поле, вторая - влияние течения подземных вод на распространение колебаний температуры земной поверхности.

2. При моделировании стационарной фильтрации выбор граничных условий соответствующих уравнений диктуется геологическим строением. Наиболее популярное задание постоянной температуры на нижней границе оправдывается лишь при наличии мощного водоносного горизонта. В противном случае (что более вероятно) нисходящие вертикальные движения подземных вод транслируют температурные условия на верхней границе на глубину. Температурные отклонения внутри области фильтрации от невозмущенного движением подземных вод распределения температур являются мерой интенсивности водообмена, а ниже области фильтрации - несут информацию о длительности процесса.

3. Стационарную систему, в которой наблюдается чередование восходящих и нисходящих движений подземных вод, можно описать параметром эффективной теплопроводности, учитывающим как кондуктивный, так и конвективный механизмы теплообмена. В то же время понятие “эффективная температуропроводность”, используемое при решении нестационарных задач, при одновременном действии нескольких механизмов теплопереноса не имеет определенного физического смысла.

4. В зависимости от частоты климатического сигнала существует критическое значение скорости фильтрации, до достижения которого климатический сигнал практически не искажается нестационарной компонентой. В докритическом диапа-

зоне скоростей фильтрации наибольший эффект в искажение палеоклиматического сигнала вносит стационарная компонента. Так как палеоклиматический сигнал и стационарная компонента фильтрации аддитивны, ее можно вычесть из измеренного распределения температур.

Напротив, при использовании геотермических данных в гидрогеологических исследованиях необходимо учитывать всю температурную историю.

По мере роста скорости фильтрации в искажении уже гидрогеологического сигнала все большую роль начинают играть высокочастотные (и одновременно высокоамплитудные) гармоники температурной истории – годовые и суточные.

Исследования выполнялись при поддержке Российского фонда фундаментальный исследований - проект 06 - 05 - 64084 - а.

Литература

1. *Аравин В.И., Нумеров С.Н.* Теория движения жидкостей и газов в недеформируемой пористой среде. М. Гостехиздат. 1953, 616 с.
2. *Демежко Д.Ю.* Геотермический метод реконструкции палеоклимата (на примере Урала). Екатеринбург: УрО РАН. 2001, 144 с.
3. *Дучков А.Д., Соколова Л.С.* Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири. Новосибирск. 1998, с. 151 - 157.
4. *Карлов Н.В. Кириченко Н.А.* Колебания, волны, структуры. М. Физматлит. 2003, 496 с.
5. *Карслоу Г., Егер Д.* Теплопроводность твердых тел. М. Наука. 1964, 488 с.
6. *Любимова Е. А.* Термика Земли и Луны. М. Наука, 1968, 279 с.
7. *Лялько В.И., Митник М.М.* Исследование процессов переноса вещества в земной коре. Киев: Наук.думка, 1978, 152 с.
8. *Лялько В.И., Митник М.М. Ткаченко В.Г.* Оценка теплопереноса в зоне затрудненного водообмена.// Энергетика геологических и геофизических процессов. М. Наука. 1972, стр. 105.
9. *Макаренко Ф.А. Поляк Б.Г. Сугробов В. М.* Роль воды в перераспределении внутреннего тепла Земли.// Энергетика геологических и геофизических процессов. М. Наука. 1972., стр.94.
10. *Огильви Н.А.* Роль конвективного теплопереноса в геотемпературном поле. // Энергетика геологических и геофизических процессов. М. Наука. 1972, стр. 103.
11. *Фейнман Р. Лейтон Р. Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике. Вып. 7. Физика сплошных сред. М. Мир. 1966, 290 с.
12. *Франк Ф. Мизес Р.* Дифференциальные и интегральные уравнения математической физики. ОНТИ. Л. - М. 1937, 998 с.
13. *Шехтер Р.С.* Вариационный метод в инженерных расчетах. М. Мир. 1971, 291 с.
14. *Anderson M.P.* Heat as a Ground Water Tracer. /GROUND WATER, Vol. 43, No. 6, 2005, p. 951 – 968.
15. *Beltrami, H. and Mareshal, J.* - C. Recent warming in eastern Canada inferred from geothermal measurements: Geophys.Res.Lett.,1991, vol.18, N4б, p.605 - 608.
16. *Bredehoef J. D. Papadopulos I.S.* Rates of vertical groundwater movements estimated from the Earth's thermal profile. // Water resources Res. 1965, V.1, p. 325 - 328.
17. *Lachenbruch A.H., Marshall B.V.* Changing climate:Geothermal evidens from permafrost in the Alaskan Arctic./ Science, 1986, 234, p.689 - 696.
18. *Parkhomov M.D., Zui V.I.* Combined effect of climatic variations and groundwater movement on observed heat flow. //Studia geoph. and geod. 43, 1999, p.265 - 274.
19. *Taniguchi M., Shimada J., Tanaka T. et al.* Disturbances of temperature-depth profiles due to surface climate change and subsurface water flow: 1. An effect of linear increase in surface temperature caused by global warming and urbanization in the Tokyo metropolitan area, Japan. // Water resources Res.. 1999, Vol.35, No.5, p.1507 - 1517.

ЗЕМНОПРИЛИВНЫЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ИХ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА СЕВЕРНОМ КАВКАЗЕ

О.Н. Круткина[1], Л.Д. Пруцкая[2] -
[1] ФГУП ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург, [2] ФГУГП "Кавказгеолсъёмка", Ессентуки

Аннотация. Представлены результаты изучения влияния лунно - солнечных приливов на изменение уровня подземных вод на Северном Кавказе. Рассмотрены геологические особенности района исследований, аппаратурные и методические вопросы мониторинга уровня подземных вод. Показано, что существенное влияние на вариации уровня оказывают как приливные движения, так и процессы подготовки тектонических землетрясений. При этом нарушения в реакции уровня вод на влияние лунно - солнечных приливов (как и большинство предвестников землетрясений) зависит не только от параметров землетрясений, но и от геологических условий на участке между наблюдательной скважиной и гипоцентром землетрясения.

EARTH TIDAL FLUCTUATIONS OF SUBSURFACE WATERS LEVEL DURING PREPARATION OF EARTHQUAKES IN THE NORTHERN CAUCASUS

O.N.Krutkina[1], L.D.Prutskaya[2] -
[1]FGUP VSEGEI, St.Petersburg , [2]FGUGP "Caucasusgeolsurvey", Essentuki

Abstract. The results of study of lunar-solar tides influence on change of subsurface waters level in the Northern Caucasus have been presented. Geological peculiarities of the region under investigation, equipment and methodical problems of monitoring of subsurface waters level have been considered. It has been shown that both tidal movements and processes of tectonic earthquakes exert influence on level variations. Moreover, the disturbances in the response of waters level to influence of lunar-solar tides (like the majority of earthquakes) depend not only on earthquakes parameters but on geological conditions in the area between observation borehole and earthquake hypocenter.

Вопрос о приливном воздействии Луны и Солнца рассматривается очень давно, еще со времен И. Канта и Дж. Дарвина. В 1934г. известный французский геофизик и сейсмолог Эдмонд Ротэ, описывая теорию приливов Алексея Перре (1848г.), отмечал, что «приливы и отливы в твердой оболочке земной коры доказаны с совершенной несомненностью, образование волнообразных движений напоминает развитие океанических приливов». Известно, что каждая точка земной поверхности подвержена также воздействию силы тяготения, обусловленной притяжением всей массы Земли, и центробежной силы, вызываемой вращательным движением Земли.

Деформации земного шара сопровождаются напряжениями и объемными расширениями и сжатиями. Во время прилива кора поднимается и происходит расширение, а во время отлива – сжатие. Очевидно, что все объекты, в том числе и подземные воды, находящиеся в земной коре подвержены этим эффектам (1).

На Северном Кавказе объектами изучения влияния лунно - солнечных приливов на гидросферу являлись вариации подземных вод, анализируемые в связи с необходимостью фильтрации помех в режиме наблюдаемых параметров при мониторинге гидрогеологических предвестников землетрясений (наблюдения проводятся с 1987г. по сегодняшний день). Режимная сеть (Рис.1) состоит из 23 скважин (скв.) различной глубины (100 - 1986м), вскрывающих напорные подземные воды с ненарушенным или стабильно нарушенным режимом, в основном, с отрицательным уровнем; водоносными являются по большей части песчано - глинистые отложения и известняки.

Наблюдения проводятся непрерывно при помощи самописцев «Валдай» и измерительных комплексов «Радиус», дискретность 1 час. Наличие реакции уровня подземных вод (УПВ) на влияние приливно - отливных сил свидетельствует о возможности фиксации напряжений, связанных с

деформациями порядка 10^{-8}.

Наиболее контрастно выражена реакция на лунно - солнечные приливы по скв.2- П, 187 - М, 823, 5 - РСП, 4 - РСП и 11 - РСП.

Слабая реакция УПВ на влияние лунно - солнечных приливов отмечается по скважинам 1 - П, 2222, 173, 29, 38, 5 - Б и 300а, вскрывающим в большинстве своем неглубоко залегающие напорные подземные воды, развитые в глинистых слабо песчанистых отложениях. Так по ряду постов вышеозначенной группы приливные вариации УПВ однозначно выделяются на новолуния и полнолуния; амплитуды же суточных (24 час) приливов не превышают 1.5 - 2см.

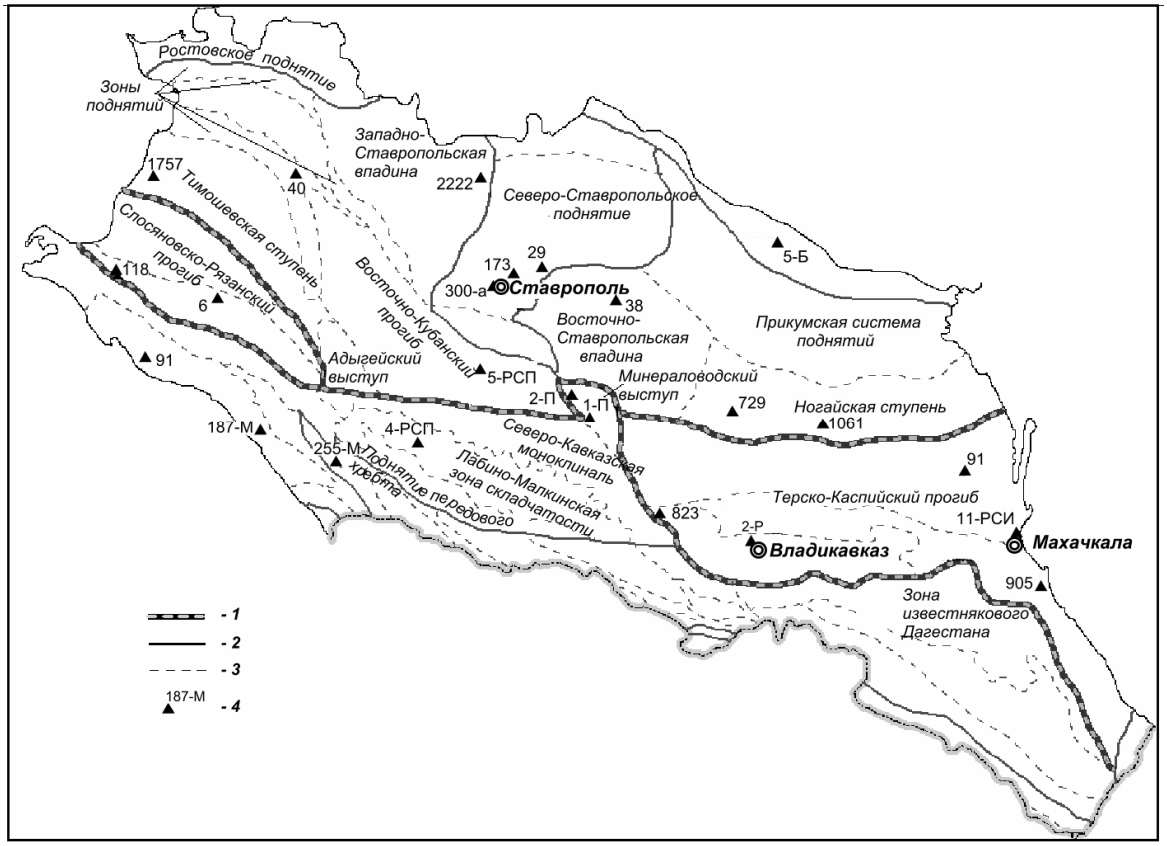


Рис.1. Схема расположения скважин федеральной сети мониторинга гидрогеодеформационного поля Северного Кавказа (в качестве основы использована схема тектонического оайонирования К.Баранова, В.Грачева,1999). Границы между структурами: 1 - первого порядка; 2 - второго порядка; 3 - третьего порядка; 4 - пост наблюдательной сети.

Отсутствием видимой реакции на земноприливные вариации характеризуется скв.2 - Р в связи с высокой скоростью изменения УПВ, где ежедекадный тренд достигает 20 - 25 см, тогда как максимальные приливные вариации по наблюдательным скважинам составляют первые десятки сантиметров.

В этом случае амплитуда изменения УПВ по скв.2 - Р за счет тренда значительно выше амплитуды приливной волны УПВ и в результате «камуфлирует» ее.

Диапазон вариаций уровней подземных вод (УПВ) под воздействием земноприливных колебаний по различным наблюдательным постам достаточно высок: от нескольких миллиметров (скв.1 - П) до 16 см (скв.11 - РСП). При фоновых вариациях УПВ наиболее выражены 24 и 12 часовые гармоники (Рис.2). Чувствительность к лунно - солнечным приливам наблюдаемых водоносных горизонтов определяется динамическими характеристиками последних - наименее выраженными приливными вариациями характеризуются скважины, пробуренные в глинистых, слабо песчанистых отложениях. Немаловажным фактором является так же наличие активных гидродинамических связей с близ-

лежащими водоносными горизонтами и комплексами (возможность активных перетоков), прекрасной демонстрацией этому тезису могут служить режимы по скважинам 1 - П и 2 - П, пробуренным на один водоносный горизонт (Горячий Ключ), находящимся на расстоянии 29.5 км друг от друга. Единственным различием является «тектоническая позиция» постов – скважина 2 - П (контрастные приливы) вскрывает подземные воды в области дериватной трещиноватости Эльбрусско - Ессентукской тектонической зоны, тогда как 1 - П находится на Минераловодском выступе севернее регионального Черкесского разлома. Очевидной связи чувствительности постов с их глубиной не обнаружено.

В течение года по отдельному посту контрастность реакции УПВ на лунно-солнечные приливы непостоянна. Это объясняется изменением вклада в режим УПВ других режимообразующих факторов: сезонного тренда, атмосферного давления, подготовкой и протеканием землетрясений и т.д. Коэффициенты корреляции УПВ с теоретически рассчитанными поправками за приливные изменения силы тяжести в разное время (сейсмически активное или спокойное) составили от 0.59 - 0.6 до 0.8 - 0.89 (без компенсации влияния прочих режимообразующих факторов).

При поиске гидрогеологических эффектов, связанных с землетрясениями Северного Кавказа, нами были выделены следующие изменения реакции уровня подземных вод на лунно - солнечные приливы: усиление приливно - отливного эффекта, нивелирование приливно - отливного эффекта (вплоть до полного его исчезновения) и деформирование приливной волны УПВ, часто осложненное мгновенными аномалиями (Рис. 3 - 5). Длительность нарушения реакции на лунно - солнечные приливы составляет от нескольких месяцев до нескольких часов.

Для примера приведем данные по нескольким скважинам сети, имеющим различные гидрогеологические характеристики (в сопоставлении с сейсмичностью с 1991 по 2000г. включительно).

По скв.2 - П (Минераловодский выступ, область повышенной трещиноватости, подземные воды трещинно - пластового типа в песчаниках и алевролитах свиты Горячего Ключа, глубина 270 м), режим ненарушенный, в указанный период, была проанализирована реакция УПВ на лунно - солнечные приливы перед 356 землетрясениями, при-

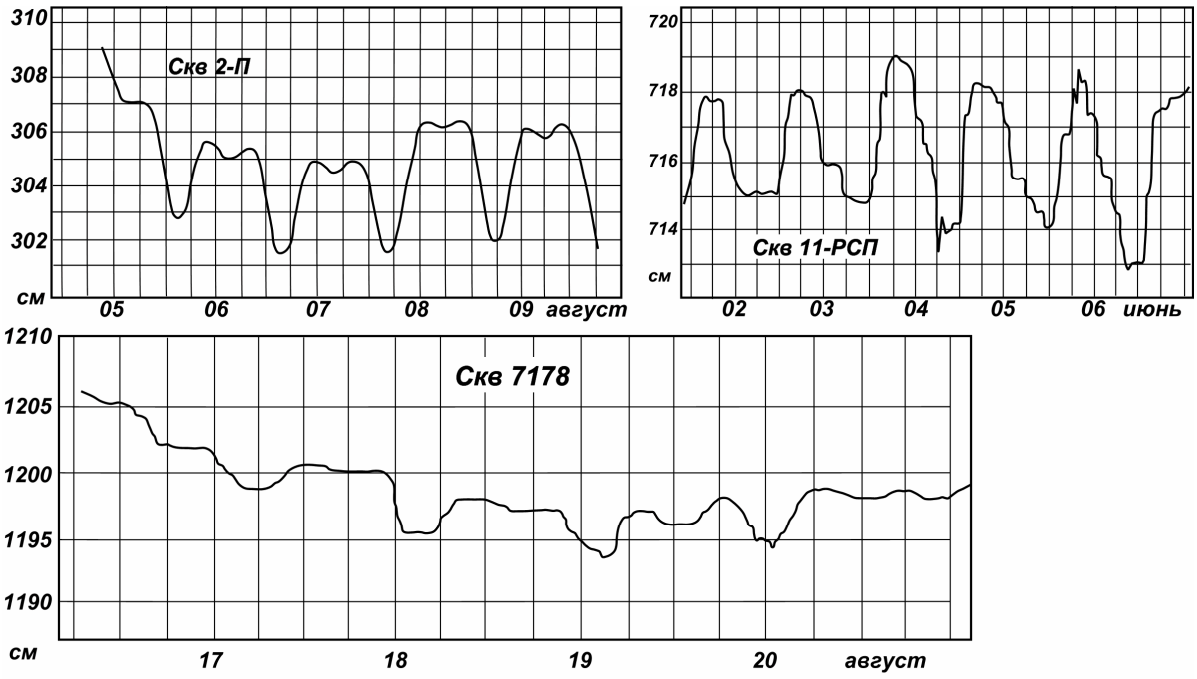


Рис.2. Отражение земноприливных вариаций на лентах фактической записи УПВ в сейсмически спокойное время.

чем только 22 из них были приурочены к фазам полнолуний и новолуний. Перед большинством событий (М=1.8 - 5.2; Н до 270км) наблюдались предвестниковые изменения, в основном краткосрочные, отмечались все вышеозначенные «деформации» приливной волны. Наиболее длительное (более четырех месяцев) нивелирование приливных вариаций УПВ по скв.2 - П наблюдалось на Рачинское землетрясение(29.04.1991г. М = 6.5 - 7.2, Д = 192км), что вполне закономерно, учитывая магнитуду последнего. Чувствительность к влиянию лунно - солнечного прилива восстановилась за 4 часа до основного толчка (Рис.2).

Большей частью, предвестниковые из-

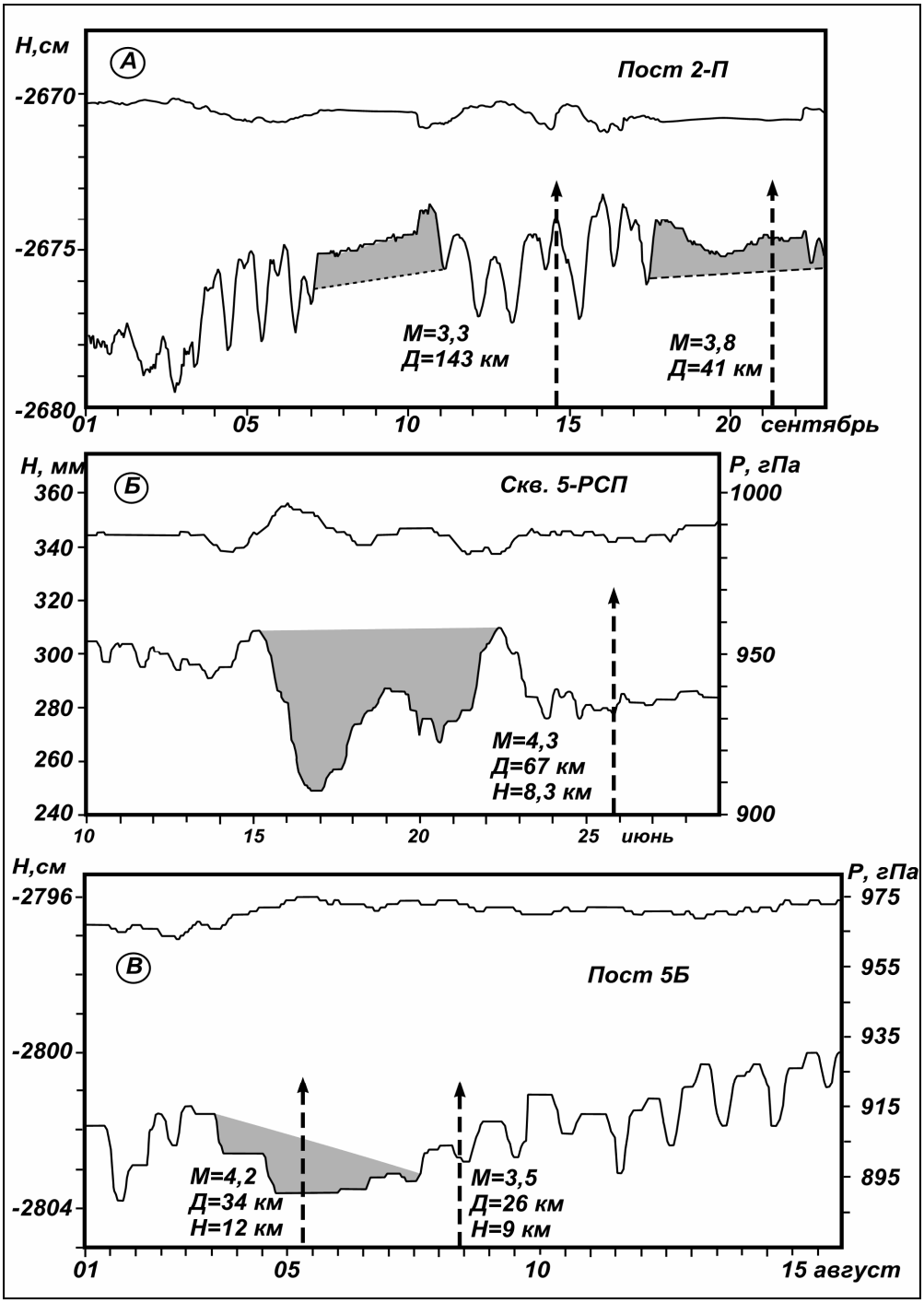


Рис.3. Сейсмогенные гидродинамические аномалии (разнонаправленные деформации приливной волны): А- Реакция УПВ по посту 2-П на землетрясения 13 и 21 сентября 2002 года; Б – реакция поста 5-РСП на землетрясение 25 июня 1998 г.; В – реакция поста 5Б на землетрясения 05 и 08 августа 2000г.

менения приливной волны относились к землетрясениям с эпицентральным расстоянием (от эпицентра землетрясения до конкретного наблюдательного поста) до 100 км. На 5 землетрясений, при магнитуде более 3.5 и менее 4.5 эпицентральные расстояния увеличились соответственно до 130 - 200км. На землетрясения с М = 4.6 - 5.2 реакция УПВ распространялась на расстояние до 302 км по отдельным направлениям. Основная масса землетрясений, реакцией на подготовку которых были деформации лунно - солнечной приливной составляющей УПВ, приурочена к структуре Минераловодского выступа и Северо-Кавказской моноклинали.

Два землетрясения с близкими параметрами (М = 4.1 - 4.2, Д = 68 - 75) разрядились в Восточно - Ставропольской впадине и вызвали нивелирование приливно-отливного эффекта УПВ с релаксацией за четверо суток до сейсмических событий.

Одно землетрясение с М = 5.2(1.02.94, Н = 10км), предваряемое пятисуточным нивелированием приливно - отливной волны УПВ, реализовалось на Адыгейском выступе. Ряд землетрясений произошел в Терско - Каспийском прогибе. Следует отметить, что ареалы распространения предвестников не изометричны, и в значительной степени зависят от взаиморасположения источника возмущений и наблюдательного поста, а так же тектонической приуроченности обоих и обстановки прохождения предваряющих деформаций.

По скв.823 (Армавиро - Невинномысский разлом, воды трещинно - жильного типа в известняках валанжина, глубина 122м) проанализирована реакция УПВ на 492 землетрясения. Магнитуды землетрясений при этом изменялись от 2.1 (Д = 75 км, Н = 14 км) до 5.1 (Д = 88 км, Н = 5 км); эпицентральные расстояния от 38 (М = 2.7, Н = 2км) до 228км (М = 4.9, Н = 14км); гипоцентры от 2 до 41км (М = 3.7, Д = 207км). Распространение эпицентров землетрясений, перед которыми была нарушена реакция УПВ на лунно - солнечные приливы, ог-

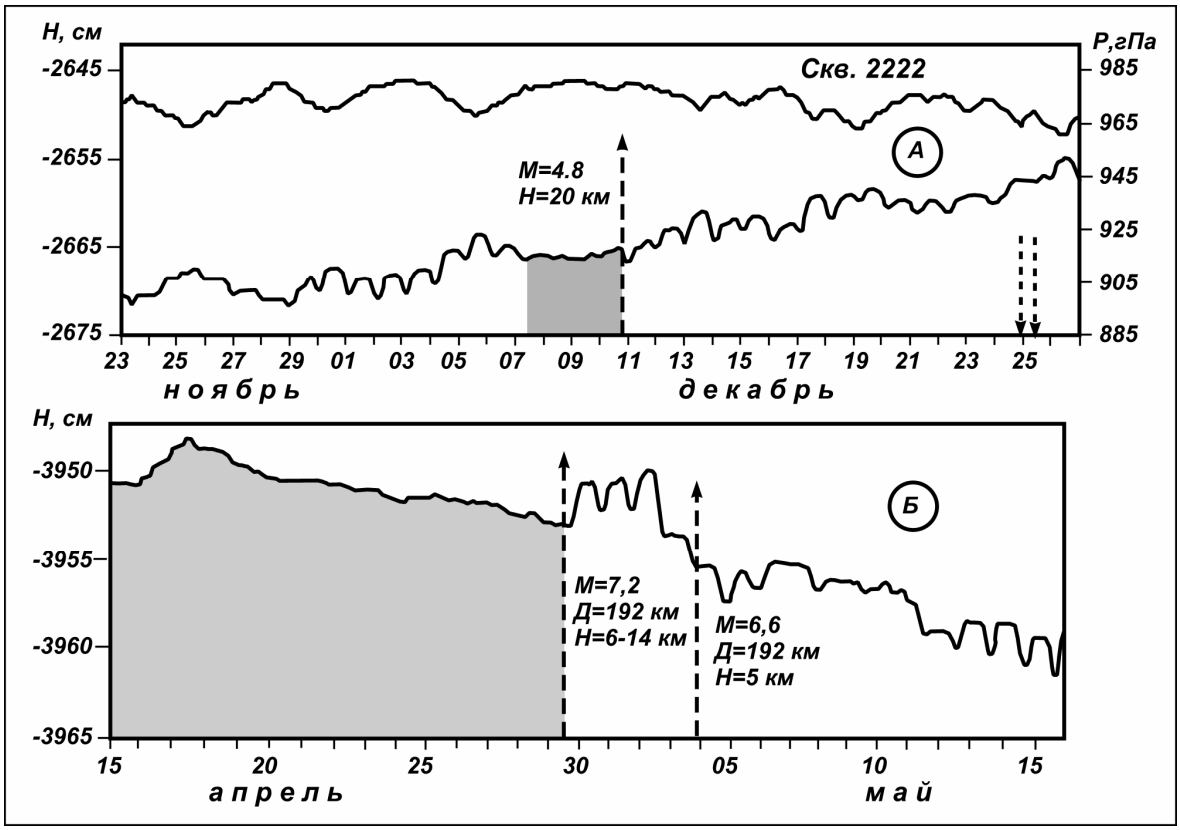


Рис.4. Сейсмогенные гидродинамические аномалии (невелирование приливного-отливного эффекта): А – пост 2222, в правой части графика отмечены афтершоковые 25 декабря) эффекты; Б – пост 838.

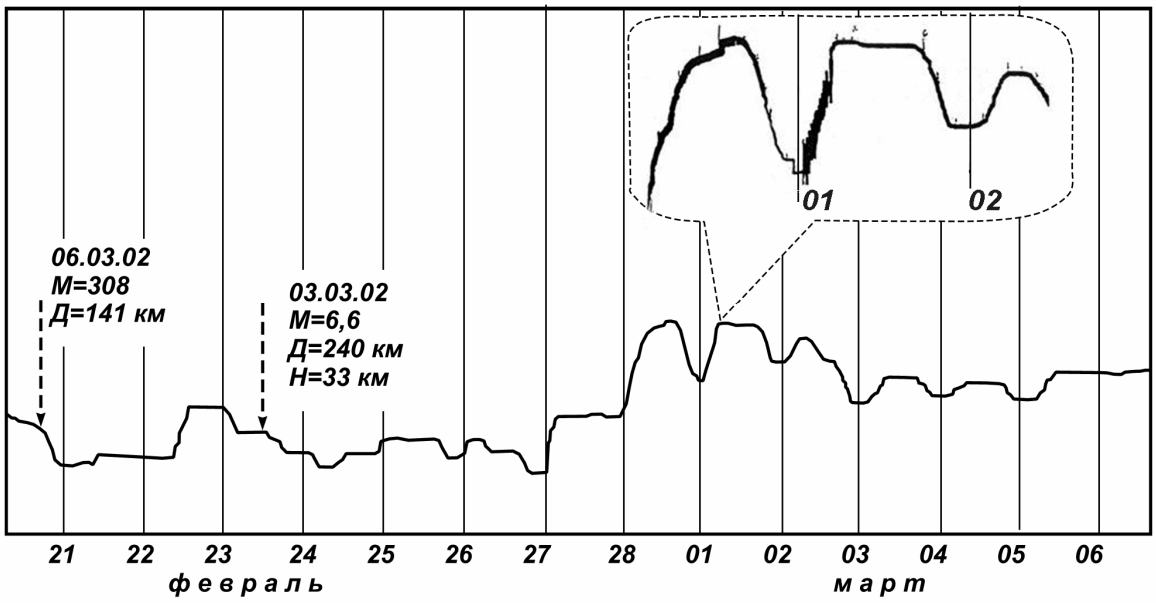


Рис.5. Предвестниковые аномалии УПВ по посту 2-П, осложненные мгновенными аномалиями.

раничено на севере субширотными границами первого порядка (Черкесский разлом и его восточное продолжение, Нагутская флексурно - разрывная зона). К структурам, в пределах которых разрядились указанные землетрясения, относятся Терско - Каспийский прогиб, Северо - Кавказский краевой массив, Северокавказская моноклиналь, Складчато-глыбовое поднятие Главного хребта и Восточного Кавказа.

По скв.5 - РСП (Восточно - Кубанский прогиб, воды трещинно-пластового типа в отложениях неогена (N_1^2kg+kn), глубина 301 м) реакция УПВ на лунно - солнечные приливы была изучена на 259 землетрясений. Релаксировали аномалии за сутки или в день землетрясения. Многие землетрясения с эпицентрами (Д = 45 - 99км) были расположены в пределах Восточно - Кубанского прогиба, где пробурена скв.5 - РСП. Магнитуды землетрясений изменялись от 2,4 до 4,3; гипоцентры – от 1 до 16км. Часть землетрясений была из Терско – Каспийского прогиба (зона прибортовой и приосевой складчатости и Притерско - Сулакская зона прогибов) и несколько – в пределах Минераловодского выступа и поднятий: Северо - Ставропольского, Тебердинского и Передового хребта. Большинство изменений УПВ перед землетрясениями выглядели, как нивелирование лунно-солнечных приливов. Третья часть характеризовалась усилением приливной волны УПВ.

Обобщая анализ индивидуальных режимов различных водоносных горизонтов, вскрываемых постами Северо - Кавказской сети мониторинга гидрогеодеформационного поля можно сделать следующие выводы:

- значительная часть аномалий приливных вариаций уровней подземных вод на Северном Кавказе имеет сейсмогенный характер,

- заблаговременность нарушения реакции УПВ на лунно - солнечные приливы составляет от нескольких месяцев до нескольких часов до землетрясения,

- наблюдаются следующие предвестниковые изменения реакции уровня подземных вод на лунно - солнечные приливы: усиление приливно - отливного эффекта, нивелирование приливно - отливного эффекта и деформирование приливной волны УПВ, часто осложненное мгновенными аномалиями; все выделенные типы нарушений могут характеризовать как изменение тензочувствительности системы, так и величину возмущающей энергии,

- повышение контрастности приливов, говорит об изменении гидродинамических характеристик водопункта в сторону активизации режима (изменение активной пористости, трещиноватости и т.д., степени изолированности системы) – что по

всей вероятности является следствием развития деформаций растяжения в контролируемом геологическом блоке, но не в водоносном горизонте.

- нивелирование приливно - отливного эффекта, в свою очередь, отражает деформации сжатия и снижение в контролируемом блоке гидродинамических характеристик водоносного горизонта.

- полное исчезновение приливных и барических флуктуаций говорит о полной изоляции объекта наблюдений, который может характеризоваться как состоянием предельного напряжения, так и состоянием относительной стабильности «гидродинамического равновесия», что не менее опасно с точки зрения потенциальной возможности возникновения землетрясения, т.к. непосредственно в сейсмогенерирующем блоке зачастую не наблюдается предвестниковых аномалий,

- разного рода аномалии приливных вариаций УПВ свидетельствуют в пользу того, что сейсмогенные деформации на превышают 10^{-8}, тогда как полное исчезновение фоновых вариаций говорит о наличии более мощных напряжений. Полное исчезновение фоновых флуктуаций УПВ наблюдалось на сейсмические события с магнитудой не менее 4.5. Интересен тот факт, что продолжительность такого рода аномалий так же зависит от интенсивности землетрясений – на события с M = 4.8 – 5.5 не превышала трех суток, тогда как на Рачинское землетрясение (M = 7.2) наблюдалась в течение четырех месяцев.

- характер аномалий на определенное событие по постам сети разнится, как по времени возникновения, так и по типу нарушений, четкой зависимости аномалий от свойств водоносного горизонта и эпицентрального расстояния не выявлено,

- по продолжительности проявления предвестниковые изменения реакции УПВ на лунно - солнечные приливы разделяются на краткосрочные (часы - дни) и длительные (месяцы),

- возникновение нарушений в реакции УПВ на влияние лунно - солнечных приливов (как и большинство предвестников землетрясений) зависит не только от параметров землетрясений, но и от геологических условий на участке между наблюдательной скважиной и гипоцентром землетрясения, что демонстрируют приведенные выше примеры. Скважины 2 - П и 823, пробуренные в зонах крупных тектонических нарушений (границы первого порядка) отличаются значительно большими «ареалами восприимчивости» относительно скважины 5РСП (Восточно - Кубанский прогиб), где практически не наблюдается аномалий на землетрясения южной, юго-восточной и юго - западной ориентировки. Очевидно, что в этом случае региональный Черкесский разлом «экранирует» развитие деформаций большинства сейсмических событий средних магнитуд, тогда как в случае вышеупомянутых постов 2 - П и 823, зоны повышенной трещиноватости являются скорее «проводниками» для гидродинамических эффектов землетрясений происшедших южнее Черкесского разлома. На землетрясения, расположенные севернее - реакции по скважине 823 не наблюдается, скважина 2 - П продолжает работать. Следует отметить, что данный тезис справедлив лишь для «рядовых» событий, предвестниковые аномалии сильных и катастрофических землетрясений пренебрегают вышеозначенными правилами - наблюдаются более устойчивые и интенсивные деформации, не регламентируемые тектоническими структурами, зачастую превышающие расчетный радиус проявления ано-мальных эффектов.

- релаксация приливных аномалий по постам сети наступает, как правило, за сутки – трое до землетрясения, в день землетрясения, или в период до трех суток после землетрясения.

Литература

1.*Мельхиор П.* Земные приливы., 1968, 518 с.

2.*Пруцкая Л.Д., Островский А.Б., Круткина О.Н., Батурина Н.В., Растос Л.В.* Некоторые аспекты сейсмогидрогеологических исследований на Северном Кавказе.Сборник трудов ИЛСАН РАН, Прикладная геоэкология, чрезвычайные ситуации, земельный кадастр и мониторинг, вып.3, Москва, 1999, с. 132 - 137.

ПРОБЛЕМЫ ГЕОТЕРМИИ: XX - XXI

Поляк Б.Г., Хуторской М.Д., Кононов В.И. - Геологический институт РАН, Москва

Аннотация. Рассмотрено состояние важнейших геотермических проблем на рубеже тысячелетий. Проведен анализ регионального распределения теплового потока в разновозрастных тектонических областях. Совместный анализ закономерностей распределения теплового потока и изотопного отношения гелия доказал, что тепло в литосферу поступает вместе с силикатным веществом, таким образом изучен механизм тепломассопереноса в недрах. Намечены основные направления геотермических исследований в XXI веке.

PROBLEMS OF GEOTERMY: XX - XXI

Polyak B.G., Khutorskoij M.D., Kononov V.I. - Geological institute of RAS, Moscow

Abstract. The condition of the important geothermal problems on millenium boundary has been considered. Regional heat flow-age depended distribution analysis has been carried out. The joint analysis of heat flow and helium isotope distribution proved that heat energy comes together with silicate substance in the lithosphere, thus heat-mass transfer mechanism in the deep layers has been investigated. The basic geothermal researches directions in XXI century have been proposed.

Граница тысячелетий – притягательный момент для подведения итогов прошлого и определения задач на будущее в развитии той науки, проблемы которой обозначены в заглавии. В данной статье сделана такая попытка в отношении тех направлений геотермических исследований, которые наиболее важны для теоретической геологии. Это - региональные исследования теплового поля Земли и изучение механизмов тепломассопереноса в недрах.

1. Региональные исследования

1.1. Тектоническая упорядоченность теплового потока

Без анализа теплового поля Земли невозможно построить ни одну реалистическую геодинамическую концепцию.

Рост температуры недр с глубиной, ставший очевидным уже в XVII - XVIII веках благодаря измерению ее в шахтах и скважинах, ясно указал на существование кондуктивного (благодаря теплопроводности горных пород) теплового потока из глубин Земли к ее поверхности.

Природа этого теплового потока – коренной вопрос геотермии. Эмпирическую базу для его решения представляют результаты определения плотности кондуктивного теплового потока во вскрытом горными выработками интервале глубин. Этот интервал по сравнению с радиусом Земли очень мал, и можно считать, что такие данные отражают кондуктивные теплопотери через ее верхнюю границу.

В середине прошлого века на основании тогда еще очень немногих измерений Ф. Берч предположил, что «существуют региональные вариации теплового потока, связанные с физическими и химическими вариациями регионального масштаба» (Birch, 1954). Проверка этой гипотезы составила основное содержание дальнейших геотермических исследований. Для этого нужно было, с одной стороны, накопить больше эмпирических данных, а с другой – систематизировать их по наиболее объективным критериям.

Несовершенные попытки такого рода были предприняты В. Ли [Lee, 1963], а затем им же вместе с Дж. Макдональдом [Lee, Macdonald, 1963] и С. Уедой [Lee, Uyeda, 1965]. Успешным же, по последовавшему общемировому признанию, оказался подход, использованный в Геологическом институте АН СССР (РАН) Б.Г. Поляком и Я.Б. Смирновым – группировка значений плотности кондуктивного теплового потока, q, измеренных в разных пунктах, по возрасту складчатости или позднейшей тектоно - магматической активизации земной коры в районах исследований.

Проведенный этими авторами [Поляк, Смирнов, 1966, 1968] анализ латеральных вариаций q показал, что ее величина уменьшается обратно пропорционально возрасту, t, тектономагматической активности в континентальной коре до свойственного ее древнейшим блокам минималь-

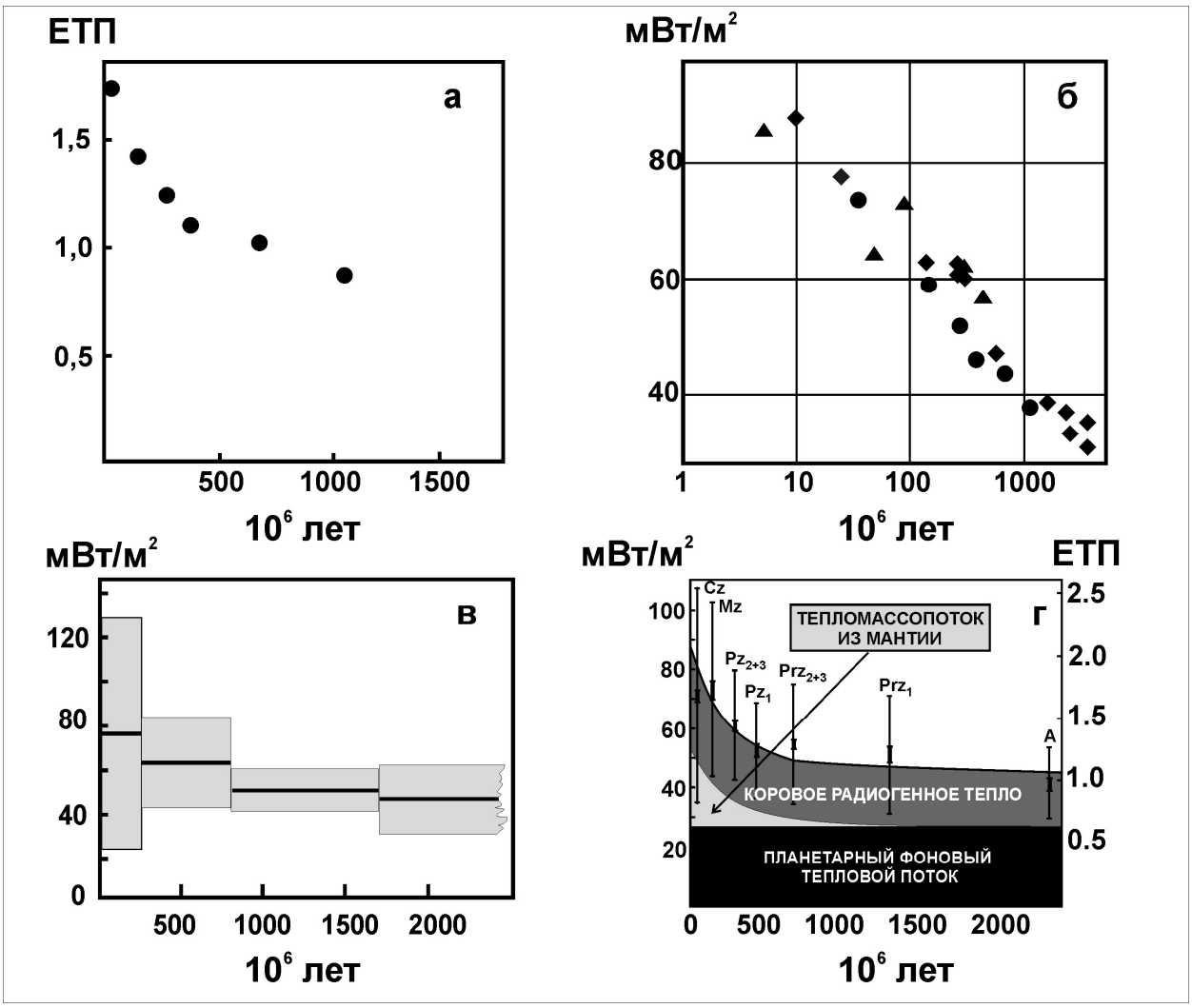


Рис. 1. Связь плотности кондуктивного теплового потока с возрастом тектоно-магматической активности в континентальной коре.
(а) – Поляк и Смирнов[1968], (б) – кружки по (а), ромбы по [Kutas et al., 1976], треугольники по [Čermak et al., 1976], (в) – по [Sclater et al., 1980, 1981], (г) – по [Vitorello & Pollack, 1980].

ного уровня – «континентального фона» (рис. 1). Этот вывод неоднократно проверялся, уточнялся и подтверждался (Hamza and Verma, 1969; Sclater and Francheteau, 1970; Cermak , 1976; Kutas et al., 1976; Chapman and Furlong, 1977; Vitorello and Pollack, 1980).

Чуть позже исследованиями на акваториях была обнаружена аналогичная антибатная зависимость плотности кондуктивного теплового потока от возраста океанического дна, определяемого положением полосовых магнитных аномалий [Sclater and Francheteau, 1970; Chapman and Pollack, 1976]). При этом в океанах снижение q до фонового минимума (который оказался практически равным континентальному) происходит, как выяснилось, примерно на порядок быстрее, чем в коре материков.

Упорядоченность (в соответствии со структурно - тектоническим районированием коры) распределения кондуктивного теплового потока показала формальность оценок универсальных средних значений его плотности в океаническом и континентальном блоках.

Эти оценки столь же условны, как бытовавшая в XIX и первой половине XX века оценка «универсального» геотермического градиента – 30°С/км, которая была выведена из наблюдений в старых горнопромышленных районах Европы, но оказалась нетипичной для многих других. Примерное равенство этих оценок, укладываю-

щихся, по расчетам разных исследователей, в диапазон 49 - 65 мВт/м^2 [Lee, 1963; Смирнов, 1967; Chapman and Pollack, 1976, 1980; Turcotte and Burke, 1978; Sclater et al., 1980], послужило основанием для некоторых гипотетических объяснений такого сходства.

Однако при этом часто забывают, что на океанах кондуктивный тепловой поток далеко не исчерпывает всех потерь глубинного тепла: значительная их часть связана с выносом тепла гидротермальной и особенно вулканической деятельностью в зонах спрединга (см. об этом ниже в разделе 1.2). Поэтому средняя по площади величина *суммарных* теплопотерь на океанах больше средней плотности чисто кондуктивного теплового потока (это особенно подчеркивал Я.Б. Смирнов [1980, 1986 и др.]), так что встречающиеся представления о равенстве средних величин удельного (на единицу площади) выноса глубинного тепла через континентальную и океаническую коры ошибочны.

На суше по мере накопления данных дисперсия *наблюдаемых* в разных пунктах и разноглубинных интервалах частных значений q затушевывала генеральный тренд. Последнее даже привело к сомнениям в его существовании в фанерозойской континентальной коре (Rao et al., 1982), которые, однако, были опровергнуты осреднением данных в крупных возрастных провинциях материков (см. рис. 1).

Дисперсия наблюдаемых “одновозрастных” частных значений q обусловлена многими причинами.

Одну их группу составляют так называемые возмущающие факторы, вызывающие приповерхностные искажения глубинного теплового потока. К ним относятся: а) влияния рельефа дневной поверхности и контрастной теплопроводности геологических тел, создающие квазистационарные геотермические аномалии преимущественно локального характера; б) изменения климата (температуры на границе геотермозоны), способные создавать нестационарные аномалии, которые сегодня интенсивно изучаются в рамках исследований глобальных изменений природной среды; в) циркуляция подземных флюидов, нарушающая условия кондуктивной теплопередачи.

При осреднении результатов частных определений q в пределах крупного однородного геоблока (тектонической провинции) противоположные по знаку локальные эффекты каждого из перечисленных факторов в той или иной мере взаимно компенсируются. Поэтому региональные средние, т.е. фоновые, оценки наблюдаемой q приближаются к ее неискаженной глубинной величине.

Другой причиной искажений глубинного теплового потока являются тектонические перемещения горных масс.

Известно, что вертикальные движения, сопровождающиеся седиментацией в погружающихся блоках и эрозией воздымающихся, создают резкую дифференциацию наблюдаемого теплового потока в подвижных поясах. Такие аномалии по механизму возникновения, как и гидрогеотермические, относятся к адвективному теплопереносу. Они нестационарны и в случае, например, шарьирования крупных пластин литосферы могут существовать десятки и даже сотни миллионов лет ([Хуторской, 1985, 1996] и др.).

Общей для всех перечисленных факторов является теоретическая возможность количественной оценки их эффектов. Однако необходимые для этого данные далеко не всегда известны полностью и с удовлетворительной точностью в каждом пункте наблюдений.

Тем не менее, такая оценка, т.е. внесение соответствующих поправок в определенное по геотермическим измерениям частное значение q, позволяет вычислить более близкое к реальности (не искаженное перечисленными выше факторами) значение глубинного теплового потока в этом пункте. Такие “исправленные” локальные величины q в одновозрастных блоках коры гораздо более однообразны, чем наблюдаемые, и ближе к их осредненному (фоновому) значению (см., напр., [Смирнов, 1980]).

Еще одной причиной дисперсии q являются латеральные различия радиогенной теплогенерации, A, в верхах геологического разреза. Часто отмечается положительная корреляция A и q [Roy et al., 1968; Lachenbruch, 1970]. Вместе с тем, есть признаки роста A в более молодых структурах (см., напр., [Pollack, 1980, Fig.1]).

Популярные представления об убывании концентраций радиоэлементов в разрезе литосферы с глубиной (закономерности этого убывания требуют дальнейшего изучения) позволяют рассматривать различия "поверхностной" теплогенерации и связанные с ними вариации наблюдаемого кондуктивного теплопотока как отражение масштабов эрозии континентальной коры в разных частях района исследований. Другие, протекающие в недрах энергопреобразующие процессы (метаморфические, сейсмические и т.п.), тоже могут вызывать отличия глубинных значений q от наблюдаемых в верхах геологического разреза и, следовательно, быть причиной дисперсии последних. Но оценить количественно эффект этих процессов крайне трудно из - за неопределенности необходимых для этого исходных данных.

Кроме того, величины оценок q зависят от методики их расчета и самих определений температурного градиента и особенно теплопроводности пород [Popov et al., 1999] в интервале термометрических измерений, что является еще одной причиной дисперсии частных значений плотности кондуктивного теплопотока.

В итоге связь q с возрастом тектономагматической активности в континентальной коре ("heat flow—age dependence") проявляется практически лишь при анализе фоновых средних оценок q в крупных геоблоках.

Но выяснить причину этой связи на основании одних геофизических данных нельзя. Наблюдаемый тренд говорит лишь о существовании в недрах временных и относительно локальных источников тепла. Он позволяет идентифицировать такие источники только с теплофизической стороны традиционным для геофизики путем решения обратных задач – создания расчетных моделей, в которых подбираются, отвечающие темпу изменения q глубина источника, его форма, размеры, мощность и время существования [Кутас, Гордиенко, 1972; Смирнов, 1972].

Геологическая природа источников при таком подходе остается неизвестной, и они априорно отождествлялись с поднятиями горячего мантийного вещества (астеносферными диапирами). Для подтверждения этой гипотезы были необходимы прямые вещественные признаки вторжения мантийного вещества в зонах повышенного теплового потока (см. раздел 2.2).

1.2. Планетарные теплопотери и геоэнергетический баланс

Итак, региональное изучение кондуктивного теплового потока завершилось выявлением его обратной зависимости от возраста тектономагматической активности сначала в континентальной коре, а затем и в океанической. Используя полученные средние оценки q в разновозрастных структурах континентов и океанов и интегрируя эффекты по соответствующим площадям, удалось определить общую величину планетарных кондуктивных теплопотерь.

Но, помимо кондуктивного теплового потока, внутриземное тепло выносится из недр еще и восходящим тепломассопотоком. Его открытая разгрузка на поверхность твердой Земли представляет собой вулканическую и гидротермальную деятельность, благодаря которой тепло, аккумулированное в продуктах извержений или изливающихся на эту поверхность термальных водах, рассеивается в атмосфере или наземной гидросфере.

Что касается вулканизма, то исследования выноса глубинного тепла через индивидуальные вулканические аппараты, в том числе фумарольной деятельностью в межпароксизмальную стадию их активности, показали, что тепло, аккумулированное в продуктах их извержений, составляет 90 - 99%, выделяющейся в этих явлениях, внутриземной энергии. Поэтому изучение продуктивности вулканизма

позволяет достаточно объективно оценить общий энергетический эффект процесса и его эволюцию во времени.

Кроме того, было установлено, что продуктивность вулканизма в его разнопорядковых проявлениях – отдельном акте извержения, жизнедеятельности индивидуального эруптивного аппарата, активности региональных вулканических зон и их глобальной совокупности – убывает с течением времени в любой иерархической категории [Поляк, 1988]. Ослабление вулканической активности в геологической истории всего континентального блока, согласуясь с исчерпанием источников внутриземной энергии, отражает общую направленность энергетической эволюции Земли, тогда как существование того же тренда в более низких по рангу проявлениях вулканизма связано с истощением магматических резервуаров разного масштаба. Долговременные региональные различия интенсивности вулканизма отвечают разным геодинамическим обстановкам. Его продуктивность максимальна в зонах спрединга океанической коры, снижается в островных дугах и на активных окраинах материков и падает до минимума во внутриматериковых коллизионных поясах, снова возрастая при рифтогенной деструкции континентальной коры [Поляк, 1985].

Относительно гидротермальной активности региональные исследования выявили определенные различия тепловых параметров (температуры и количества выносимого тепла) в очагах разгрузки термоминеральных вод в разных геодинамических обстановках [Поляк и др., 1984].

Эти различия отражают специфику теплового питания гидротерм. В тектонически стабильных структурах континентальной коры вынос тепла термальными источниками (с температурой воды выше климатической среднегодовой) исчезающе мал по сравнению с фоновым кондуктивным теплопотоком, производным которого он и является.

В зонах же активного вулканизма – окраинно - материковых подвижных поясах, островных дугах и срединно-океанических хребтах – распространены гораздо более мощные, многодебитные и высокотемпературные гидротермальные системы. Они осуществляют «тепловой дренаж» локальных магматических очагов, так что вынос глубинного тепла через эти системы представляет собой фактически особую форму разгрузки глубинного тепломассопотока.

Количественные оценки суммарных эффектов кондуктивного теплопотока, вулканизма и гидротермальной деятельности в континентальном и океаническом «сегментах » земной коры суммированы в таблице 1. Эти данные позволили объективно оценить общие современные теплопотери Земли, стимулируя анализ планетарного геоэнергетического баланса.

Основы этого анализа были заложены в Геологическом институте П.Н. Кропоткиным в его пионерской работе «Основные проблемы энергетики тектонических процессов» [1946]. Но такой анализ сильно затруднен большой условностью имеющихся оценок вероятных «первичных источников» внутриземной энергии – радиоактивного распада U, Th и K, гравитационной дифференциации, ротационногенного тепла и др. По грубо ориентировочным оценкам [Поляк и др., 1972; Кропоткин, Поляк, 1973], потенциала этих источников недостаточно, чтобы обеспечить накопление энергии в теле планеты (в виде глубинного тепла и др.) и ее отдачу в околоземное пространство за всю историю Земли.

Возможно, однако, что это расхождение – только кажущееся из - за неточности оценок различных эффектов, тем более, что предполагаемая современная мощность «первичных источников» оказывается больше наблюдаемых теплопотерь.

Таким образом, проблема геоэнергетического баланса пока еще далека от разрешения. Но данные такого рода имеют ключевое значение для создания правильной картины эволюции Земли и оценки ее нынешнего состояния, что оправдывает любые усилия, направленные на их уточнение. Последнее представляется одной из важнейших задач будущих исследований.

Таблица 1. Теплопотери Земли.

Виды теплопотерь	Современная мощность		Ссылки*)
	Глобальная, Вт	Удельная, мВт/м^2	
Кондуктивный теплопоток			
через континентальную кору	(1,0-!.3)×10^{13}	49-60	1-6
через океаническую кору	1,6×10^{13}	50-65	1-3
Среднеплавнетарный	(2,5-3,2)×10^{13}	49-63	1-3
Адвективный вынос тепла			
вулканизмом суши	(0,12-4.2) ×10^{11}		7-12
гидротермами суши	(0,6-0,9) ×10^{11}		12, 13
общий в срединно-океанических хребтах	(0,4-1,1) ×10^{13}		4-6,12, 14, 15
Суммарные теплопотери			
через континентальную кору	(1,0-!.3)×10^{13}	49-67	1-6, 16, 17
через океаническую кору	2,5×10^{13}	95-100	4-6, 16, 17
Среднепланетарные	(2,5-4,3)×10^{13}	49-85	1-6, 14, 16-18

*)1 – Lee, 1963; 2 –Смирнов, 1967; 3 – Chapman & Pollack, 1976; 4 – Turcotte & Burke, 1978; 5 – Chapman & Pollack, 1980; 6 – Sclater et al., 1980; 7 – Lotze, 1927; 8 – Verhoogen, 1946; 9 – Люстих, 1959; 10 – Поляк, 1966; 11 – Kappelmeyer & Haenel, 1974; 12 – Iriyama, 1977; 13 – Макаренко и др., 1970; 14 – Williams & von Herzen, 1974; 15 – Anderson et al., 1977; 16 – – Sclater et al., 1981; 17 – Смирнов, 1984, 18 – Смирнов, Кононов, 1991.

2. Механизм тепломассопереноса в недрах

2.1. Изотопный состав гелия в подземных флюидах

Как отмечено в разделе 1.1, возрастной тренд в распределении плотности теплового потока на континентах, как и в океаническом дне, приписывался вторжению в кору мантийных расплавов. Но если в отношении океана это вполне очевидно – подводные извержения вулканов в осевых долинах срединно - океанических хребтов на коре «нулевого» возраста неоднократно наблюдались непосредственно, то для континентов такое представление оставалось гипотетичным и нуждалось в подтверждении вещественными признаками вторжения мантийного вещества в зонах повышенного теплового потока.

Такие признаки принесло изучение изотопов гелия в подземных флюидах. Эти исследования сначала вскрыли резкое различие величин отношения $^3He/^4He = R$ в разных геологических объектах. В атмосфере это отношение составляет 1,4x10^{-6} [Мамырин и др., 1970]. В базальтах же срединно - океанических хребтов, фумаролах действующих вулканов и других мантийных дериватах изотопно - гелиевое отношение лежит в диапазоне (1.2 - 5.0)x10^{-5}, показывая присутствие в Земле остатков первозданного гелия с R ~ 1x10^{-4}, захваченного ею при аккреции. Напротив, в гелии, постоянно образующемся в недрах в результате радиоактивного распада U и Th, при кларковом содержании материнских элементов это отношение $R \approx 2x10^{-8}$, представляя «каноническое» радиогенное значение $^3He/^4He$ (см. сводки [Мамырин, Толстихин, 1981; Поляк, 1988] и ссылки в них). Дальнейшие исследования обнаружили в региональных особенностях изотопного состава гелия такую же тектоническую упорядоченность – отрицательную корреляцию величины отношения $^3He/^4He = R$ с возрастом складчатости или повторной тектономагматической активизации, – какая была выявлена ранее в латеральных вариациях плотности фонового кондуктивного теплового потока q.

Целесообразность совместного анализа данных о тепловом потоке из недр и гелии, который постоянно выделяется из твердой

Земли в атмосферу, диссипируя оттуда в космос, вполне очевидна: радиоактивный распад урана и тория – один из источников внутриземного тепла – постоянно продуцирует гелий, причем почти исключительно один его тяжелый изотоп ^{4}He. Поэтому предпринимались попытки увязать геотермический поток с потоками в атмосферу как ^{4}He, так и ^{40}Ar — продукта распада ^{40}K [Булашевич, 1974, 1975]. Но оказалось, что плотность кондуктивного теплового потока q положительно коррелирует с относительной концентрацией не тяжелого (радиогенного), а легкого изотопа гелия ^{3}He, т.е. с примесью остатков первозданного гелия, до сих пор сохранившихся в мантии.

При одинаковой тектонической упорядоченности R и q вполне естественной оказалась положительная корреляция между самими этими параметрами. Она была найдена как в масштабе всего континентального блока Северной Евразии (рис.2)., так и в региональном, а иногда даже локальном масштабе – на Северном Кавказе [Polyak et al., 2000], в Восточных Карпатах [Поляк и др., 1999], в грабене Охрже [Поляк и др. 1982], Байкальской рифтовой зоне [Поляк, 2000], рифтах восточного Китая [Du, 1992], в Японии [Sano et al., 1982], Италии [Italiano et al., 2000] и т.д.

Тем самым получила подтверждение гипотеза о связи высокого кондуктивного теплопотока из твердой Земли с вторжением в кору (литосферу) мантийного вещества, маркированного гелием с повышенным (по сравнению с радиогенным) содержанием изотопа ^{3}He.

Корреляция плотности теплового потока, q, и отношения ^{3}He/^{4}He в геологических объектах выражает естественную парагенетическую связь двух параметров, отражающих действие одной и той же причины – разгрузки тепломассопотока из недр, которая вызывает тектономагматическую активность. Совместный анализ q и R глубоко оправдан, потому что оба параметра обладают важнейшей общей чертой – внутренне обусловленной изменчивостью во времени – из-за остывания недр (источников тепла) и радиогенной генерации ^{4}He, соответственно. Эта черта кардинально отличает q и ^{3}He/^{4}He от всех остальных количественных геологических, геофизических и геохимических параметров, кроме радиоизотопных, т.е. таких, как ^{87}Sr/^{86}Sr, ^{143}Nd/^{144}Nd, ^{206}Pb/^{204}Pb и т.п. Именно поэтому синтез данных играет ключевую роль в решении проблем геологической эволюции.

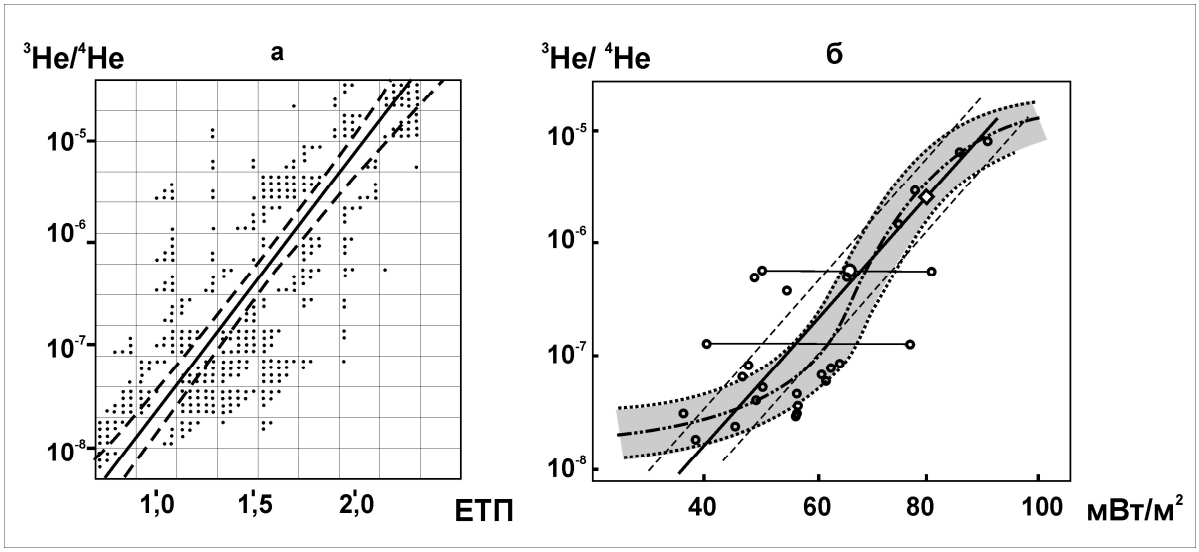


Рис. 2. Корреляция изотопного состава гелия в подземных флюидах и фонового кондуктивного теплового потока. (А) – индивидуальные значения ^{3}He/^{4}He на территории СССР [Поляк и др., 1979], (В) – средние значения обоих параметров в геотектонических элементах Северной Евразии [Поляк, 1988].

Таким образом, установленная тройственная взаимосвязь $q - t - R$ показала, что величина плотности кондуктивного теплопотока на верхней границе твердой Земли отражает тепловой импульс в недрах, сопровождающийся появлением в подземных флюидах мантийного гелия и проявляющийся в тектономагматической активности. Как показывают геологические наблюдения, в истории практически любого блока континентальной коры такая активность проявлялась неоднократно. Ее многофазность в конкретном геоблоке свидетельствует о последовательном проявлении нескольких тепловых импульсов, каждый из которых, несомненно, оказывал соответствующее воздействие на геотермическое поле. Возраст же той или иной фазы тектономагматической активности отражает только время проявления конкретного импульса, ничего не говоря о его величине. Судя по тому, что характер и масштабы этой активности – как синхронной в разных регионах, так и разновременной в одном и том же участке коры – бывают существенно различными, вызывающие ее тепловые импульсы имели разную величину и, соответственно, разное время релаксации.

Представляется, что это и есть фундаментальная общая причина затушевывания связи q и t . Если в разных районах одного геоблока происходили разновременные и/или разномасштабные тепловые импульсы, маркированные появлением в подземных флюидах мантийного гелия, они должны были привести к различию в этих районах современной плотности кондуктивного теплопотока и соответствующей дисперсии наблюдаемых частных значений q, которая, естественно, усугубляется всеми перечисленными в разделе 1.1 факторами, искажающими глубинный теплопоток.

При одноактной тектономагматической активности изменение глубинного теплового потока в истории земной коры должно выражаться зависимостью вида:

$$q^{гл} \rightarrow \mathrm{f}\,(t, E),$$

где E – количество тепловой энергии, привнесенной в кору соответствующим импульсом в момент t. В случае внедрения мантийного диапира это количество должно быть пропорционально его массе M, так что справедливо и выражение

$$q^{гл} \rightarrow \mathrm{f}\,(t, M).$$

Исправленные" (отвечающие глубинным) значения q должны совпадать во всех геоблоках, сформированных одним синхронным равновеликим импульсом (например, M_1 в момент t_1). Но если величина (мощность) такого импульса в разных блоках была разной, этого не будет.

Если такие импульсы в истории данного геоблока происходили неоднократно, то, полагая температуру и теплоемкость вторгающегося в кору мантийного вещества всегда одинаковыми (вряд ли могло быть иначе), в конкретном пункте наблюдений

$$q^{гл} \rightarrow \mathrm{f}\,(t_1, M_1;\ t_2, M_2;\ t_3, M_3 \ldots).$$

Если бы M_1, M_2, M_3 … были известны, то можно было бы вычислить "средний" возраст тектономагматической активности $t_{ср}$ в пункте определения q:

$$t_{ср} = \mathrm{S}\, t_i\, M_i \,/\, \mathrm{S}\, M_i$$

Использование таких формальных оценок "геотермического возраста", не отвечающих реальной дате любого из серии учитываемых термальных событий, ликвидировало бы дисперсию оценок q, приписываемых одним и тем же моментам (этапам) геологической истории.

Такой подход может объяснить встречающиеся в одном геоблоке (сформированном импульсом M_1 в эпоху t_1) обратные соотношения q в районах его разновременной повторной активизации (в моменты t_2 и t_3). Наблюдаемые в таких районах значения q будут больше, чем q_1. Причем когда $M_2/M_1 \leq M_3/M_1$, то $q^{гл}_3$ должно быть больше $q^{гл}_2$, но если $M_2/M_1 \geq M_3/M_1$, то $q^{гл}_3 \leq q^{гл}_2$ (рис.3).

К сожалению, не приходится рассчитывать на достоверные оценки разновременных M: они требуют учета скрытой (плутонической) разгрузки мантийного вещества в кору, по-видимому, намного превышающей открытую (вулканическую), следы которой к тому же в значительной степени уничтожены последующей эрозией. Однако подвергать сомнению существование связи теплового потока с возрас-

том термальных событий в земной коре из-за дисперсии эмпирических данных нет оснований.

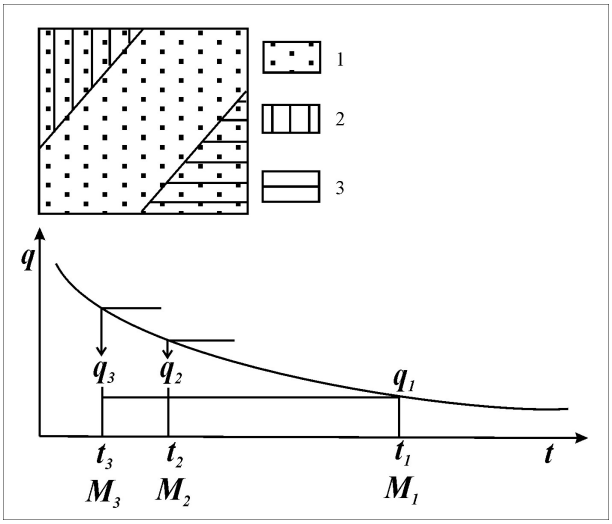


Рис. 3. Соотношение величин плотности кондуктивного теплопотока в геоблоках, подвергшихся повторной тектоно - магматической активизации [Поляк, 2000].

2.2. Материальная природа тепломассопотока из недр

Итак, согласованные пространственно-временные особенности распределения *R* и *q* показывают, что во время тектономагматической активности в континентальную кору (литосферу) поступает тепломассопоток, маркированный мантийным гелием. Какова же его материальная природа? Он не может состоять из одного такого гелия, так как его поток в атмосферу ничтожен – в удельном выражении не более 10^{10} атомов/м^2·с [Озима, Подосек, 1987] или еще меньше [O'Nions and Oxburgh, 1988].

Вынос же тепла этим массопотоком определяется превышением кондуктивных теплопотерь в зоне его современной разгрузки над их минимальным уровнем в континентальной коре, отвечающим ее дорифейским блокам (планетарным континентальным фоном). По геотермическим данным, этот избыток в удельном выражении составляет 40 - 50 мВт/м^2, а в интегральном - около 10^{12} Вт [Поляк, 1988]. Может ли быть носителем такого количества тепла и мантийного гелия автономный поток других летучих? Если бы он состоял из H_2O, будучи надкритическим флюидом с теплосодержанием 1000 кал/г ≈ 4180 kJ/kg (отвечающим температуре около 900°C, т.е.,), то для обеспечения избыточного выноса тепла его дебит должен был бы быть не меньше 3 км^3/год.

Такой поток наполнил бы Мировой океан (1,37.10^9 км^3) всего за ~ 430 млн. лет, т.е. за одно только послеордовикское время или даже еще быстрее.

Поэтому маркированный мантийным гелием избыточный тепломассопоток в зонах тектономагматической активности нельзя отождествить с автономным потоком летучих. Отсюда следует вывод о силикатной природе этого массопотока. Это умозрительное заключение согласуется с представлениями о «богатых водой силикатных расплавах» [Рябчиков, 2000, стр. 198], «флюидизированном расплаве» [Летников, 2000, стр. 214]. Но, кроме этого, оно подтверждается еще и эмпирическими данными.

Эти данные – корреляция в продуктах новейшей вулканической и гидротермальной деятельности изотопных составов летучего гелия и литофильного стронция. На важность сравнения изотопных характеристик столь сильно различающихся по химическим свойствам и соответственно поведению в природе элементов было указано уже давно [Толстихин и др., 1976]. Вскоре этот подход был реализован при исследованиях геотермальной активности в Италии [Поляк и др., 1979]. Сопоставление состава гелия в газах источников Тосканы, Лациума, Кампаньи и Сицилии с составом стронция в вулканитах, распространенных в их окрестностях, выявило тесную отрицательную корреляцию величин $^3He/^4He$ и $^{87}Sr/^{86}Sr$, подтвержденную и последующими работами (рис.4).

Плиоцен - четвертичный возраст итальянских вулканитов неизмеримо меньше периодов полураспада материнских для ^{87}Sr и ^4He радиоактивных элементов. Поэтому полученная линия регрессии (рис. 4а) представляет собой не что иное, как типичный график смешения двух компонентов, один из которых характеризуется мантийным изотопным составом He и Sr, а другой - ко-

ровым. Эта корреляция указывает на перенос летучего He и литофильного Sr общим агентом, каковым может быть только силикатное вещество. Доля мантийного компонента растет вдоль Апеннинского полуострова к югу вместе с омоложением вулканических построек.

Это показывает, что контаминация мантийного вещества коровым происходила главным образом непосредственно в зоне магмообразования, северная граница которой в плиоцен - четвертичное время смещалась к югу при понижении в том же направлении ее кровли.

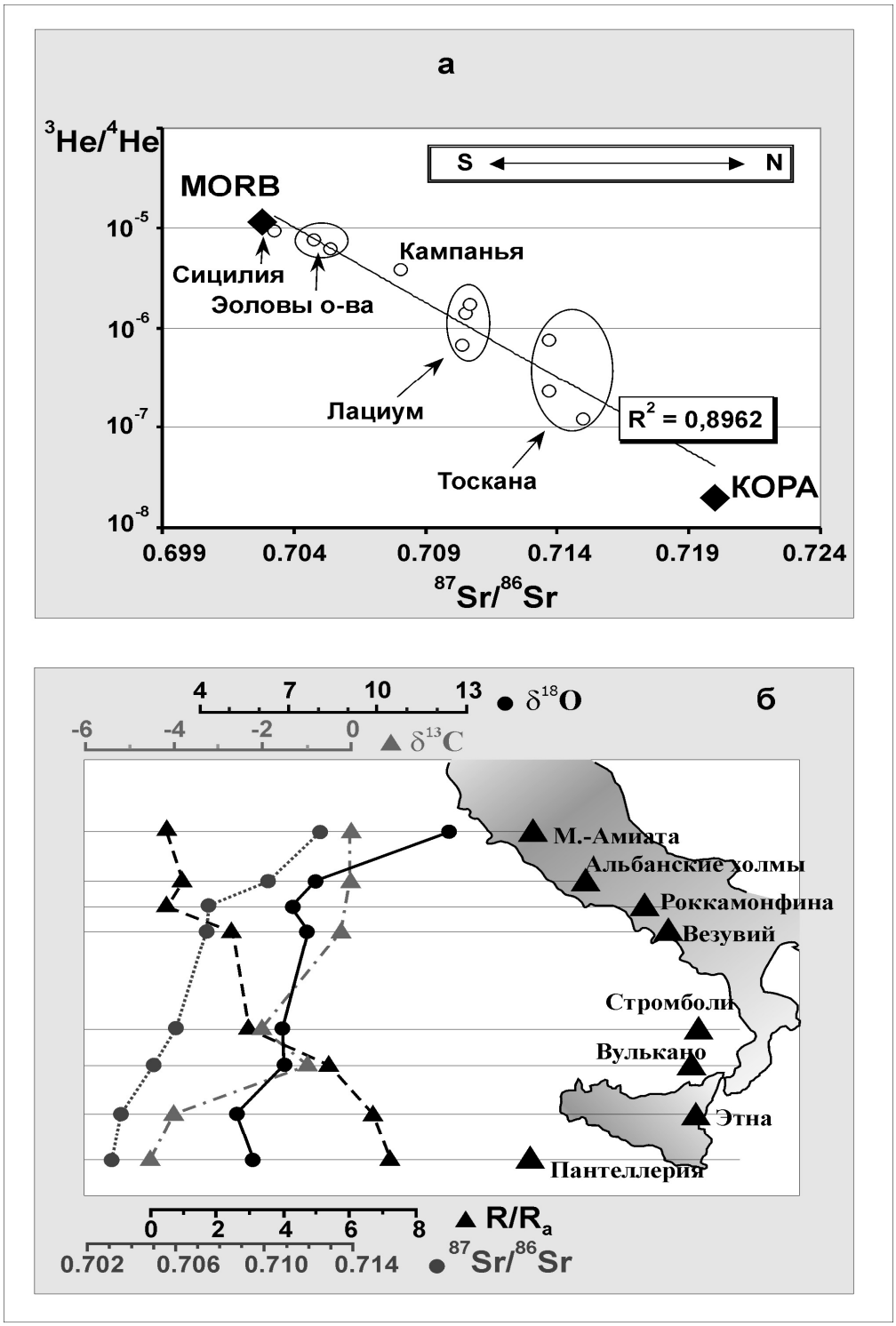


Рис. 4. Корреляция изотопных составов гелия в продуктах геотермальной активности Италии. (А) – по [Поляк и др., 1979б]б (В) – по [Parello et al., 2000].

Рост же доли корового компонента к северу согласуется с давно отмеченным в том же направлении возрастанием в молодых базальтах концентрации K_2O, достигающей 8,7 % вес. [Hurley et al., 1966]. Это противоречит представлениям об универсальности прямой связи содержания калия с глубиной генерации магм.

Корреляция величин $^3He/^4He$ и $^{87}Sr/^{86}Sr$ в продуктах геотермальной активности отчетливо проявляется и в других районах мира – в Кавказском сегменте Альпийского пояса [Polyak et al., 2000], на активной окраине Южной Америки [Hilton et al., 1993], в островных дугах Индонезии [Hilton et al., 1989]. Это общее явление, которое указывает на перенос летучего He и литофильного Sr из мантии в кору одним агентом – силикатным веществом.

В свете этих данных следует пересмотреть и уточнить представления о газогеохимической зональности современных гидротерм, совершенно очевидной во всех районах повышенной геотермальной активности, отличающей тектонически мобильные пояса. Гидрохимиками по преобладающим компонентам в свободной газовой фазе давно выделяются разные генетические типы термоминеральных вод: метановые, азотные, углекислые, азотно-углекислые, сероводородно - углекислые, водородные (см. [Иванов,1960; Кононов, 1983] и др.). Возникновение и распространение большинства этих типов вод связано с проявлениями вулканизма, и лишь первые два – метановые и азотные – формируются и вне вулканических областей.

Очень ясно газогидрогеохимическая зональность гидротерм проявляется в Исландии (рис. 5), где она хорошо согласуется с геолого - структурным районированием острова [Кононов, Поляк, 1974,

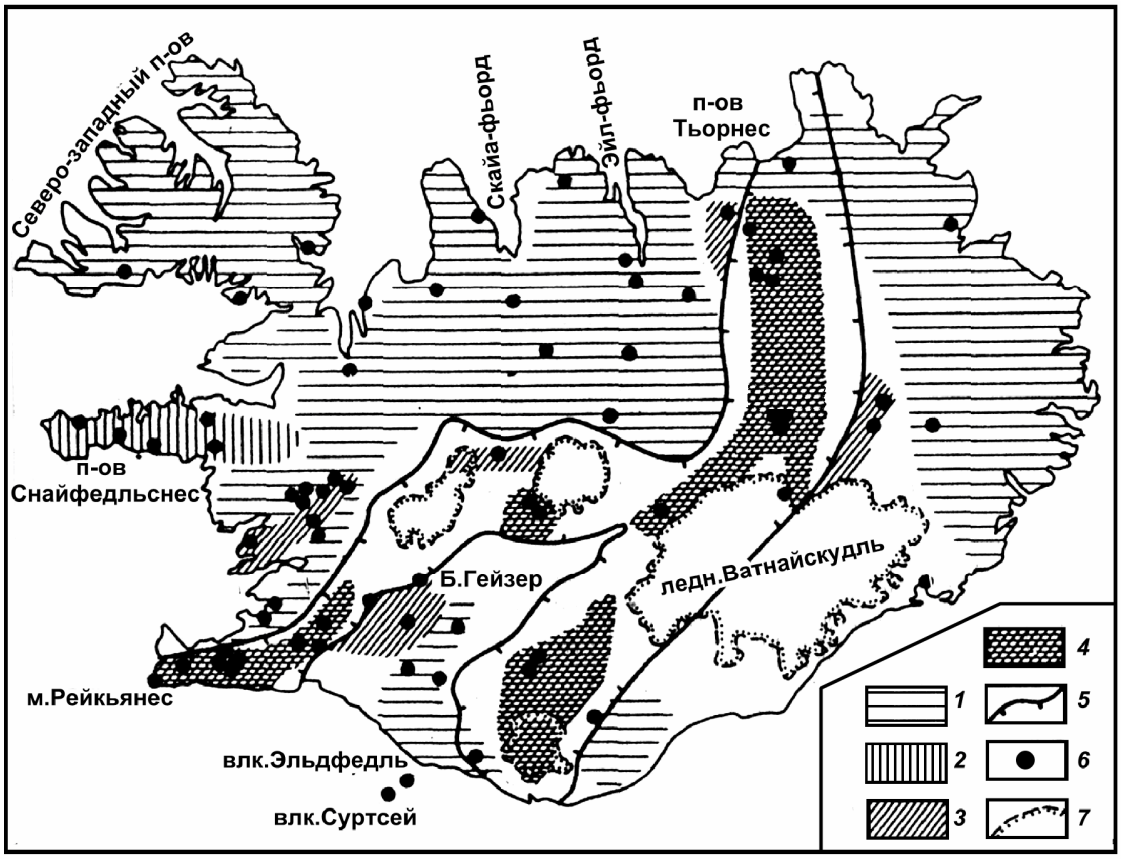


Рис.5. Схема газовой зональности современных гидротерм Исландии .Зоны распространения флюидов: 1 - азотных, 2 - углекислых, 3 - азотно - углекислых, 4 - водородных, 5 - границы вулканически активных ветвей Срединной зоны, 6 - термопроявления с изученным газовым составом, 7 - границы ледников.

Kononov, Polyak, 1980]. Так, в области развития миоцен-нижнеплиоценовых платобазальтов распространены азотные термы. На полуострове Снайфедльснес, где вулканическая активность, по-видимому, угасает, распространены углекислые воды. На участках плейстоценовой вулканической активности Срединной зоны и некоторых прилегающих к ним разгружаются азотно-углекислые пароводяные смеси. Наконец, в осевых, самых активных частях всех ветвей Срединной зоны развиты наиболее высокотемпературные водородные парогидротермальные системы.

Самым распространенным в мире типом гидротерм является **азотный**. Термы этого типа представляют собой метеогенные воды, более или менее нагретые при циркуляции в региональном геотермическом поле. Изначально насыщенные при атмосферном давлении воздушными газами в количествах, отвечающих их растворимостям, эти воды в процессе подземной циркуляции постепенно утрачивают растворенный кислород, расходующийся в реакциях окисления минерального вещества. Если в них при этом не поступают газы иного, неатмогенного происхождения, то в конечном счете они будут содержать только азот и аргон в соотношении, отвечающем водорастворенному воздуху – $[N_2]/[Ar] \approx 60$ (из-за лучшей растворимости аргона). При полной дегазации таких вод в составе выделившегося газа содержание N_2 составит 98,3 % об., а при неполной – еще больше. Присутствие же в газовой фазе любого количества других компонентов (кроме кислорода) – сигнал, что в формировании терм участвовали иные источники. Как правило, азотные термы распространены вне районов новейшего вулканизма.

Метан, присутствующий в свободной газовой фазе термальных флюидов, в отличие от азота, имеет глубинное происхождение. Он образуется при термокатализе органического вещества, содержащегося в породах. Поэтому воды, содержащие в газовом составе CH_4 (с той или иной примесью азота и углекислоты), встречаются исключительно в нефтегазоносных районах независимо от их тектонической принадлежности. Обычно тепловые параметры этих вод невысоки, но в Восточно - Африканской рифтовой зоне около оз. Найваша на глубине 1 км вскрыты необычные метановые парогидротермы с температурой 202°С [Ткаченко и др.,1978]. Их происхождение связано, по - видимому, с внедрением в артезианский бассейн, содержащий метановые воды, магматического тела.

Углекислые минеральные воды содержат в газовой фазе до 100 % об. CO_2 . Считается, что формирование обширных провинций таких вод происходит под воздействием процессов регионального метаморфизма, разрушающих карбонатное вещество горных пород, в то время как внедрение отдельных интрузий во вмещающие толщи может обеспечить лишь их локальные месторождения. При разгрузке сильно газонасыщенных углекислых вод иногда возникают отрицательные термоаномалии из - за кулинг - эффекта, вызванного адиабатическим расширением выделяющегося газа. Последнее явление известно, в частности, у г. Развалка на Кавказских Минеральных Водах. В общем, углекислые воды типичны для районов с затухающей или сравнительно маломощной вулканической активностью. Холодные и теплые углекислые воды особенно широко развиты в альпийских орогенах (Альпы, Карпаты, Балканы, Кавказ, Копетдаг). Встречаются они и в районах новейшей тектоно - магматической активизации (например, в рифтогенных грабенах Центральной Европы или в Забайкалье). Горячие углекислые источники встречаются на активных окраинах материков и в островных дугах (Курило - Камчатский регион и др.), где они могут быть связаны с не до конца остывшими локальными магматическими очагами.

К **углекислым и азотно - углекислым термам** относятся самые известные мощные высокотемпературные гидротермальные системы, которые от азотных отличаются присутствием в газовой фазе существенного количества CO_2, а от типично углекислых – меньшим газовым фактором и

намного большим тепловым потенциалом. Они распространены в районах современного вулканизма окраинно - материковых поясов и островных дуг (гидротермальные системы Паужетская, Узон - Гейзерная и другие - на Камчатке, Горячий Пляж - на о. Кунашир, Беппу и Оникобе - в Японии, Гейзеры Сонома - в Калифорнии, термы Тосканы – Лардерелло, Монте Амиата и пр.). Встречаются они и в обстановках рифтогенеза и/или разгрузки мантийных плюмов – в Йеллоустонском парке, Эфиопском рифте, Исландии (знаменитый Большой Гейзер, системы Хвераведлир - Кьолур, Хвераведлир - Рейкьяхверфи и т.п.).

Сероводородно-углекислые термы отличаются присутствием в газовой фазе, наряду с господствующей углекислотой и примесями благородных газов и азота, еще и некоторого количества H_2S. Эти термы пространственно и генетически связаны с выходами вулканических газов и наблюдаются в кратерах и на склонах действующих вулканов на суше и островах.

Еще один из выделяемых сегодня типов термальных флюидов – **водородные термы.** Они представляют собой самую яркую и сугубо специфическую черту современной гидротермальной активности в Исландии. Здесь в газах гидротерм системы Крабла - Намафьядль содержание H_2 достигает 64 об. %, а общий его вынос в атмосферу составляет по данным [Ragnars e.a., 1970] 0,1 - 1,0 $м^3$/мин. На дневную поверхность водородные термы разгружаются в виде пароводяных смесей, а в недрах их температура может превосходить 300 ^oC. В Исландии такие парогидротермы строго локализованы в районах активного вулканизма внутри Срединной зоны. Происхождение в них водорода не вполне ясно. В принципе, возможна близповерхностная генерация H_2 из-за окисления гидросульфид - иона, содержащегося в этих флюидах, или разложения сероводорода при высокой температуре. Однако и H_2S, и HS^- – обычные компоненты вулканических парогазовых струй, в том числе и не содержащих свободного водорода. Поэтому кажется более вероятным глубинное происхождение H_2. Он может экстрагироваться из базальтов в случае воздействия на них высоких температур и высвобождаться при реакциях между водой и железосодержащими минералами в процессе серпентинизации, сопровождаемом высоким экзотермическим эффектом.

Тепловые параметры азотных, метановых и углекислых гидротерм, у которых температура на выходе ниже точки кипения, а вынос тепла в локальных очагах разгрузки составляет 10^5 - 10^6 кал/с (0,4 - 4,0 МВт), согласуются с моделью нагрева этих вод в фоновом геотемпературном поле в пределах верхних 2 - 2,5 км геологического разреза. Тепловая мощность высокоэнтальпийных водородных, сероводородно-углекислых, азотно - углекислых парогидротерм (в их одиночных очагах разгрузки ее тепловая мощность составляет 10^7 - 10^8 кал/с, или 40 - 400 МВт) не может быть обеспечена только за счёт съёма подземными водами фонового кондуктивного теплопотока и указывает на дополнительный прогрев системы теплом неглубоко залегающих магматических очагов.

Таким образом, особенности состава газовой фазы термоминеральных вод несут информацию о тепловом режиме недр, дополняющую представления о геодинамической специфике районов распространения различных типов подземных флюидов.

Кроме научной ценности, изучение термоминеральных флюидов имеет и практическую, определяя перспективы использования глубинного тепла, аккумулированного в этих флюидах. Это направление исследований имеет в Геологическом институте давние традиции. На основании этих исследований были оценены общие гидрогеотермальные ресурсы страны и определены пути и способы их освоения [«Термальные воды…», 1963; Макаренко, Кононов, 1973; Kononov, 1992,; Kononov et al., 2000; Кононов, 2002 и др.], обращалось внимание правительственных органов на необходимость широкого развития работ по использованию глубинного тепла для выработки электроэнергии и теплоснабжения, представлялись рекомендации поста-

новки таких работ на конкретных объектах, прежде всего, в Курило - Камчатском регионе. В этом последнем особое внимание обращалось на район Мутновского вулкана, где сотрудники ГИНа еще в 1960-е годы начали режимные наблюдения за выносом тепла вулканом в межпароксизмальную стадию активности [Поляк, 1965, 1966; Муравьев и др., 1983; Поляк и др., 1985; Кафтан и др., 1986], а камчатские вулканологи (Е.А. Вакин, В.А. Дрознин, И.Т. Кирсанов, А.В. Кирюхин Г.Ф. Пилипенко, В.М. Сугробов, Ю.А. Таран, Ф.А. Яновский и др.) детально изучили геотермальную активность в окрестностях вулкана. В результате к настоящему времени здесь построены две геотермальных электростанции: Северо - Мутновская ГеоЭС установленной мощностью 12 МВт$_э$ и Мутновская (50 МВт$_э$) и ведутся работы по строительству ещё одной станции мощностью 100 МВт$_э$. Параллельно с освоением Мутновского парогидротермального месторождения решается вопрос теплоснабжения городов Петропавловска - Камчатского и Елизово, а также ряда населённых пунктов в центральной части полуострова.

3. Направления геотермии в XXI веке

Сложившаяся в XX веке структура геотермических исследований сохранится, судя по всему, и в начале следующего.

В области теоретической геотермии самыми важными проблемами останутся происхождение глубинного тепла и механизмы его переноса к поверхности Земли. Должны быть выяснены причины часто проявляющейся, как теперь стало известно, вертикальной изменчивости плотности кондуктивного теплового потока. Как в таком случае следует картировать латеральные вариации теплового потока – привязывать ли их к одной и той же глубине от поверхности Земли, или - к единому гипсометрическому уровню, или - к общей границе (структурной, стратиграфической, литологической) в геологическом разрезе? Отображать ли эти вариации изолиниями или - методом скользящего окна («лоскутного одеяла»)?

Региональные геотермические исследования в наступившем веке вообще будут базироваться на новой идеологии. Каждое измерение теплового потока должно подвергаться тщательному анализу и количественной оценке влияния всех искажающих факторов. Алгоритмы ввода соответствующих поправок необходимо унифицировать. В глобальные базы геотермических данных следует включать как измеренное, так и скорректированное значение теплового потока, значения коэффициентов теплопроводности и температуропроводности вскрытых пород, величину радиотеплогенерации вдоль ствола скважин, а также количественную характеристику интенсивности конвективного тепломассопереноса за счет движения подземных вод. Такая информация покажет, какова «поверхностная» радиотеплогенерация в разновозрастных структурах, насколько глубинный тепловой поток экранируется алохтонными пластинами и быстро накапливающимися осадками, как влияют процессы гидратации и дегидратации на глубинные температуры и тепловой поток – не являются ли именно они причиной повышения геотермических градиентов в нижних частях глубоких скважин? В морской геотермии основным приемом станет полигонный метод измерения теплового потока, так как только такие результаты, в отличие от одиночных измерений, позволяют корректно интерпретировать геотермическую информацию, полученную на акваториях.

Развитие компьютерных геоинформационных технологий позволит выяснить тонкую структуру температурного поля на различных глубинах и получить представление о конфигурации характерных изотермических поверхностей: точки Кюри, температуры солидуса и др. Объемное моделирование теплового поля вместе с моделированием других геофизических полей и привлечением имеющейся геолого-тектонической информации в конечном счете даст объективную основу для заключений о геодинамическом режиме недр и его вероятной эволюции.

Получение новых эмпирических данных будет опираться на усовершенствован-

ное аппаратурно - методическое обеспечение геотермических измерений.

В этой области на первое место выйдут методы определения геотермических параметров in situ. Это должно решить проблему зависимости реальных теплофизических свойств среды от PT - условий, т.к. измеряемые в лаборатории значения коэффициентов тепло- и температуропроводности пород не отражают влияния термобарических условий, в которых горные породы находятся в естественном залегании. Такой подход уже сейчас реализован в океанических измерительных зондах. По тому же пути рано или поздно пойдет и развитие скважинной техники. Повышение чувствительности термодатчиков и развитие микропроцессорных устройств откроет возможности усовершенствования приборов для измерения плотности теплового потока – тепломеров, которые позволят фиксировать не только аномально высокие, но и фоновые значения теплового потока. Постоянной практикой представления данных о теплофизических свойствах в научных публикациях и производственных отчетах станет указание на анизотропию тепло- и температуропроводности пород.

В области прикладной геотермии совершенствование методов термической разведки в сочетании с моделированием глубинных температур позволит точно прогнозировать глубину нахождения зоны катагенеза в осадочных бассейнах и давать рекомендации по локализации поисков и разведки нефтегазовых залежей. Это должно привести к значительной экономии средств на поисково - разведочные работы, т.к. терморазведка – самый экономически выгодный метод разведочной геофизики. Наконец, дальнейшее развитие получат геотермические исследования, направленные на выявление и оценку ресурсов глубинного тепла – неисчерпаемого, экологически чистого источника энергии для экономики будущего.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты №№ 05 - 05 - 64011 и 06 - 05 - 64647).

Литература

1. *Булашевич Ю.П.* (1974) О связи выделения гелия и аргона из мантии с термической эволюцией Земли // Доклады АН СССР, 1974, т. 216, № 5. с. 1026 - 1029.

2. *Булашевич Ю.П.* (1975) Соотношение между потоками тепла и гелия из литосферы в атмосферу // В кн. «Ядерно - геофизические исследования», Свердловск, 1975. с. 16 - 20.

3. *Иванов В.В.*Основные закономерности распространения и формирования термальных вод Дальнего Востока СССР. – В кн. Вопросы формирования и распространения минеральных вод СССР. М.: Медгиз, 1960, с 172 - 260.

4. *Кафтан В.И., Поляк Б.Г., Турков В.П.* (1986) Связь вертикальных деформаций и температур грунта в северо - восточном кратере вулкана Мутновского (Камчатка) // Вулканология и сейсмология, 1986, № 1. с.91 - 93.

5. *Кононов В.И.* Геохимия термальных вод областей современного вулканизма (рифтовых зон и островных дуг).– М.: Наука, 1983. 216 с.

6. *Кононов В.И., Поляк Б.Г.* Гидрохимическая зональность Исландии как отражение ее геологического строения //Докл. АН СССР, т.214, №1, 1974. с.163 - 165.

7. *Кононов В.И.* (2002) Геотермальные ресурсы России и их использование//Литология и полезные ископаемые,2002, №2, с.115 - 125.

8. *Кропоткин П.Н.* (1946) Основные проблемы энергетики тектонических процессов // Изв. АН СССР, сер. геол., 1948, №. 5. с. 89 - 104.

9. *Кропоткин П.Н., Поляк Б.Г.* (1973) Энергетический баланс Земли // «Земная кора сейсмоопасных зон». М.: Наука, 1973. с.7 - 24.

10. *Кутас Р.И., Гордиенко В.В.* (1972) Тепловое поле Карпат и некоторые вопросы геотермии // Труды МОИП, 46, отд. геол., М.:Наука, с. 75 - 80.

11. *Летников Ф.А.* Флюидный режим эндогенных процессов в континентальной литосфере и проблемы металлогении // В: Проблемы глобальной геодинамики (ред. Д.В. Рундквист), М: Геос, 2000, с. 204 - 224.

12. *Люстих Е.Н.* О роли вулканов и терм в выносе тепла из недр Земли // Проблемы геотермии и практ. использ. тепла Земли, т.1., М.: изд - во АН СССР, 1959. с. 31 - 36.

13. *Макаренко Ф.А., Кононов В.И.* Гидротермальные районы СССР и перспективы их освоения. – В кн.: Изучение и использование глубинного тепла Земли. М,: Наука, 1973, с. 74 - 84.
14. *Макаренко Ф.А., Поляк Б.Г., Сугробов В.М.* Конвективное перераспределение глубинного тепла в пределах земной коры // Тепловой режим недр СССР (Тр. ГИН, вып. 218), М.: Наука, 1970. с. 57 - 69.
15. *Мамырин Б.А., Ануфриев Г.С., Каменский И.Л., Толстихин И.Н.* Определение изотопного состава гелия в атмосфере //Геохимия. 1970. №6, с.721 - 730.
16. *Мамырин Б.А., Толстихин И.Н.* Изотопы гелия в природе. М.: Энергоиздат. 1981. 222 с.
17. *Муравьев А.В., Поляк Б.Г., Турков В.П., Козловцева С.В.* (1983) Повторная оценка тепловой мощностифумарольной деятельности на вулкане Мутновский (Камчатка) // Вулканол. и сейсмология, 1983, № 5. с.51 - 63.
18. *Озима М., Подосек Ф.* Геохимия благородных газов. Л: Недра, 1987, 343 с
19. *Поляк Б.Г.* (1965) Тепловая мощность межпароксизмальной стадии активности Мутновского вулкана // Докл. АН СССР, 1965, т. 165, №3. с. 643 - 646.
20. *Поляк Б.Г.* (1966) Геотермические особенности области современного вулканизма. М.: Наука, 1966. 180 с.
21. *Поляк Б.Г.* (1985) Продуктивность вулканизма в разной тектонической обстановке // «Вулканизм и связанные с ним процессы» (тез.докл.на VI Всес. вулканол. совещ.). Вып.1, ИВ ДВНЦ АН СССР, 1985. с.50 - 51.
22. *Поляк Б.Г.* Тепломассопоток из мантии в главных структурах земной коры. М.: Наука, 1988, 192 с.
23. *Поляк Б.Г.*(2000) Изотопы гелия в пордземных флюидах Байкальской рифтовой зоны (к геодинамике континентального рифтогенеза) // Российский журн. наук о Земле, 2000, т. 2, № 2. с. 109 - 133.
24. *Поляк Б.Г.*(2000) Тепловой поток и “средний возраст” термальных событий в земной коре // В “Тепловое поле Земли и методы его изучения” , М.: РУДН, 2000. с. 5 - 12.
25. *Поляк Б.Г., Смирнов Я.Б.* (1966) Тепловой поток на континентах // Доклады АН СССР, 168, № 1, с. 170 - 172.
26. *Поляк Б.Г., Смирнов Я.Б.* (1968) Связь глубинного теплового потока с тектоническим строением континентов // Геотектоника, № 4, с. 3 - 19.
27. *Поляк Б.Г., Гордиенко В.В., Чешко А.Л., Каменский И.Л., Прасолов Э.М., Тарасов В.Н.* (1999) Изотопы гелия в подземных флюидах Восточных Карпат // Доклады РАН, 1999, т. 367, № 2. с. 244 - 249.
28. *Поляк Б.Г., Кононов В.И., Гавлина Г.Б.* (1984) Взаимосвязь современной геотермальной и тектонической активности территории СССР // «Современ. тект. активность территории СССР», М: Наука, 1984, с. 66 - 73.
29. *Поляк Б.Г., Кропоткин П.Н., Макаренко Ф.А.* (1972) Основные проблемы геоэнергетики // «Энергетика геологич. и геофизич. процессов» (Труды МОИП, отд. геол., т.46). с.7 - 6.
30. *Поляк Б.Г., Прасолов Э.М., Чермак В.* (1982) Мантийный гелий в «ювенильных» флюидах и природа геотермической аномалии Рудных гор // Доклады АН СССР, 1982, т. 263, № 3. с. 701 - 705.
31. *Поляк Б.Г., Толстихин И.Н., Якуцени В.П.* (1979а) Изотопный состав гелия и тепловой поток – геохимический и геофизический аспекты тектогенеза // Геотектоника, № 5, с. 3 - 23.
32. *Поляк Б.Г., Прасолов Э.М., Буачидзе Г.И. и др.* (1979б) Изотопный состав He и Ar в термальных флюидах Альпийско-Апеннинского региона и его связь с вулканизмом // Доклады АН СССР, 1979, т.247. с.1220 - 1225.
33.*Романов В.А.* Тектоника Магнитогорского мегасинклинория. Уфа: ИГ БФ АН СССР. 1985. 112 с.
34. *Рябчиков И.Д.* Флюидный режим мантии Земли // В: Проблемы глобальной геодинамики (ред. Д.В. Рундквист), М: Геос, 2000, с. 195 - 203.
35. *Смирнов Я.Б.* (1967) Тепловая энергия Земли и ее геологические проявления // Докл. АН СССР, 1967, т. 177, № 2. с. 325 - 328.
36. *Смирнов Я.Б* (1972) Земной тепловой поток и проблемы энергетики геосинклинали // Труды МОИП, 46, отд. геол.,

М.:Наука, с. 52 - 74.
37. *Смирнов Я.Б.* (1980) Тепловое поле территории СССР. М: ГУГК. 150 с.
38. *Смирнов Я.Б.* (1984) Новые принципы анализа данных теплового потока на территории СССР и некоторые аспекты изучения тектонической активности // Соврем. тект. ативность территории СССРб, М.: Наука, 1984. с.50 - 65.
39. *Смирнов Я.Б.* (1986) Геотермическая карта Северной Евразии и методы анализа термической структуры литосферы (пояснительный текст).– М.: ГИН АН СССР.1986.
40. *Смирнов Я.Б., Кононов В.И.* Геотермические исследования и сверхглубокое бурение // Советская геология, 1991, №8, с. 25 - 37
41. Термальные воды СССР и вопросы их теплоэнергетического использования (ред. Ф.А. Макаренко). М.: изд-во АН СССР, 1963. 292 с.
42. *Ткаченко Р.И., Флерова Л.И., Маринов Н.А*. Минеральные и термальные подземные воды. – В кн.: Гидрогеология Африки. М.: Недра, 1978, с. 288 - 331.
43. *Толстихин И.Н., Друбецкой Е.Р., Эрлих Э.Н., Мамырин Б.А*. К вопросу о происхождении кислых вулканических пород Камчатки // Геохимия, 1976, № 5, с. 682 - 695.
44. *Хуторской М.Д.* Тепловой поток, модель строения и эволюции литосферы Южного Урала и Центрального Казахстана //Геотектоника. 1985. N 3. с.77 - 88.
45. *Хуторской М.Д.* (1996) Геотермия Центрально-Азиатского складчатого пояса. М.: РУДН. 289 с.
46. *Anderson R.N., Langseth M.G., Sclater J.G.* (1977) The mechanism of heat transfer through the floor of the Indian Ocean // Journ. Geophys. Res., 1977, vol. 82, No. 23. P. 3391 - 3408.
47. *Cermak V.* (1976) Heat flow investigation in Czechoslovakia // In: “Geoelectric and Geothermal Studies” (KAPG Geophys. Monogr., A. Adam, ed.) Budapest, Akad. Kiado, P. 414 - 424.
48. *Chapman D. and Furlong K.* (1977) Continental heat flow–age relationships // Trans. Amer. Geophys. Un., 58, P. 1240 - 1251.
49. *Charman D. and Pollack H.* (1976) Global heat flow: a new look // Earth. Planet. Sci. Lett., 28, no. 1, P. 23 - 32.
50. *Charman D. and Pollack H.* (1980) Global heat flow: spherical harmonic representation // Trans/ Amer/ Geophys/ Un/ (Eos), 1980, vol. 61. P. 383
51. *DU J.* (1992) $^3He/^4He$ ratios and heat flow in the continental rift-valley // Works of gas geochemistry (Xu Y., ed.) Lanzhou: Gansu Science and Tecnol. Press, 1992. P. 165 - 171.
52. *Hamza V.M. and Verma R.K.* (1969) The relationship of heat flow with the age of basement rocks // Bull. volcanol., 33, no. 1, P. 123 - 152.
53. *Hilton D.R., Hammerschmidt K., Teufel S., Friedrichsen H.* Helium isotope characteristics of Andean geothermal fluids and lavas // Earth. Planet. Sci. Lett., 1993, v. 120, P. 265 - 282.
54. *Hilton D.R., Craig H.* A helium isotope transect along the Indonesian archipelago // Nature, 1989, V. 342, P. 906 - 908.
55. *Hooker P.J., Bertrami P.J., Lombardi* S. et al. Helium-3 anomalies and crust-mantle interaction in Italy // Geochim. Cosmochim. Acta, 1985, v. 49, no. 12, P. 2505 - 2513.
56. *Hurley P.M., Fairbarn H.W. and Pinson W.R.* (Jr.) Rb - Sr isotope evidence in origin of potash-rich lavas of Western Italy // Earth. Planet. Sci. Lett., 1966, v. 5, P. 301 - 306.
57. *Iriyama J.* (1977) Energy ba cxlance of the earth’s interior // Tectonophysics, 1977, vol. 41, No. 1/3. P. 165 - 197.
58. *Italiano F., Martelli M., Martinelli G., Nuccio. P.M.* (2000) Geochemical evidence of melt intrusions along litospheric faults of the Southern Apennines? Italy: geodynamic and seismogenic implications // Journ. Geophys. Res., 2000, vol. 105, No. B6. P. 13569 - 13578.
59. *Kononov V.I.* Utilisation of geothermal energy in Russia // Geothermics, 1992. vol.21, №5/6, pp 617 - 622.
60. *Kononov V.I., Polyak B.G.* Geothermal activity of Iceland as a reflection of its geological structure. – Tectonophysics, 1980, vol. 46, P. 135 - 157.
61. *Kononov V.I., Polyak B.G., Kozlov B.M.* Geothermal development in Russia: country update report 1995–1999 // Proceed. of the World Geothermal Congress 2000, Kyushu –

Tohoku, Japan May 28 - June 10, 2000, P. 221 - 226.
62. *Kutas R.I., Lubimova E.A., Smirnov Ya. B.* (1976) Heat flow map of the European part of the USSR and its geological and geophysical interpretation // "In: Geoelectric and Geothermal Studies" (KAPG Geophys. Monogr., A. Adam, ed.) Budapest, Akad. Kiado, P. 443 - 449.
63. *Lachenbruch A.Y.* (1970) Implication of linear heat flow relation // J. Geophys. Res., 76, P. 3852 - 3860.
64. *Lee W.H.k.*(1963) Heat flow data analysis // Rev. Geophys. 1963. Vol. 1, №3. P. 449 - 479.
65. *Lee W.H.R., Macdonald J.G.F.* (1963) The global variation of terrestrial heat flow// J.Geophys.Res.1977, Vol.68, N5.
66. *Lee W.H.R. and Uyeda S.* (1965) Review of heat flow data // In: "Terrestrial heat flow" (AGU monograph no. 8, W.H.R. Lee, Ed.), Washington, P. 87 - 190.
67. *Lotze F.* (1927) Di Joly'she Radioactivitthypotese zur Erklarungder Gebirgsbildungen // Nahr. Ges. Wiss. Math.-Phys. K1, Gőttingen, 1927. S. P. 75 - 114.
68. *O'Nions R.K. and Oxburgh E.R.* Helium, volatile fluxes and the development of continental crust // Earth. Planet. Sci. Lett., 1988, v. 90, no. 1, P. 331 - 347.
69. *Parello F., Allard P., D'Alessandro W. et al.* // Isotope geochemistry of the Panterlleria volcanic fluids, Sicily Channel rift: a vantle volatile end-member for volcanism in southern Europe // / Earth. Planet. Sci. Lett., 2000, v. 180, P. 325 - 339.
70. *Pollack H.* (1980) The heat flow from the Earth: a review // In: "Mechanisms of continental drift and plate tectonics" (P.A. Davies, S.K. Runcorn, Eds.), Acad. Press, P. 183 - 192.
71. *Polyak B.G., Tolstikhin I.N., Kamenskii I.N., Yakovlev L.E., Marty B., Cheshko A.L.* Helium isotopes, tectonics and heat flow in the Northern Caucasus // Geochim. Cosmochim. Acta, 2000, v. 64, no. 11, P. 1925 - 1944.
72. *Popov Yu.A., Pribnov D., Sass J., Williams C., Burkhardt H.* Characterisation of rock thermal conductivity by high-resolution optical scanning //Geothermics, v.28. P.253 - 276. 1999.
73. *Ragnars K., Saemundsson K., Benediktsson S., Einarsson S.S.* Development of the Namafiall area – Nothern Iceland.// Geothermics/ Spec. issue 2, 1970, vol.2 pt.1, P. 925 - 935.
74. *Rao R.U.M., Rao G.V. and Reddy G.K.*(1982) A dependence of continental heat flow – fantasy and facts // Earth. Planet. Sci. Lett., 59, no. 2, P. 288 - 302.
75. *Roy R.F., Blackwell D.D., Birch F.* (1968) Heat generation of plutonic rocks and continental heat flow provinces // Earth. Planet. Sci. Lett., 5, P. 1 - 12.
76. *Sano Y., Tominaga T., Nakamura Y., Wakita H.* (1982) $^{3}He/^{4}He$ ratios in methane-rich gases in Japan // Geochem/ Journ., 1982, vol. 16. P. 237 - 245.
77. *Sclater J. and Francheteau J.* (1970) The implication of terrestrial heat flow observations on current tectonics and geochemical models of the crust and upper mantle of the earth // Geophys. J. Roy. Astr. Soc., 20, no. 5, P. 509 - 542.
78. *Sclater J., Jaupart C., and Galson D.* (1980) The heat flow through the oceanic and continental crust and the heat losses by the Earth // Review Geophys. and Space Phys, 1980, vol. 18. P. 269 - 311.
79. *Sclater J., Parsons B. and Jaupart C.* (1981) The heat flow through oceanic and continental crust and heat losses from the Earth // *J. Geophys. Res.*, 86, P. 11535 - 52.
80. *Turcotte D.L. and Burke K.* (1978) Global sea - level changes and the thermal strucrure of the Earth // Earth/ Planet. Sci. Lett., 1978, vol. 41, No. 3, P. 341 - 346.
81. *Verhoogen J.* (1946) Volcanic heat // Amer. Journ. Sci., 1946, vol. 244, No. 11. P. 745 - 771.
82. *Vitorello I. and Pollack H.* (1980) On the variation of continental heat flow with

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ И ПРОДОЛЬНОЙ ПРОВОДИМОСТИ ПРОВОДЯЩЕГО СЛОЯ ПРИ ДВУХПЕТЛЕВОМ ИНДУКТИВНОМ ЧАСТОТНОМ ЗОНДИРОВАНИИ

Ратушняк А.Н., Сарвартинов А.И. - Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

Аннотация. Выполнены расчеты и проведен анализ магнитного поля двухпетлевой установки индукционного частотного зондирования, расположенной на полупространстве над проводящей S–плоскостью. Приведены амплитудно – частотные зависимости поведения вертикальной составляющей поля от величины продольной проводимости и глубины ее положения. Приведена палетка для определения параметров S – плоскости по частотной зависимости отношения квадратур вертикальной составляющей напряженности магнитного поля.

DEFINITION OF DEPTH AND LONGITUDINAL CONDUCTIVITY OF A CONDUCTING LAYER WHILE TWO - LOOPBACK INDUCTIVE FREQUENCY SOUNDING

Ratushnyak A.N., Sarvartinov A.I. — Institute of Geophysics UB of RAS, Yekaterinburg.

Abstract. Calculations and analysis of a magnetic field of two - loop installation of induction frequency sounding located on half - space above a conducting S - plane have been carried out. The amplitude-frequency dependences of field vertical component behavior on size of longitudinal conductivity and depth of its position have been given. There has been given a transparency for definition of S - plane parameters according to frequency dependences of the relationships between quadratures of vertical component of magnetic field intensity.

При проведении детализационных электроразведочных работ на аномальных по проводимости участках, необходим способ надежной оценки глубины залегания проводящего объекта. Для решения такой задачи в Институте геофизики УрО РАН разработан и опробован метод двухпетлевого индукционного частотного зондирования [1]. Схема установки для проведения измерений методом двухпетлевого индуктивного частотного зондирования приведена на рис. 1.

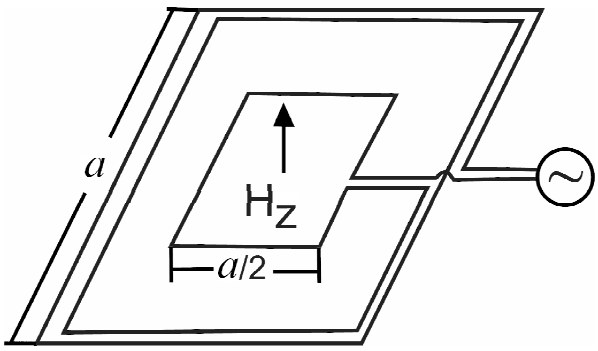


Рис. 1. Схема установки метода двухпетлевого индуктивного частотного зондирования.

Идея использования двухпетлевого зондирования состоит в компенсации в центре установки первичного магнитного поля, создаваемого постоянным током двойной наружной петли, встречным магнитным полем внутренней петли.

Согласно закону Био – Савара, магнитное поле постоянного тока H_z на оси установки для двойной наружной квадратной петли со стороной a и внутренней петли со стороной $a/2$ со встречным моментом можно найти как суперпозицию полей линейных отрезков.

В центре установки при z = 0 вертикальная составляющая напряженности магнитного поля H_z равна нулю.

$$H_z = \frac{J}{4p}\left\{\frac{8}{a/2} - \frac{4}{a/4}\right\} 2\cos a = 0 \qquad (1)$$

Как видно из (1), измерения магнитного поля с такой установкой проводятся в отсутствии первичного поля источника, что позволяет с большей точностью выделять полезный сигнал, обусловленный наличием в разрезе проводящих объектов.

Однако вне этой точки магнитное поле уже не скомпенсировано. Поскольку момент наружной петли превосходит момент внутренней петли, на оси установки с увеличением z на очень низкой частоте магнитное поле сначала достигает экстремального значения в точке на глубине z = – a/3, а затем плавно убывает (левая часть рис.2 при S = 0). Следовательно, измерения с двухпетлевой установкой позволяют уменьшить экранирующее влияние поверхностных слоев и, наоборот, увеличить

влияние слоев, находящихся на глубине.

Если режим тока переменный, то электромагнитное поле становится комплексным за счет волнового затухания в проводящем полупространстве, зависящим от частоты w и электропроводности пород s_0 и в центре установки при z = 0 будет отличаться от нуля. В этом случае расчет магнитного поля сводится к суперпозиции полей токов в прямолинейных отрезках – сторонах петли, находящейся на поверхности однородного полупространства. В свою очередь, поле тока в каждом незаземленном отрезке определяется интегрированием по длине стороны прямой от элементарного электрического дипольного источника, направленного вдоль тока в отрезке, а составляющие магнитного поля элементарного диполя, соответственно, по формуле векторного анализа $d\vec{H} = rot\vec{A}$, где: $\vec{A}$ – вектор-потенциал переменного электрического диполя для проводящего полупространства [2].

Для электрического незаземлённого диполя отличной от нуля будет только одна составляющая вектор – потенциала, направленная по току – составляющая A_x, поскольку A_z - составляющая отражает влияние заземленных концов электрического диполя для полупространства.

Если на некоторой глубине h расположена проводящая горизонтальная плоскость с продольной проводимостью $S = s_S \cdot d_S$ [См], то вертикальная составляющая магнитного поля H_z в центре двухпетлевой установки будут отличаться от нормального поля тем больше, чем выше продольная проводимость S и меньше глубина положения плоскости.

Для расчета поля воспользуемся решением задачи о поле горизонтального электрического диполя и погруженной S – плоскости [3].

Выразив все расстояния в долях стороны петли a и волновое число k через безразмерный волновой параметр p, получим расчетную формулу вертикального магнитного числа двухпетлевой установки на оси $z \le 0$ установки вида:

$$h_z = \frac{H_z 4pa}{J} = 8\int_{-1/2}^{1/2}\frac{y}{r}\int_0^{\infty} f \cdot l^2 J_1(lr)\,dl\,dx - 4\int_{-1/4}^{1/4}\frac{y}{r}\int_0^{\infty} f \cdot l^2 J_1(lr)\,dl\,dx \qquad (2)$$

где для точек выше S – плоскости $z \ge h$

$$f = \frac{m-l}{m}\,\frac{2m + jpS - jpSe^{-2mh}}{a}e^{mz} - 2\frac{jpS}{a}e^{-m(z+2h)} + \frac{e^{m(z-h)}}{m}$$

Для точек ниже S – плоскости $z \le h$:

$$f = 4\frac{m}{a}e^{mz},$$

$$a = (m+l)(2m + jpS) + (m-l)jpSe^{-2mh}$$

J_1 (λr) – функция Бесселя первого рода первого порядка;

$r = \sqrt{(x-x)^2 + y^2}$; $m = \sqrt{l^2 + jp}$;

$jp = k^2a^2 = jwm_o s_o a^2$,

где $p = 7.89 f s_o a^2$ – безразмерный волновой параметр, здесь размер стороны наружной петли a выражен в км. Для расчета нормального поля нужно положить в формуле (2) величину S = 0, при этом $f = 2e^{mz}/(m+l)$.

По формуле (2) проведены расчеты вертикального магнитного числа h_z на оси z для ряда значений волнового параметра p и относительной продольной проводимости S – плоскости $\bar{S} = S/(s_o a)$, расположенной на глубине h < 0 (рис.2).

Для расчета интегралов от комплексных осциллирующих функций использовалась программа с цифровым фильтром Андерсона [4]. Вычисление внешних интегралов в конечных пределах проводилось методом Гаусса [5].

Влияние проводящей S - плоскости приводит к существенному изменению вида нормального магнитного поля (кривые S = 0). В Re и Jm компонентах вертикального магнитного числа h_z на глубине положения S – плоскости отмечается локальная аномалия, которая зависит от величины относительной продольной проводимости $\bar{S}$. Реальная часть h_z с увеличением $\bar{S}$ уменьшается от максималь-

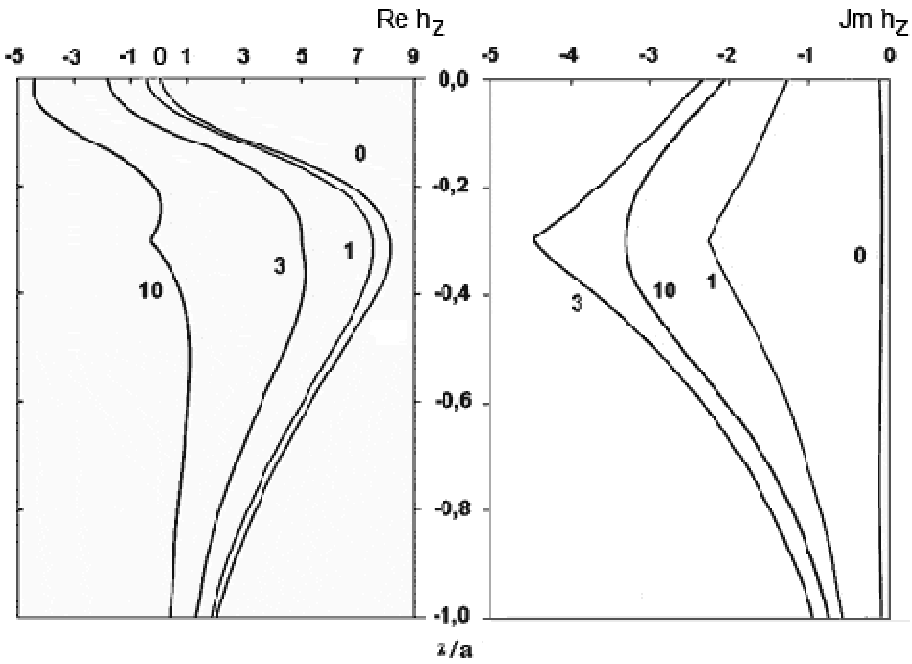


Рис. 2. Графики *Re* и *Jm* компонентов вертикального магнитного числа h_z двухпетлевой установки по оси z. Глубина *S* – плоскости h = – 0,3*a*. Волновой параметр среды p = 0,1. Шифр кривых – относительная продольная проводимость $\bar{S}$.

ного значения на глубине z = –*a*/3 и изменяет знак. При этом на дневной поверхности знак *Re* h_z отрицательный. Мнимая компонента *Jm*h_z с ростом $\bar{S}$ сначала достигает экстремального значения на глубине положения *S* – плоскости z = – 0.3*a* и затем убывает по модулю.

Рассмотрим частотную зависимость *Re* и *Jm* компонентов вертикального магнитного числа h_z для глубины *S* – плоскости h= – 0,3·*a* для точки в центре установки на дневной поверхности z = 0 (рис.3).

Реальная часть нормального магнитного поля *Re* h_z при $\bar{S}$ = 0 представляет собой одноэкстремальную кривую, в то время как мнимая часть *Jm* h_z является знакопеременной функцией с переходом через ноль в точке экстремума *Re* h_z.

Частотные характеристики *Re* и *Jm* h_z для проводящей *S* – плоскости существенно отличаются от вида частотных характеристик нормального поля (при $\bar{S}$ = 0) и могут служить критерием для определения величины продольной проводимости $\bar{S}$.

Однако, поскольку измерения абсолютного значения магнитного поля требуют измерения величины тока с такой же точностью, то более удобной характеристикой является использование относительных величин поля, например, отношения компонентов *Re*h_z/*Jm*h_z или фазовый угол вертикального магнитного числа

$$j = arctg(Jm h_z / Re h_z).$$

На рис.4 приведены частотные характеристики отношения компонентов *Re*h_z/*Jm*h_z для точки в центре установки z = 0 в зависимости от величины продольной проводимости при глубине положения h/*a* = – 0,3.

Из рис.4 видно, что частотные характеристики отношения квадратурных компонентов *Re*h_z/*Jm*h_z более чувствительны к изменению величины

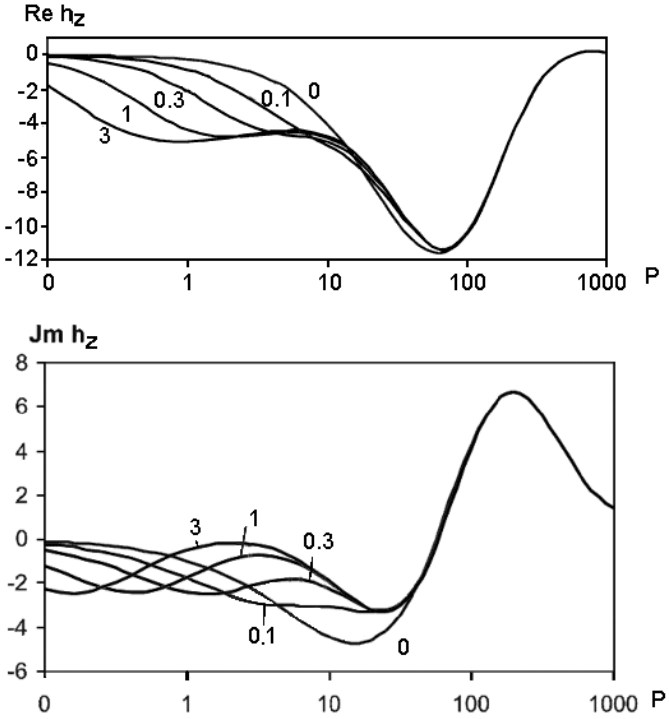


Рис. 3. Частотные кривые *Re* и *Jm* компонентов вертикального магнитного числа h_z при z = 0 (шифр кривых – значения $\bar{S}$).

продольной проводимости $\bar{S}$. При этом

скачек частотной характеристики $Re h_z/Jm h_z$ при волновом параметре среды

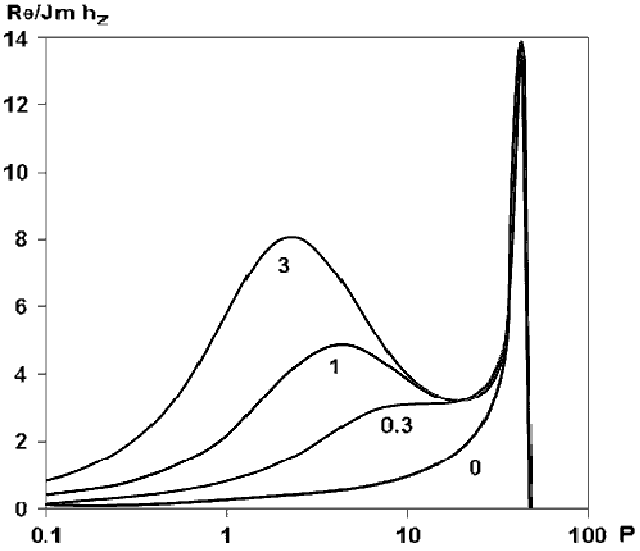


Рис. 4. Частотные характеристики отношения компонентов $Re h_z/Jm h_z$ вертикального магнитного числа на дневной поверхности z = 0 при глубине положения h/*a* = – 0,3. (Шифр кривых – относительная продольная проводимость $\bar{S}$) .

p = 56.4, обусловленный сменой четверти мнимой компоненты поля $Jm\ h_z$, практически не зависит от величины $\bar{S}$ и определяется только электропроводностью вмещающей среды s_0.

Частоту, на которой происходит скачек частотной характеристики $Re h_z/Jm h_z$, при известном значении *a* размера установки, следует использовать для определения электропроводности вмещающей среды $s_o = 7.14/(f \cdot a^2)$, где: *f* – частота [Гц], *a* – размер установки [км].

На рис.5 приведены частотные характеристики отношения компонентов $Re h_z/Jm h_z$ для точки в центре установки z = 0 в зависимости от ее глубины h/*a* для постоянной величины $\bar{S}$ = 3.

Как следует из рис. 5, частотные характеристики отношения $Re h_z/Jm h_z$ вертикального магнитного числа зависят не только от величины продольной проводимости $\bar{S}$, но и от глубины ее положения.

Это подтверждает возможность использования отношения компонентов $Re h_z/Jm h_z$ по измерениям на спектре частот в качестве критерия для определения величины продольной проводимости $\bar{S}$ и ее глубины h/*a*.

На рис. 6 приведена палетка для определения относительной продольной проводимости $\bar{S}$ и относительной глубины h/*a* по частотной характеристике отношения компонентов $Re h_z/Jm h_z$ вертикального магнитного числа.

Для перехода к абсолютным значениям глубины и продольной проводимости $S = \bar{S} \cdot s_o \cdot a$ следует использовать значение электропроводности вмещающей среды, полученное по точке скачка частотной характеристики отношения компонентов $Re h_z/Jm h_z$.

Для однозначного определения с помощью палетки двух неизвестных параметров – продольной проводимости *S* и глубины h – необходимо провести измерения с двумя различными разносами а установки.

В настоящее время разрабатывается программное обеспечение для создания электронной палетки для определения глубины h и продольной проводимости *S*

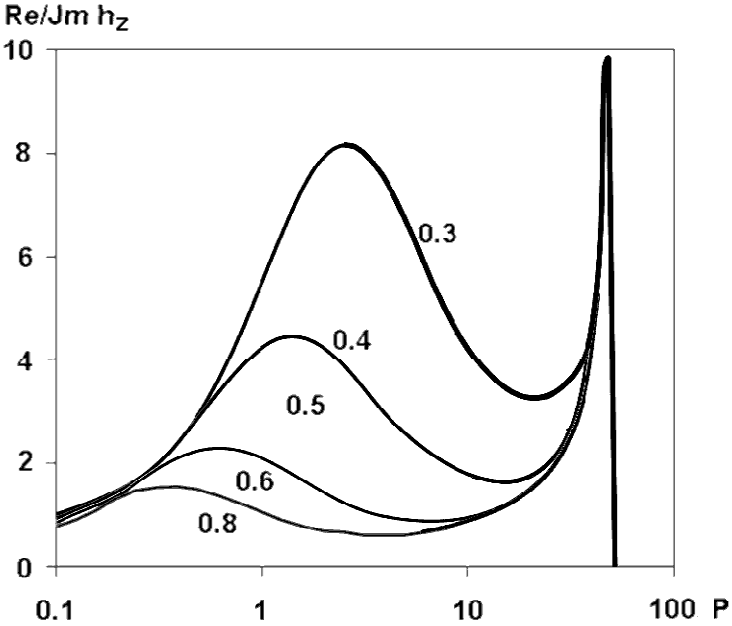


Рис.5. Частотные характеристики отношения компонентов $Re h_z/Jm h_z$ вертикального магнитного числа на дневной поверхности z = 0 для постоянной величины продольной проводимости $\bar{S}$ = 3. (Шифр кривых – относительная глубина *S* – плоскости h/*a*).

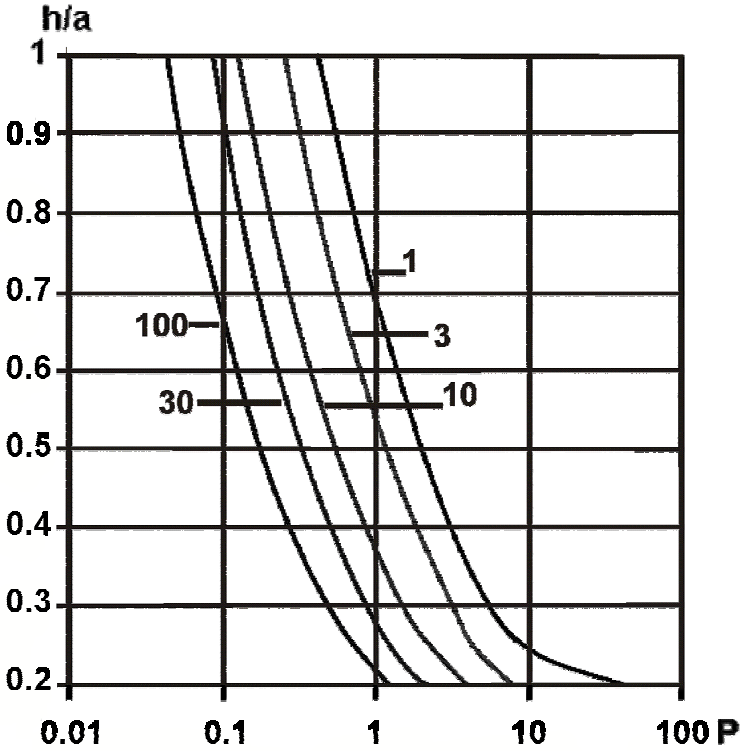


Рис. 6. Палетка определения относительной глубины h/*a* и величины относительной продольной проводимости $\overline{S}$ (шифр кривых) по частотной характеристике отношения $Re h_z/Jm h_z$ вертикального магнитного числа.

по индуктивным частотным зондированиям с двухпетлевой установкой.

Выводы.

- Фазочувствительные измерения вертикальной составляющей магнитного поля при индуктивных частотных зондированиях с двухпетлевой установкой позволяют выделить погруженный горизонтальный проводящий пласт малой мощности.
- Использование частотных характеристик отношения квадратурных компонентов $Re h_z/Jm h_z$ вертикальной составляющей магнитного поля позволяет на основе созданных палеток определить его физико – геометрические характеристики – глубину h и величину продольной проводимости *S*.

Литература

1. *Чистосердов Б.М., Человечков А.И., Байдиков С.В.* Патент № 2156987 RU. Способ индукционного вертикального зондирования. Бюлл. № 27. 2005.

2. *Заборовский А.И.* Переменные электромагнитные поля в электроразведке. М., МГУ, 1960, 186 с.

3. *Кормильцев В.В., Семенов В.Д.* Электроразведка методом заряда. М.: Недра, 1987. 218 с.

4. *Anderson W.L.* Computer Program Numerical integration of related Hankel transforms of orders 0 and 1 by adaptive digital filtering. Geophysics. Vol. 44. № 7, 1979, p.1287 – 1305.

5. Вычислительная математика и техника в разведочной геофизике: Справочник геофизика. М.: Недра, 1990. 498 с.

ПЕРЕНОСНЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ «СИНУС»

Сенин Л. Н., Сенина Т. Е. - Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

Аннотация. Описаны требования, предъявляемые к переносным сейсмическим станциям. Показано, что создание таких станций перспективно при использовании 8– и 16– ти разрядных микроконтроллеров общего назначения. Представлены основные параметры станции «Синус», разработанной в Институте геофизики УрО РАН. Приведена структурная схема станции, алгоритм ее работы и общий вид станции.

PORTABLE SEISMIC STATIONS " SINE "

Senin L.N., Senina T.E.—Institute of Geophysics UB of RAS, Yekaterinburg

Abstract. The requirements shown to portable seismic stations are described. It is shown, that creation of such stations is perspective at use 8's and 16's digit microcontrollers of a general purpose. Key parameters of station " Sine " developed in Institute of Geophysics of UB RAS are presented. The block diagram of station, algorithm of its work and a general view of station is resulted.

Переносные сейсмические станции – это особый класс сейсморегистрирующей аппаратуры, предназначенной для изучения структурных особенностей верхней части геологической среды. Глубина исследований обычно не превышает десятков метров. Очень важные характеристики для такого рода аппаратуры - экономичность, компактность, стабильность работы в широком диапазоне изменения температур, устойчивость к механическим воздействиям. Обязательными условиями являются наличие графического (матричного) дисплея для визуальной оценки качества регистрируемой информации и удобного клавиатурного интерфейса, обеспечивающего работу в диалоговом режиме.

Большинство современных модификаций переносных сейсмических станций включают, по меньшей мере, два блока: блок предварительной аналоговой обработки и аналого - цифрового преобразования входных сигналов и блок предварительной цифровой обработки и накопления данных. При этом второй блок, как правило, персональный компьютер типа Notebook, подключенный к первому через какой-либо стандартный порт ввода - вывода.

Почему полиблочная структура станций нашла сегодня широкое распространение среди разработчиков и производителей, понять нетрудно. Во - первых, отпадает необходимость разработки и изготовления цифровой части сейсмостанции, во - вторых, программу обработки и управления легко написать на языке высокого уровня.

Вместе с тем, за относительно небольшие затраты на ОКР и изготовление полиблочной станции впоследствии расплачивается пользователь. Прежде всего, она перестает быть экономичной и компактной, превращаясь из носимой в транспортируемую на автомобиле. Вследствие этого применение станции ограничивается проходимостью автомобиля, т. е. в труднодоступных участках местности исследования проводить практически невозможно, снижается рентабельность работ.

Использование Notebook в составе полевой аппаратуры подразумевает, что компьютер должен быть выполнен, по меньшей мере, в варианте Industrial, а лучше Military. Однако стоимость таких модификаций Notebook в несколько раз превышает стоимость коммерческой версии компьютера. По этой причине пользователь предпочитает именно коммерческий вариант, заведомо ограничивая возможности станции. Например, в зимнее время работать с такой аппаратурой нельзя.

Одним из наиболее перспективных направлений, активно развиваемых общеизвестными корпорациями Motorola, Atmel, Microchip и т. д., являются 8 -, 16 - разрядные AVR микроконтроллеры общего

назначения. Их архитектура является одной из самых удачных на мировом рынке микроконтроллеров. Наличие трех типов памяти на кристалле, высокая производительность, низкое энергопотребление, отличная адаптивность к языкам программирования высокого уровня (C/C++), разнообразные периферийные модули, широкий диапазон напряжений питания и совместимость кристаллов семейства "снизу вверх" далеко не полный перечень достоинств этих устройств.

Используя микроконтроллер AVR класса mega в системе управления переносной сейсмической станции, можно добиться результатов не хуже, чем с применением microPC, но при этом система будет значительно экономичнее и компактнее. Именно этот путь был выбран при разработке сейсморегистрирующей системы «Синус» [1].

Таблица 1. Основные технические характеристики сейсмических станций «СИНУС»

Технические параметры	
Число каналов	6, 12, 24 или более
Входной импеданс	дифференциальный 5 k ohms // 0.01μF
Ступени усиления	0, 12, 24, 36, 48 dB
Диапазон частот	7.5 to 4000 Hz
Разрядность АЦП Период дискретизации	16 62.5, 125, 250, 500, 1000 μsec
Число выборок на канал	256, 512, 1024 (2048)
Задержка записи	0 – 9999 msec (шаг 1 msec)
Запуск системы	пьезодатчик, разрыв контакта, геофон
Система	
Управляющий контроллер	AVR ATmega
Дисплей	320×240 пикселей, Plasma или LCD
Mass Storage	Флэш диск ≥ 4 MB
Формат сохранения данных	SG (Sinus), SEG-Y, SEG-2
Порт связи с ЭВМ	USB
Напряжение питания	12 В (10 – 20) В
Ток потребления	0.45A (max)
Диапазон рабочих температур	-20… +40 °C
Габаритные размеры	260×160×310 мм (max)
Масса	5 кг (max)

К настоящему времени проработана техническая документация, отлажены все узлы, изготовлено несколько действующих экземпляров моноблочных сейсмических станций «Синус», которые успешно эксплуатируются в восточной и западной Сибири, на Урале, в Московской области. Система унифицирована и при незначительных доработках легко трансформируется в 6, 12, 24 или 32 - канальный вариант. При этом все основные технические характеристики, приведенные в таблице 1, сохраняются. Тщательная проработка топологии печатных плат позволила получить измерительный инструмент с чувствительностью 0,3 – 0,5 мкВ, т. е. на уровне собственных шумов лучших мировых образцов операционных усилителей.

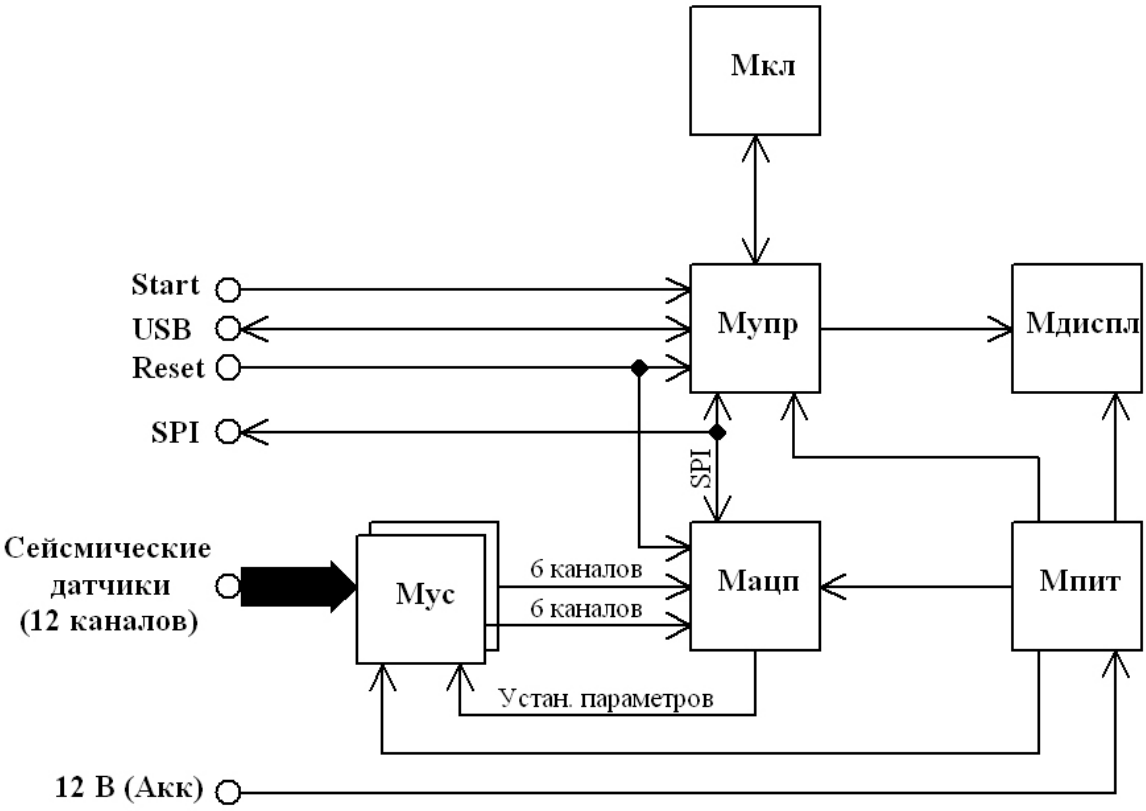


Рис.1 Структурная схема 12 - канального варианта сейсмической станции «Синус».

На рис.1 показана структурная схема 12- канального варианта сейсморегистрирующей системы «Синус», ядром которой является модуль управления. Система может обслуживать большее или меньшее число каналов, в зависимости от выбранной конфигурации сейсмической станции. Схема включает собственно модуль управления ($М_{упр}$), модуль аналого - цифрового преобразователя ($М_{АЦП}$), два идентичных модуля аналоговых усилителей ($М_{ус}$), каждый из которых содержит 6 каналов и модуль питающих напряжений ($М_{пит}$). Кроме того в состав станции входит плазменный дисплей фирмы Planar ($М_{дисп}$), обеспечивающий визуализацию данных с разрешением 320´240 пикселей в формате quarter VGA (дисплей полностью совместим с аналогичным экранным модулем ЖКИ), а также защищенная матричная клавиатура 4´4 фирмы Grayhill ($М_{кл}$).

Всего система включает два контроллера AVR, один из которых расположен в модуле управления, другой - в модуле АЦП, причем первый всегда настроен как ведущий (master), второй – как ведомый (slave).

Из схемы на рис.1 видно, что связь с внешними управляющими устройствами осуществляется по четырем линиям: «USB» - обмен данными с компьютером, когда необходима передача сейсмической информации из внутренней памяти сейсмической станции; линия «SPI» используется в режиме программирования контроллеров станции и в режиме межконтроллерного обмена данными; «Reset» - линия принудительного системного сброса на случай возникновения внештатной ситуации; линия «Start» обеспечивает синхронизацию работы станции с источником сейсмических волн.

Как в любом измерительном приборе, в сейсмическом канале станции возникают аппаратурные искажения. В частности, к таковым относится смещение нуля $U_{СМ}$, температурный дрейф нуля A_{ET}, обычно возникающие на этапе аналоговой обработки сигнала. Погрешность этого типа главным образом обусловлена применением интегральных операционных усилителей (ОУ), входные каскады которых являются

наиболее «ответственными», т. к. именно здесь минимизируется напряжение смещения, обусловленное неточным согласованием напряжений база – эмиттер входных транзисторов этих усилителей.

Рассмотрим такой пример. Если в канале станции требуется реализовать усилитель на ОУ с коэффициентом усиления 60 дБ, то несбалансированность входного дифференциального каскада ОУ всего на 1 мкВ вызовет смещение нуля на выходе усилителя 1 мВ. При использовании в станции 16 - разрядного АЦП, это будет соответствовать 3 – 4 младшим разрядам. Для накопительных сейсмостанций, в которых осуществляется многократное синхронное суммирование, смещение будет накапливаться вместе с полезной информацией, что в конечном итоге может привести к непригодности регистрируемых данных или к их сильному искажению.

С целью минимизации искажений данного типа был разработан эффективный и простой алгоритм цифровой коррекции смещения нуля, основанный на простейших арифметических операциях [2]. Алгоритм встроен в рабочую программу станции, а используемый AVR контроллер справляется с этой задачей за 200 – 250 мсек, что на практике никак не сказывается на производительности работ, поскольку интервал между отдельными суммированиями обычно составляет 3 – 5 сек.

Алгоритм цифровой коррекции смещения нуля заключается в следующем.

Известно, что исследуемый сейсмический сигнал является квазигармоническим, с относительно симметричным распределением положительных и отрицательных полуволн. Следовательно, имея запись сейсмической трассы с сигналом, смещенным относительно нулевой линии на некоторую величину, можно простыми арифметическими действиями вычислить данную величину смещения. Достаточно найти среднее арифметическое значение сигнала для всей трассы, а полученное значение ввести как поправку в каждую выборку трассы:

$$U_{CM} = (a_1 + a_2 + \ldots + a_N) / N, \qquad (1)$$

где a_1, a_2, …a_N – амплитуды выборок сигнала одной сейсмической трассы; N – количество выборок. Таким образом можно осуществить коррекцию смещения нуля для каждого канала сейсмической станции.

На рис.2 приведен пример сейсмограммы (показана одна трасса), полученной на 24 - канальной сейсмической станции «Синус - 24М». Длительность записи 0,8 секунд, количество выборок 512. На рисунке 2а видно отрицательное смещение (U_{CM}) сигнала относительно нулевой линии. После вычисления поправки Uсм и введения ее в каждую выборку трассы, сформировалась результирующая сейсмограмма, для которой смещение нуля скорректировано (рис. 2б) с погрешностью ± 1 младший значащий разряд АЦП.

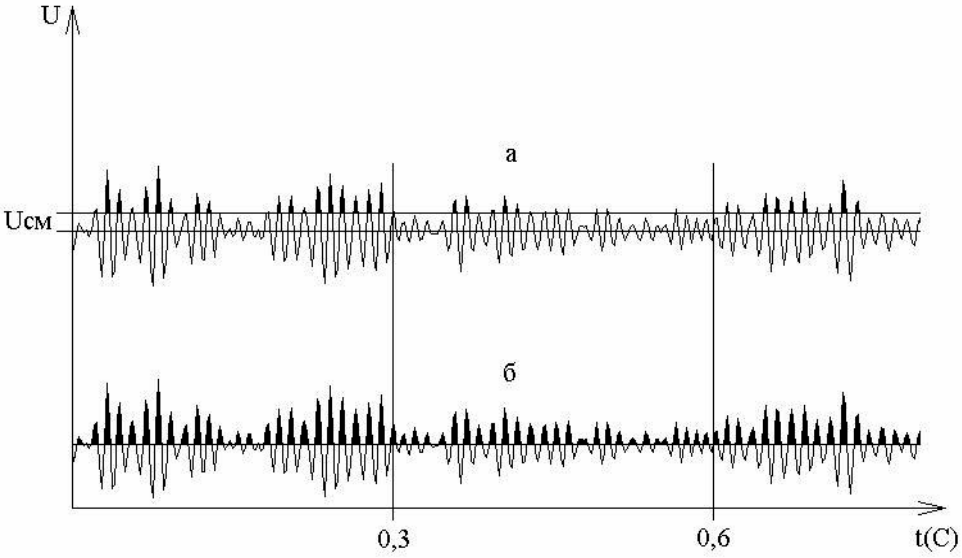


Рис. 2. Пример коррекции смещения нуля.

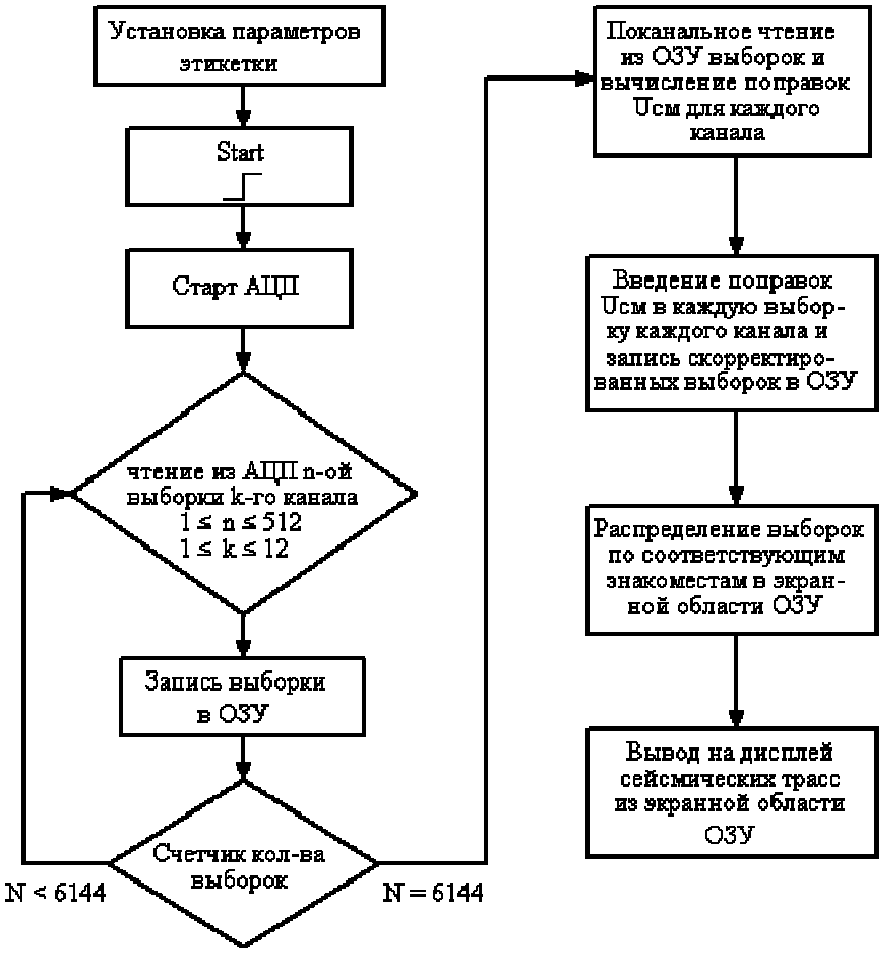


Рис. 3. Алгоритм работы 12 - канальной станции в режиме регистрации (прием и запись) одной сейсмограммы размером 512 выборок/канал.

Рассмотрим работу станции в режиме регистрации сейсмограммы. Заметим, что перед началом выполнения данной операции производится заполнение этикетки, в которую входят такие параметры как количество выборок, шаг дискретизации, коэффициенты усиления по каналам, частота среза фильтров высокой и низкой частот (ФВЧ, ФНЧ), включение или выключение режекторного фильтра (РФ), настроенного на частоту 50 Гц. Частично эти параметры в виде управляющих сигналов заносятся в регистры модулей усилителей, частично сохраняются в виде пассивных величин (пункт возбуждения, номер профиля, номер сейсмограммы и т. д.).

На рис. 3 показан алгоритм работы 12 - канальной станции в режиме регистрации (прием и запись) одной сейсмограммы размером 512 выборок/канал. По фронту сигнала Start, поступающего в Мупр. от пъезодатчика синхронизации источника сейсмических волн, контроллер master в течение 100 нС формирует команду «Старт АЦП», по которой контроллер slave, размещенный в $М_{АЦП}$ приступает к чтению из аналого-цифрового преобразователя выборок сейсмического сигнала. Ведется подсчет количества считанных выборок, общее число которых в соответствии с начальными условиями равно 6144. Каждая считанная из АЦП выборка сохраняется в оперативной памяти (ОЗУ). Когда число N достигает величины 6144, программа прекращает чтение выборок из АЦП и переходит к вычислению поправок смещения нуля Uсм для каждого сейсмического канала в соответствии с алгоритмом (1).

Рис. 4. Общий вид сейсмической станции «Синус - 12М».

По окончании вычислений Uсм, поправки вводятся в каждую выборку каждого из 12 - ти каналов и скорректированный результат вновь записывается в ОЗУ. Завершается операция регистрации сейсмограммы размещением выборок по закрепленным знакоместам в экранной области ОЗУ и выводом на дисплей двенадцати сейсмических трасс (рис. 4).

В случае, если полезный сигнал имеет недостаточную амплитуду или с трудом выделяется на фоне геосейсмических помех производится многократная регистрация сейсмограмм с одного и того же пункта возбуждения, при этом каждая последующая сейсмограмма автоматически синхронно суммируется с предыдущей (на рис. 3 не показано).

В результате возрастает отношение сигнал/помеха и полезная информация становится более контрастной на фоне случайных шумов. Кондиционная сейсмограмма и сопровождающая ее этикетка сохраняется на флэш-диске по команде, введенной с клавиатуры станции.

В заключение необходимо отметить, что полевые испытания различных модификаций сейсмической станции «Синус» показали, что аппаратура неприхотлива в эксплуатации, сохраняет работоспособность в зимнее время до температуры – 25° С и при снижении питающего напряжения до 8,5 вольт. Аккумуляторная батарея емкостью 16 Ач обеспечивает работу станции без дополнительной зарядки в течение 5 – 7 рабочих смен.

Литература

1. *Сенин Л.Н., Сенина Т.Е.* Сейсмическая станция «Синус». Приборы и техника эксперимента № 5. М: Наука, 2005, с. 163 - 164.

2. *Сенин Л.Н., Сенина Т.Е.* Накопительная сейсмическая станция с цифровой коррекцией смещения нуля. Патент RU 2248592 C1. Опубл. Бюл. №8 20.05.2005 г.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УРАН - ИЗОТОПНОГО МЕТОДА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ АКТИВНЫХ УЧАСТКОВ ГЛУБИННЫХ РАЗЛОМОВ НА РУССКОЙ ПЛАТФОРМЕ И ОЦЕНКИ ИХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Тихонов А.И., Тихонов В.П., Васильев А.В., Егоров С.П., Миронова Н.Е. - ООО «НИИ геологических и геоэкологических проблем», Чебоксары

Аннотация. На основе комплексных исследований подземных вод с использованием уран - изотопного и многоэлементного гидрогеохимических методов на примере районов городов Чебоксары и Кирова показана возможность выявления и локализации активных участков глубинных разломов, на которых происходит современное внедрение глубинных вод, характеризующихся повышенным содержанием B, Li, Br, Cr, Mn и др. и необходимость учета природных факторов при оценке экологического состояния пресных подземных вод эксплуатируемых горизонтов.

URANIUM - ISOTOPE METHOD'S APPLICATION FOR ACTIVE PARTS OF DEEP BREAKS EXPOSURE ON THE RUSSIAN PLATFORM AND ESTIMATION OF THEIR INFLUENCE ON THE UNDERGROUND WATERS' ECOLOGICAL CONDITION

Tikhonov A.I., Tikhonov V.P., Vasiliev A.V., Egorov C.P., Mironov N.E. - Limited liability company "Research institute of geological and geoecological problems", Cheboksary

Abstract. On the basis of undeground waters combined analysis with uranium-isotope and multy-element hydro - geochemical methods application the possibility of exposure and localization of deep breaks active parts is revealed (on examples of Cheboksary and Kirov areas), where the intrusion of deep waters , characterized by increased content of B, Li, Cr, Mn etc., takes place. The necessity of taking into account the natural factors while estimating fresh underground waters ecological condition of exploited horizons is also shown.

Ещё в 30-е годы прошлого столетия известный тектонист Шатский Н.С. [1] утверждал, что глубинные разломы в пределах линеаментных зон на Русской платформе разрывают не только фундамент, сложенный кристаллическими образованиями, но прорывают и вышележащую толщу осадочных пород, достигая почти до земной поверхности. Он предупреждал, что в пределах этих зон могут происходить неотектонические процессы и эту вероятность необходимо учитывать при проектировании и строительстве гидростанций и атомных электростанций, а также промышленных предприятий.

Позднее правильность теории Н.С. Шатского подтвердили космические снимки, полученные с помощью искусственных спутников Земли. На космотектонической карте Восточно - Европейской платформы масштаба 1:2500000, полученной на основе этих исследований, отчетливо прослеживаются не только древние линеаментные зоны, но и многочисленные кольцевые разломы. Это доказывает, что древние разломы прорывают не только породы фундамента, но и осадочной толщи, отражаясь на морфологических особенностях поверхности земли. Аналогичными причинами объяснял и Илларионов И.К.[2] в 1947 г. крутые (почти 90^0) резкие повороты р. Волги в районах п. Васильсурска и г. Козьмодемьянска, а также у устья р. М. Кокшага ниже г. Мариинский Посад.

В ходе интенсивных исследований с целью поисков месторождений урановых руд в пределах Русской платформы учеными ВИМСа было сделано открытие о значительном поступлении гелия из глубин Земли и установлено, что именно в пределах линеаментных зон наблюдаются аномальные концентрации гелия [3].

Это доказывало неотектоническую активность глубинных разломов в пределах этих зон. По образному выражению И.Н. Яницкого [4], Русская платформа имеет структуру "колотого льда" или "кольчуги", т.е. блоковую структуру.

Результаты многочисленных исследований, проведенных нами в последнее десятилетие в различных районах Приволжского региона Русской платформы [см.,

например, 5 - 7] с использованием уран - изотопного метода индикаторного моделирования процессов формирования и циркуляции подземных вод, однозначно подтверждают поступление глубинных вод в пределах древних линеаментных зон. Установлено, что глубинные воды характеризуются максимальными значениями изотопного сдвига урана и в результате смешения их с пластовыми водами верхних водоносных горизонтов, величина отношения альфа - активностей изотопов $^{234}U/^{238}U = \gamma$ повышается до 5 - 7 относительно пластовых вод (1.5 - 1.6), иногда достигая 15 - 20. Участки внедрения глубинных вод располагаются вдоль разломов в виде цепочки очагов с повышенными значениями g.

Это свидетельствует о «точечном» поступлении глубинных вод, приуроченных к зонам пересечения разнонаправленных тектонических нарушений.

Комплексная работа уран - изотопных исследований с определением многокомпонентного химического состава подземных вод с помощью высокоточных масс - спектрометров, позволило установить в пределах очагов поступления глубинных вод аномальное повышение в эксплуатационных горизонтах питьевых вод концентрации различных токсичных для организма человека микроэлементов (B, Li, Br, Cr, Mn и др.), иногда превышающие ПДК.

Проведенные нами в последние годы комплексные изотопно - гидрогеохимические исследования показали, что в пределах Русской платформы происходит неотектоническая активизация древних тектонических нарушений глубокого заложения, и это является главной причиной поступления глубинных вод в районах древних линеаментных зон. Высокие концентрации в них токсичных химических элементов глубинного происхождения нередко приводят к образованию некондиционных для питья подземных вод, что может оказывать существенное влияние на здоровье населения, проживающего на Русской платформе.

Более того, исследования показали, что в последние годы процесс поступления глубинных вод в пределы эксплуатируемых водоносных горизонтов усиливается искусственно под влиянием водозабора в случаях его превышения над естественными ресурсами подземных вод.

Это происходит, в основном, при расположении водозаборных скважин на неразведанных площадях и отсутствии должного мониторинга за изменениями гидрогеологических условий в процессе откачки подземных вод.

Всё это свидетельствует о необходимости учета глубинного геологического фактора при проведении эколого - гидрогеологических исследований территорий с целью своевременного выявления районов поступления глубинных вод с аномальными концентрациями токсичных химических элементов и предотвращения или своевременной профилактики различных заболеваний населения, вызываемых этим явлением. Исследования показали, что при кондиционном, согласно общему химическому анализу составе подземных вод, присутствие в них различных микроэлементов в избыточном количестве делают их опасными при использовании для питьевого водоснабжения населения.

В данной работе показана возможность выявления активных участков в пределах глубинных разломов и внедрения глубинных вод с помощью уран - изотопного метода на примере районов Чебоксарского водохранилища и г. Кирова. Исследования проводились в комплексе с многоэлементной гидрохимической съемкой для оценки химического состава поступающих глубинных вод.

В настоящее время в ряде районов России гидрогеологическими организациями выполняется обширная программа работ по оценке обеспеченности населения качественной питьевой водой. В частности, в Чувашии принята республиканская целевая программа «Обеспечение населения Чувашской Республики качественной питьевой водой на 2005 - 2008 годы».

Наиболее остро стоит этот вопрос для двух крупных городах Чувашии - Чебоксары и Новочебоксарска, население которых (более 500 тыс. чел.) до сих пор снабжается

питьевой водой из Чебоксарского водохранилища, загрязненного как промышленными сточными водами, так и за счёт поступления глубинных вод с повышенным содержанием токсичных для организма человека микроэлементов.

В районе городов Чебоксары и Новочебоксарска в период 1996 - 2000 гг. нами была проведена комплексная уран - изотопная и многоэлементная гидрогеохимическая съемка подземных и поверхностных вод. Всего было опробовано 283 водопункта, в том числе 99 водозаборных скважин, 49 родников, 63 колодца и пьезометра, 29 поверхностных водных объектов (пруды, ручьи и т.д.). Для получения измеримых количеств урановых препаратов производилось концентрирование его из проб воды в полевой лаборатории с использованием в качестве сорбента активированного угля марки ОУ - Б. В стационарной лаборатории уран с активированного угля десорбировался аммиачно - карбонатным методом и очищался от других мешающих альфа - излучающих изотопов, энергия альфа - частиц которых близка к энергии изучаемых изотопов урана (^{232}Th, ^{230}Th, ^{226}Ra).

Выход урана при его концентрировании контролировался путем введения в пробу трассера изотопа урана ^{232}U. Измерения уран - изотопных показателей вод производились с помощью ионизационных альфа - спектрометров. Погрешность измерений изотопного отношения ^{234}U/^{238}U в большинстве проб не превышала 2% и только в случаях слабоактивных проб достигала 5%. Погрешность определения концентрации урана также составляла не более 5%. Определение многоэлементного химического состава природных вод (одновременно 72 элемента) проводились в ядерно - физической лаборатории Института проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН методами масс - спектрометрии с индуктивно связанной плазмой.

Результаты уран - изотопной съемки представлены на рис.1(цветная вкладка) в виде карты - модели формирования и циркуляции подземных вод татарских отложений, полученной на основе изучения закономерностей изменения величины альфа - активностей изотопов урана ^{234}U/^{238}U = g по площади района. Она позволила выявить источники питания и их ресурсы, а также участки взаимодействия различных водоносных горизонтов.

Как видно из рисунка, собственно пластовые воды татарских отложений образуют два потока.

Один из них (западный), условно названный нами Сугутским, исходя из территориальной приуроченности, движется с юго - запада вдоль долин малых городских рек Чебоксарка и Сугутка в северо - восточном направлении.

Воды этого потока характеризуются величиной отношения ^{234}U/^{238}U менее 1.60 и высоким содержанием урана (до 13.4 мкг/л в центральной части потока). При движении в северном направлении ширина этого подземного потока увеличивается от 3 - 4 км на юге до 6 - 8 км, что свидетельствует о постепенном уменьшении фильтрационных свойств водовмещающих пород.

Другой подземный поток (центральный) пластовых вод татарских отложений выделен по уран - изотопным данным в южной и юго - восточной частях изученной территории.

Воды этого потока формируются южнее деревень Альгешево, Устакасы, Ильбеши, Шанары и Б. Князь - Теняково. Западная часть этого потока движется в северном направлении по створу д. Альгешево - п. Южный - д. Пихтулино, а восточная – в северо - восточном направлении в районе деревень Яндово - Толиково - Алымкасы.

Для вод этого потока также характерны пониженные значения g (менее 1.60) и повышенное содержание урана (до 10.3 мкг/л) по сравнению с водами окружающих территорий. В северной части изученного района в прибрежных районах Чебоксарского водохранилища величина отношения изотопов урана постепенно увеличивается и на отдельных локальных аномальных участках достигает 3,0 - 6,0 отн. ед. Это обусловлено поступлением в активных зонах тектонических нарушений глубинных вод, характе-

ризующихся, как было установлено нами в других приволжских регионах, высоким изотопным сдвигом урана (γ = 18 - 20 отн.ед.). Наблюдаемые в районе Чебоксары и Новочебоксарска значения γ в пределах 3 - 6 отн.ед. объясняются смешением в различных пропорциях собственно пластовых вод с γ = 1,6 с глубинными водами.

В прибрежных территориях и в пределах акватории Чебоксарского водохранилища наблюдается практически повсеместное внедрение глубинных вод. Это вызвано поступлением глубинных вод в зоне разломов линеаментной зоны, простирающейся вдоль русла водохранилища. Как показали последующие исследования, именно к локальным участкам поступления глубинных вод в пределах акватории водохранилища приурочены аномальные участки с повышенным содержанием тяжелых металлов, обнаруженных казанскими учеными в донных осадках [8]. Вместе с тем, небольшие участки поступления глубинных вод отмечаются в виде аномалий в районах п. Лапсары - на западе и д. Кодеркасы, и д. Мошкасы - на востоке. Это объясняется локальным внедрением глубинных вод в наиболее дробленые породы, которые распространены в областях пересечения разнонаправленных тектонических нарушений, а в нашем случае – глубинных разломов линеаментной зоны с оперяющими тектоническими нарушениями.

С целью определения более полного спектра химических элементов, поступающих в эксплуатируемые водоносные горизонты пресных подземных вод, нами одновременно с уран - изотопной съемкой была параллельно проведена многоэлементная гидрогеохимическая съемка.

В пределах участков поступления глубинных вод в водоносных горизонтах татарских отложений установлено повышенное содержание лития, бора, брома в концентрациях, превышающих предельно допустимые для питьевых вод норм.

В качестве примера на рис.2 (цветная вкладка) показана карта распределения бора в подземных водах татарских отложений в районе городов Чебоксары и Новочебоксарска. На территории левобережья гидрогеохимические исследования не проводились, чем объясняется отсутствие карты для этой части.

Полученные данные показывают наличие в восточной части территории в районе г. Новочебоксарска и деревень Мошкасы, Липово и Толиково обширной аномальной зоны с повышенным содержанием бора в подземных водах, эксплуатируемых горизонтов. Она в общих чертах пространственно совпадает с уран - изотопной аномальной зоной поступления глубинных вод, показанной на рис.1.

Аналогичная аномальная зона с повышенным содержанием бора отмечается также в районе п. Лапсары, где на рис.1 наблюдается локальное внедрение глубинных вод по уран - изотопным данным.

Другим ярким примером выявления участков поступления глубинных вод уран - изотопным методом являются результаты работ в районе г. Кирова, где в процессе уран - изотопной съемки исследованы пробы воды, отобранные из 152 скважин, 37 буровых и шахтных колодцев, 15 родников, а также 25 поверхностных водотоков.

На основе полученной уран - изотопной информации была построена модель формирования и циркуляции подземных вод татарских отложений – основного водоносного горизонта данного региона, которая приведена на рис.3 (цветная вкладка).

Участки, где преобладают собственно-пластовые воды, характеризующиеся относительно низкими значениями (менее 2,5) изотопного отношения урана $^{234}U/^{238}U = \gamma$, обозначены светлым фоном. Стрелками показаны направления движения пластовых вод татарских отложений. Они свидетельствуют о том, что пластовые воды направлены в сторону дренирующих их русел рек Вятки, Чепцы и Большой Просницы. Тёмным фоном с восходящими стрелками обозначены участки, на которых поступают глубинные воды в пределы эксплуатируемых горизонтов татарских отложений. Они приурочены к участкам пересечения разнонаправленных тектонических

нарушений и ослабленным зонам в пределах разломов. Глубинные воды характеризуются максимальными значениями изотопного отношения урана (более 10 - 15).

В пределах тех участков, где величина γ несколько меньше этих значений, происходит смешение глубинных вод в различных пропорциях с пластовыми, характеризующимися γ ≈ 1.5 равновесных единиц.

В районах, в которых по уран - изотопным данным отмечается внедрение глубинных вод, наблюдаются и относительно высокие концентрации бора – элемента - индикатора глубинных вод (см. рис.4, цветная вкладка). Максимальные концентрации бора достигают 14 ПДК, т.е. 7.3 мг/л.

При сопоставлении карт, приведенных на рис.3 и рис.4, можно видеть почти идеальное пространственное совпадение участков поступления глубинных вод и аномального содержания бора.

Следовательно, это не оставляет никаких сомнений относительно глубинного генезиса бора в подземных водах эксплуатируемых горизонтов.

По результатам уран - изотопных и микроэлементных гидрогеологических исследований был составлен прогноз возможного развития дальнейших процессов загрязнения подземных вод в районе г. Кирова с рекомендациями для наиболее безопасного водопользования: регулирование водоотбора путем сокращения количества водозаборных скважин на участках поступления глубинны борсодержащих вод, выбор мест заложения новых водозаборных скважин на участках преимущественного распространения собственно - пластовых вод.

Таким образом, проведенные нами в последние годы комплексные изотопно - гидрогеохимические исследования показали, что в пределах Русской платформы происходит неотектоническая активизация древних тектонических нарушений глубокого заложения, и это является главной причиной поступления глубинных вод в районах древних линеаментных зон.

Высокие концентрации в них токсичных химических элементов глубинного происхождения нередко приводят к образованию некондиционных для питья подземных вод, что может оказывать существенное влияние на здоровье населения, проживающего на Русской платформе.

Более того, исследования показали, что в последние годы процесс поступления глубинных вод в пределы эксплуатируемых водоносных горизонтов усиливается искусственно под влиянием водоотбора в случаях его превышения над естественными ресурсами подземных вод. Это происходит, в основном, при бурении водозаборных скважин на неразведанных площадях и отсутствии должного мониторинга за изменениями гидрогеологических условий в процессе откачки подземных вод.

Новый изотопно - гидрохимический метод позволяет обнаружить изменения гидрогеологической ситуации в процессе работы водозаборных сооружений даже при одноразовом отборе проб на анализ.

Поэтому для ускоренного решения проблемы по оценке поступления токсичных химических элементов с глубинными водами в пределы водоносных горизонтов пресных вод можно использовать этот метод, показавший себя как высокоточный и экспрессный при более низкой стоимости по сравнению с традиционными гидрогеологическими методами.

Вышеизложенное свидетельствует о необходимости учета глубинного геологического фактора при проведении эколого - гидрогеологических исследований территорий с целью своевременного выявления районов поступления глубинных вод с аномальными концентрациями токсичных химических элементов и предотвращения или своевременной профилактики различных заболеваний населения, вызываемых этим явлением.

Исследования показали, что при кондиционном, согласно общему химическому анализу, составе подземных вод, присутствие в них различных микроэлементов в избыточном количестве делают их опасными для использования для питьевого водоснабжения населения.

В настоящее время на территории России гидрогеологическими организациями

выполняется программа работ по оценке обеспеченности населения качественной питьевой водой. Однако при выполнении этих работ не учитывается возможность попадания в эксплуатационные водоносные горизонты некондиционных для питья глубинных вод, характеризующихся высоким содержанием токсичных химических элементов глубинного генезиса.

Подобный подход может привести к ложным выводам и необходимости существенного дополнения этой работы, когда со временем выяснится существенное влияние глубинных токсичных химических элементов, содержащихся в питьевых подземных водах, на здоровье населения.

Поэтому нами предлагается включить новый экспрессный изотопно - гидрогеохимический метод в обязательный комплекс работ при эколого - гидрогеологических исследованиях территории Русской платформы, а также других районов со сходными гидрогеологическими условиями.

Своевременное проведение таких исследований позволит не только обнаружить участки поступления глубинных вод и локализовать их, но и принять наиболее эффективные меры для предотвращения дальнейшего развития негативных процессов и ограничения степени воздействия их на здоровье населения.

Литература

1. *Шатский Н.С.* Тектоническая карта СССР. М.: Наука, 1953.173 с.
2. *Илларионов И. К.* Проблема нефтеносности Приволжской полосы Свияжско - Сурскоговодораздела. М., 1947.188 с.
3. *Яницкий И.Н.* Гелиевая съемка. М., 1979. 96 с.
4. *Яницкий И.Н.* Прозрение. (В истоках Чернобыльской катастрофы) //Свет. 1996, № 8, с.с. 32 - 34, 64 - 68.
5. *Тихонов А. И., Васильев А. В., Николаев А. К.* Выявление зон современного внедрения глубинных вод в условиях Среднего Поволжья уран - изотопным методом / Тез. докл. Всерос. науч. – практ. конф. «Геоэкол. картографирование», п. Зеленый Моск. обл.: ВСЕГИНГЕО, 24 - 27 февраля 1998 г., М.: Геоинформмарк, 1998. с. 67 - 69.
6. *Тихонов А.И., Голицын М.С., Моралев Г.В., Русских А.В.* Экспрессный изотопно - гидрогеохимический метод оценки экологического состояния пресных подземных вод на геологической платформе условиях широкомасштабного поступления глубинных вод /Матер. Второй Междунар. конф. «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохр. технологии освоения недр. Москва, 15 - 18 сент. 2003 г. М., 2003, с. 296 - 298.
7. *Тихонов А.И., Русских А.В., Моралев Г.В., Голицын М.С., Васильев А.В., Дуев Д.С., Тимонова В.А., Николаев А.К., Лемешко А.П.* Комплексные изотопно - гидрохимические исследования экологического состояния подземных вод в районе г. Кирова /Водные ресурсы. 2004, № 6, с. 726 - 731.
8. *Семенов В.Ф., Егоров С.П.* Экологическое состояние Чебоксарского водохранилища в его нижней части от устья Суры до гидроузла /Матер.Всерос. науч. - практ. конф. «Водные рес. и экологически ответственное природопользование». Йошкар - Ола, 1999, с. 35 - 42.

ГЕОДИНАМИКА АТЛАНТИКИ И КЛИМАТ ЕВРОПЫ

Уткин В.И., Демежко Д.Ю., Ситникова А.А. - Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, voutkin@mail.ru

Аннотация. Представлен анализ данных по палеогеодинамике и современным движениям окружающих Атлантику континентов. Проведен анализ данных температурных измерений по глубоким и сверхглубоким скважинам Западной Европы и Европейского севера России, что позволило реконструировать долговременные (вековые и сверхвековые) изменения температуры земной поверхности в районе скважин, оценить амплитуду естественных колебаний палеотемператур и их пространственные вариации. Сопоставление данных по осцилляциям Атлантического течения, вызванным геодинамическими процессами, и данных по палеотемпературе позволяет оценить возможные изменения в направлениях движения атлантических палеоциклонов. Знание новейших относительных движений Северо-Американского материка и Европы позволяет провести оценку возможного сценария развития климатических изменений в Западной Европе и Европейской части России.

GEODYNAMICS OF ATLANTIC AND CLIMATE OF THE EUROPE

Outkin V.I., Demezhko D. Ju., Sitnikova A.A. - Institute of Geophysics UB of RAS, Ykaterinburg, voutkin@mail.ru

Abstract. The analysis of data on paleogeodynamics and modern movements of continents surrounding Atlantic is presented. The analysis of the temperature measurements data in deep and superdeep boreholes of the Western Europe and the European north of Russia has allowed to reconstruct long-term (century and supercentury) changes of temperature of terrestrial surface in area of boreholes, to estimate amplitude of paleotemperature natural fluctuations and their spatial variations. Comparison of data on the Atlantic current oscillations, caused by geodynamic processes, and data on paleotemperature allow to estimate possible changes in directions of Atlantic paleocyclones movement. The knowledge of the newest relative movements of the North-American continent and the Europe allows to lead an estimation of the possible scenario of development of climatic changes in the Western Europe and the European part of Russia.

В последние годы в связи с проблемой, так называемого, парникового эффекта на Земле, резко возрос интерес к общим проблемам изменения климата, особенно к последствиям антропогенного выброса в атмосферу газов, поглощающих инфракрасное излучение и, прежде всего, углекислого газа - продукта сжигания углеводородного топлива и угля. При этом обычно прогнозируются печальные последствия для климата нашей планеты: его резкое потепление и, как следствие этого, таяние ледниковых покровов, повышение уровня Мирового океана с затоплением густо населенных прибрежных регионов суши. Опасения аналогичных катастрофических явлений и давления экологических организаций заставляют Правительства разных стран выделять огромные средства на борьбу с последствиями потепления климата, якобы связанного с антропогенными выбросами в атмосферу "парниковых газов". Вместе с тем известные работы (например, О.Г. Сорохтин, 1991, 1996; Д.Ю. Демежко, 2003; *Demezhko D.Yu.*, 2003) по анализу изменения палеоклимата утверждают, что в истории нашей планеты были периоды потепления и похолодания, несравнимые по своим масштабам с наблюдаемыми сегодня.

Анализ соотношения естественных выбросов углекислого газа за счет вулканов и антропогенных (В.И.Уткин, 2000) показал, что выбросы антропогенного углекислого газа составляет не более 20% от естественных выбросов, связанных с вулканической деятельностью Земли. Кроме того, генератором углекислого газа является мировой океан, который мгновенно реагирует на изменение температуры и при ее повышении сбрасывает растворенный углекислый газ. Сопоставление временных изменений солнечной активности и концентрации углекислого газа в атмосфере показывает, что увеличение углекислого газа в составе

атмосферы практически всегда следует за увеличением температуры, а не наоборот. Следовательно, необходимо искать другие причины изменения климата.

В многочисленной литературе, в которой описываются глобальные изменения климата Земли практически не рассматривается один из важнейших вопросов современной геодинамики Земли - движение тектонических плит. Современные представления теории тектоники плит утверждает, что дно Атлантического океана в процессе спрединга раздвигается со скоростью до 100 мм в год.

Известно, что одним из определяющих факторов климата Европы и Европейской части России является течение Гольфстрим и его Северо - Атлантическоая ветвь, несущие громадные массы теплой воды на Север. При движении на север течение распадается на несколько ветвей, однако, общее движение на север сохраняется и для отдельных рукавов Гольфстрима. Исключение составляет южная ветвь, которая охлаждаясь спускается вдоль берегов Португалии к экватору и, нагреваясь, вновь вливается в главную струю у берегов Америки. Изменение расстояния между материками, связанное с глобальным движением плит, неминуемо должно со временем приводить к изменениям скорости движения и конфигурации ветвей Гольфстрима, а, соответственно, к региональным изменениям климата в Западной Европе и на европейской части Евразии. Поэтому оценка влияния новейших геодинамических движений на изменения климата нашего материка представляет актуальным.

Для решения поставленной цели проводился анализ данных по палеогеодинамике берегов Атлантики, а также анализ данных по современным движениям (на основе систем спутникового позиционирования – GPS) окружающих Атлантику континентов, анализ данных температурных измерений по глубоким и сверхглубоким скважинам Западной Европы и Европейского севера России, что позволило реконструировать долговременные (вековые и сверхвековые) изменения температуры земной поверхности в районе скважин, оценить амплитуду естественных колебаний палеотемператур и их пространственные и широтные вариации. Реконструкция температурных историй земной поверхности проводилась с помощью алгоритмов и программного обеспечения, разработанного в Институте геофизики УрО РАН (д.г.-м.н. Д.Ю.Демежко, 2001). Обработка измерений, полученных по глубоким скважинам дала возможность оценить амплитуды наиболее мощного плейсто - голоценового потепления (около 10000 лет тому назад) по различным регионам и сделать соответствующие выводы о «вековых» вариациях температуры в западной части Евразии.

Сопоставление данных по осцилляциям Атлантического течения, вызванным геодинамическими процессами, и данных по палеотемпературе позволило оценить возможные изменения в направлениях движения атлантических палеоциклонов. Знание новейших относительных движений Северо - Американского материка и Европы позволяет провести оценку возможного сценария развития климатических изменений в Западной Европе и Европейской части России.

О геодинамических моделях Северной Атлантики.

Анализ известных палеомагнитных данных (Диденко, 2001; Свяжина, 2001) показывает, что Евразия как целостный континент возникла в триасе и после достаточно сложных движений в предыдущее время стала двигаться на северо - восток, одновременно поворачиваясь по часовой

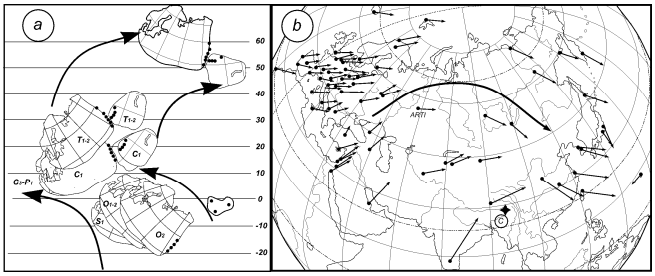


Рис.1. Схема унаследования движения Евразии: а - палеомагнитная реконструкция зоны сочленения Европы и Азии; б - современные движения континента по данным GPS-мониторинга.

стрелке (рис.1а).

Анализ современных движений Евразии на основе GPS- мониторинга показывает, что это движение, начавшееся в триасе, продолжается до сих пор (рис.1б, Уткин, 2002). На рисунке 1 представлена модель унаследованности описанного движения. Поэтому можно предполагать, что современные движения, связанные со спредингом дна Атлантики, также являются унаследованными, поскольку временные параметры этих движении существенно меньше.

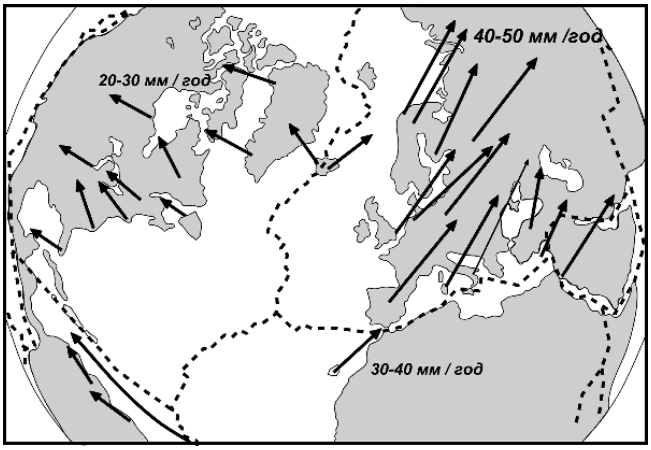


Рис.2. Схема современных движений береговой линии Северной Атлантики по данным GPS-мониторинга. Спрединг дна Атлантического океана вызывает расширение океана со скоростями до 100 мм/год.

В настоящее время GPS - мониторинг береговой линии Атлантики, Северной Америки и Европы достаточно хорошо отработан. Существующие станции позволяют с высокой точностью определить новейший дрейф континентов. В результате многолетних измерений определено, что Североамериканский континент движется в северо - западном направлении со скоростью 20 - 30 мм/год, а Евразия движется в северо - восточном направлении со скоростью 40 - 50 мм/год с одновременным вращением по часовой стрелке. Поэтому расширение океана на северных широтах более 50^0 происходит быстрее, чем на юге. На основании этих данных были построены несколько моделей палеодвижений континентов. Наиболее известный из них проект «PaleoMap», представленный на сайтах NASA и NOAA.

Существующие палеомодели показывают, что приблизительно до 15 - 20 млн. лет тому назад в принципе было невозможно возникновение теплого Северо - Атлантического течения в связи с закрытостью северо - восточного прохода в Северной океан. По данным многих моделей (Диденко А.Н., Scotese Ch.R. и др.) необходимые условия для возникновения Северо - Атлнтического течения создались около 10 млн. лет тому назад. При этом представляется, что собственно течение сформировалось значительно позднее, ввиду достаточно большой инерционности водных масс Атлантики.

На основании этих же данных можно предположить, что последнее вюрмское оледенение было разрушено только при возникновении достаточно мощного потока Северо - Атлантического течения. Комплексная палеореконструкция, учитывающая различные стороны исторического развития континентов, показывает, что еще 18 тысяч лет тому назад оледенение охватывало большую часть северного сектора Евроазиатского континента.

Проведенный анализ показывает достаточно необычную ситуацию. Существует большая вероятность того, что Северо - Атлантическое течение - достаточно молодое образование, которое имеет определяющее значение при формировании климата западной и северной частей Евразии. Изменения, вариации этого течения, вероятно, связаны как с геодинамическими процессами спрединга дна, так и глобальными изменениями климата планеты. С другой стороны это течение само определяет климат большой части континента.

Результаты палеотемпературных исследований.

С целью детального изучения температурной истории Евразии был проведен анализ данных температурных измерений по

скважинам Восточно - Европейской платформы, Южного, Среднего и Северного Урала; Центральной Европы и Гренландии. Была проведена оценка амплитуд естественных колебаний палеотемператур и их пространственные и широтные вариации. При анализе использовались данные геотермии в глубоких и сверхглубоких скважинах с целью восстановления распределения палеотемператур до временного среза 18000 лет..

Расположение выбранных для анализа скважин представлено на рис.3 (цветная вкладка).

В целом все палеотемпературные кривые подтвердили известную зависимость глобального изменения температур с минимумами 18000 и 450 - 500 лет тому назад. При определении предельных значений изменения температур оказалось, что за последние 10000 лет наибольшие изменения температуры наблюдались в северных широтах. Например, в Гренландии амплитуды потепления составляют по различным оценкам от 23^0 до 30^0 С, в то время как в центральной Европе (Германия, Чехия, Словения) - оцениваются в 6 - 15^0 С. В Канаде эти изменения составили около 6^0 С.

Наиболее полные данные по широтной вариации голоценового потепления получены для Урала, где имеется большое количество исследованных глубоких скважин практически вдоль Уральских гор, около 60^0 вост.долготы. Количество обработанных данных по Уралу достаточно велико, чтобы составить надежный широтный профиль сопоставления современных среднегодовых температур земной поверхности и реконструированных (палеотемператур) для конца вюрма (приблизительно 10000 лет тому назад). Полученные данные представлены на рис.4 (цветная вкладка).

Как видно из кривых рис.4. (Демежко, 2001), тенденция существенного изменения (потепления) температур за последние 10000 лет от средних широт к северу сохраняется для больших пространств (от Атлантического океана до Урала).

Дальнейший анализ палеотермических данных показал, что в пределах Урала за последние 450 - 500 лет годовые изменения температур малого ледникового периоды также неравномерны в меридиональном направлении (Рис.4, 5, б, цветные вкладки).

На севере (61^0 - 62^0 с.ш.) и юге (51^0-52^0 с.ш.) эти изменения невелики, но в пределах широт 55^0 - 58^0 достигают величин 5^0 - 6^0 К. Следовательно, в последние 450 - 500 лет основной поток тепла, приносимый атлантическими циклонами, сместился к югу.

Полученные данные возможно проинтерпретировать следующим образом. Современное плато температур в интервале 51^0 - 62^0 с.ш. обусловлено влиянием Атлантики и интенсивной зональной циркуляцией. Северо - западные, юго - западные и просто западные циклоны, смещаясь на восток через умеренные широты, несколько нивелируют температурные различия между югом и севером. Вероятно, в конце вюрма западная циркуляция была заметно ослаблена и широтные различия на Урале в большей степени определялись чисто радиационными (широтными) факторами

На основании представленных данных возможно представить вероятные изменения направлений атлантических циклонов в последние 450 - 500 лет (Рис.5, цветная вкладка). Формы меридиональных изменений палеотемператур вдоль Урала (Рис.4, цветная вкладка) дают основание для предположения, что разрушение последнего оледенения проходило не с юга на север, а, наоборот, с севера на юг, что еще раз свидетельствует о громадной роли тепломассопереноса вод Северной Атлантики вдоль северного побережья Евразии.

Другим геотермическим свидетельством в пользу решающей роли Северной Атлантики в смене ледниковых и межледниковых периодов являются геотермические данные, записанные на Украине (Р.И.Кутас), которые были проанализированы нами в 2003 г. (Демежко Д.Ю., 2003). Оценки плейстоцен - голоценового потепления, полученные по различным методикам, укладываются в диапазон 12^0 - 15^0 К, что довольно много для столь низких широт. Если предположить реальность этих

оценок, можно провести по крайней мере одну изолинию амплитуды потепления через две точки: 60° с.ш., 60° в.д и 48°30' с.ш, 32° в.д. Нормаль к ней как раз указывает на Северную Атлантику. Этот вывод подтверждается известной реконструкцией отклонений летних температур поздневюрмского криохрона 18 тыс.л.н. от современных.

Таким образом, палеотемпературные реконструкции, проведенные по геотермическим данным, свидетельствуют о возможном существенном изменении циркуляции Северо - Атланического течения в северном проходе между Исландией и Великобританией за последние тысячу лет.

Анализ возможных осцилляций Северо - Атлантического течения как основной части Гольфстрима.

Известно, что Гольфстрим, как течение, начинающееся вблизи экватора и пересекающее громадные расстояния, отличается заметной изменчивостью потока, то есть в основном течение носит вихревой характер. Обычно такие вихри четко отмечаются в средней части течения после «отрыва» его от берегов Северной Америки (Рис.6, цветная вкладка). На наш взгляд такое турбулентное течение должно сопровождать постоянно движение водных масс через водную среду при взаимодействии с противотечениями, а также с береговой линией океанических островов, в частности, Исландией, Великобританией и Гренландией.

Для турбулентных течений характерна крайняя неустойчивость потока. Поэтому можно предположить, что даже небольшие изменения условий течения (в нашем случае – расстояния между островами за счет спрединга океанического дна) могли вызывать существенные вариации в направлении потока океанической массы. Несомненно, что увеличение расстояния между островами Исландией и Великобританией должно несколько изменить направление общего потока течения, смещая его к северу.

Предполагаемое изменение «русла» Северо - Атлантического течения при увеличении расстояния между береговыми линиями островов Исландии и Великобритании представлено на рис.7(цветная вкладка).

Изменение «русла» течения неминуемо должно привести к следующим заметным изменениям параметров потока:

во - первых, это ведет к существенному потеплению северного фланга течения или, другими словами, наиболее теплая часть течения должна сместиться к северу;

во - вторых, при увеличении размеров поперечного сечения «русла» течения, скорость течения должна уменьшаться, но при этом переносится большая масса воды, что вызывает общее увеличение количества тепла, транспортируемого на восток и, соответственно, потепление северного побережья восточной Европы;

в - третьих, в районе о. Новая Земля, в южной и центральной части его западного побережья должно наблюдаться аномально (относительно средних) высокие значения температуры, а ветвь течения, отклоняющаяся на север, должна интенсивно растапливать льды Северного ледовитого океана;

в - четвертых, при замедлении общей скорости течения, отклоняющаяся к югу часть Гольфстрима, так называемое «Португальское» течение, должно иметь пониженную, относительно средневековых, температуру, поскольку отклонение от основного течения происходит на более высоких широтах.

Наиболее полные данные по изменению температуры в Северном полушарии имеются на сайтах NASA и NOAA. Эти данные приведены на рис.8, 9(цветная вкладка) и рис.10.

Результаты измерений температуры течения в последние годы действительно показывают смещение «русла» течения на север (Рис.8), что может быть следствием, как говорилось ранее, изменения условий протекания за счет спрединга дна океана. Кроме того, наблюдаются предполагаемые ранее «застойные» зоны с аномально высокой температурой в районе о. Новая Земля, что может быть также следствием геодинамических изменений дна Атлантического океана.

На рис. 8 также видно, что наблюдается аномальное понижение температур в Западной Европе, особенно в центральной ее части и на Пиринейском полуострове.

Анализ данных по расположению границы «летней» (сентябрь) изотермы 0^0 вдоль северного побережья Восточной Европы за последние 20 лет (спутниковые измерения) показал, что за последние годы изотерма сместилась на 70^0 на восток. Если в начале 80 - х годов (начало измерений) изотерма находилась на уровне 60^0- 65^0 в.д., то к началу 21-го века она сместилась до полуострова Таймыр и далее, достигая 140^0 в.д. На рис.9(цветная вкладка) показаны изменения этой границы для двух крайних случаев 1982 и 1999гг.

Изменение границы «нулевой» изотермы за последние 25 лет представлено на рис. 10. Из графиков видно, что плавное увеличение восточной границы изотермы после 1995 года сменилось резким перемещением ее положения в течение двух - трех лет на уровень 140° восточной долготы. В то же время «зимняя» граница изотермы практически не изменилась за это время. Приведенные данные свидетельствуют о существенном перераспределении приносимом Гольфстримом тепла в летнее время.

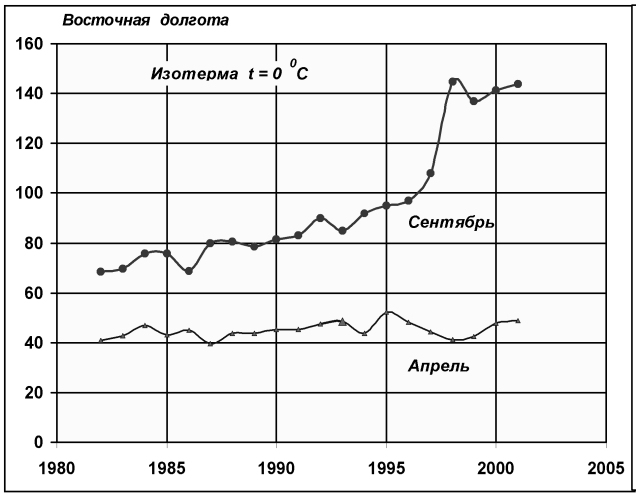


Рис.10. Изменение во времени восточной границы «летней» (сентябрь месяц, красная кривая) и «зимней» (апрель месяц, синяя кривая) изетермы за последние 20 лет наблюдений.

По спутниковым измерениям наблюдается интенсивное таяние льдов Северного ледовитого океана в летнее время в области вихревой струи, отклоняющейся к северу от о.Новая Земля.

Имеются в печати также краткие сообщения о замедлении движения течения Гольфстрим и о некотором снижении температуры Португальского течения. Косвенным подтверждением этого может служить факт снижения продолжительности туманов в проливе Ла - Манш, в южной части Англии (в частности, в Лондоне). Снижение температуры Португальского противотечения приводит к рождению зон неустойчивой атмосферной циркуляции и изменению основных направлений движения Атлантических циклонов. Зона максимально высокой температуры прибережных вод Ледовитого океана в настоящее время распространяется до восточного побережья полуосторова Таймыр, вызывая так называемую инверсию зимних температур: на северном побережье Европейской части температура выше, чем в континентальных районах, расположенных южнее.

Заключение

Приведенные данные свидетельствуют о значительной роли, которую играла и играет Северная Атлантика в глобальных климатических изменениях кайнозоя. При этом тектонические явления (типа спрединга) определяют постепенные изменения, временной масштаб которых - миллионы лет, а изменения океанической циркуляции - с периодами около 100 тыс. лет. Создается впечатление, что изменения океанической циркуляции происходят не эволюционно в геологическом масштабе времен, а достаточно быстро, в течении нескольких тысяч, а может быть и сотен лет.

Анализ климатических изменений в плиоцене и четвертичном периоде показывает, что за это время наблюдалось около 18 циклов похолодание - потепление. При этом похолодания происходили гораздо медленнее потеплений и неоднократно прерывались кратковременными потеплениями. Однозначного мнения о причинах такой регулярной повторяемости в настоящее время не существует. Однако возмож-

но предложить гипотезу долговременных осцилляций (около 100 тыс.лет), связанных с изменением геометрии материков при их движении в разные стороны, и кратковременных, связанных с возникновением гидродинамических вихрей в Северной Атлантике на уровне Исландии – Великобритании, где происходит отделение от главной струи Гольфстрима Исландской струи на север и Португальской в южном направлении.

Предлагаемая гипотеза о новейшей геодинамике не претендует на полное объяснение всех наблюдаемых вариаций климата, хотя позволяет объяснить многие из наблюдаемых сегодня фактов по изменению регионального климата северных и отчасти западных областей Европы. Тем не менее, представленные материалы показывает, что современные движения континентов могут быть важным фактором при решении некоторых прогностических проблем изменения климата.

Работа выполнена при поддержке программ Президиума РАН №13 «Изменение окружающей среды и климата: природные катастрофы» и № 14 «Мировой океан: геология, геодинамика, физика, биология» по теме «Исследования современной геодинамики океанической коры».

Литература

1. *Демежко Д.Ю.* Геотермический метод реконструкции палеоклимата (на примере Урала). Екатеринбург:УрО РАН, 2001. ISBN 5-7691-1106-2. 143 с.

2. *Демежко Д.Ю., Голованова И.В.* Интервальные оценки палеоклимата последнего тысячелетия по геотермическим данным. Уральский геофизический вестник №4, УрО РАН. Екатеринбург: 2003, с. 4 - 9.

3. *Демежко Д.Ю., Голованова И.В., Щапов В.А., Рывкин Д.Г.* Исследование климатических изменений, происходивших за последнее тысячелетие, в свете проблемы глобального потепления. Деп ВИНИТИ 18.08.03 №1598-В2003, 34 стр.

4. *Демежко Д.Ю., Голованова И.В.* Глобальное потепление на Урале – антропогенная аномалия или естественное развитие климатической системы? Мат - лы конф. «Экологические проблемы промышленных регионов».УрО РАН. Екатеринбург: 2003, с. 22 - 23.

5. *Диденко А.Н., Куренков С.А., Руженцев С.В., Симонов В.А. и др.* Тектоническая история Северного Урала. (Тр.ГИН РАН; Вып.531) – М.: Наука. 2001. – 191 с.

6. *Свяжина И.А.*, Пучков В.Н., Иванов К.С., Петров Г.А. Палеомагнетизм ордовика Урала. Екатеринбург. Институт геофизики УрО РАН. 2003. 133 с.

7. *Сорохтин О.Г., Ушаков С.А.* Глобальная эволюция Земли. М.: Изд-во МГУ. 1991.- 446 с.

8. *Сорохтин О.Г., Ушаков С.А.* Адиабатическая теория парникового эффекта атмосферы. Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 5, География. 1996, № 2, с. 27 - 37.

9. *Уткин В.И.* Естественные и искусственные газы - токсиканты в атмосфере Земли. Соросовский образовательный журнал, 2000, № 6. с. 34 - 36.

10 *Уткин В.И.* Новейшая геодинамика и наследованное движение Евро - Азиатского континента. Уральский геофизический вестник № 5, УрО РАН. Екатеринбург: 2003, с. 78 - 83.

11. *Уткин В.И., Демежко Д.Ю., Ситникова А.А.* Современная геодинамика и проблемы изменения климата Европы // Кн. Материалы Всеросс.конф. с межд.участием «Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде северных регионов», ИЭПС УрО РАН, Архангельск, т.1. 2004, с. 78 - 83.

12. *Уткин В.И.* Природные катастрофы – проблемы и решения. Кн. Ядерная геофизика. Геофиз.исследования литосферы. Геотермия. Вторые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Материалы. Ин - та геоф. УрО РАН. Екатеринбург: 2003, с. 109 - 110.

13. *Demezhko D.Yu., Duchkov A.D., Golovanova I.V., Huang S., Pollack H.N., Shchapov V.A. and Smerdon J.E.* Surface temperature trends in Russia over the past five centuries reconstructed from borehole temperatures. J. Geoph. Res., 108(B4), 2180. doi: 10. 1029/2002JB002154, 2003.

ВОЗДЕЙСТВИЕ БЕЛОЯРСКОЙ АЭС НА СОСТОЯНИЕ ПЛАНКТОНА В ВОДОЕМЕ - ОХЛАДИТЕЛЕ

Чеботина М.Я., Гусева В.П. - Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург

Аннотация. Установлено, что в районе выхода в Белоярское водохранилище стоков промливневой канализации от БАЭС и СФНИКИЭТ наблюдается угнетение состояния планктонного комплекса, которое проявляется в заметном снижении количества видов фито- и зоопланктонных организмов, общей численности и биомассы зоопланктона. На момент исследований концентрация ^{137}Cs в планктоне в 400 раз превышала аналогичный показатель для контрольного региона. Коэффициенты накопления радионуклидов для планктона оказались существенно выше, чем для грунта, в связи с чем планктону можно отдать предпочтение при проведении индикационных оценок радиоактивного загрязнения водной среды.

BELOYARSKAYA ATOMIC POWER STATION INFLUENCE ON THE PLANKTONIC STATE IN THE COOLING RESERVOIR

Chebotina M.Ja., Guseva V.P. - Institute of Plant and Animal Ecology, UB of RAS, Yekaterinburg

Abstract. In the area of run-off of BAES and SFNIKIET industrial-storm canalization into the Beloyarskoye reservoir there is observed oppression of plankton complex state, which is displayed by marked decrease of phyto- and zooplankton species number total abundance and biomass of zooplankton. Contamination with radionuclides was registered. During the research C_s – 137 concentration in the plankton exceeded that in the control region in 400 times. Radionuclides accumulation coefficients were significantly higher in plankton than in soils, therefore plankton was preferable for indicative evaluation of radioactive pollution of the water ecosystem.

Планктон (греч. *Planktos* – парящий, блуждающий) представляет собой сообщество мелких организмов, свободно дрейфующих в воде. Растительная (фитопланктон) и животная (зоопланктон) компоненты планктона насчитывают большое число видов, способных быстро изменять свой качественный и количественный состав в зависимости от времени суток, сезона года, местообитания даже в пределах одного водоема. Ввиду огромной суммарной сорбционной поверхности планктона, он способен быстро поглощать разнообразные радионуклиды и другие загрязнители природных вод. В радиоэкологическом плане планктонные организмы изучены наиболее слабо по сравнению с другими представителями водного биоценоза, что обусловлено трудоемкостью отбора больших количеств планктона, необходимых для радиоэкологического анализа.

Целью нашей работы было исследование состояния планктонного комплекса в зоне сброса слаборадиоактивных вод Белоярского водохранилища.

Отбор проб планктона производили летом 2003 г. в водоеме - охладителе на месте выхода в него промливневой канализации (ПЛК). В канал попадают стоки с двух предприятий: Белоярской АЭС, где в настоящее время работает 3-й энергоблок, и Свердловского филиала научно - исследовательского и конструкторского института энерготехники (СФНИКИЭТ), где работает экспериментальный реактор. В качестве контроля служило верховье Белоярского водохранилища, расположенное вверх по течению примерно в 15 км от АЭС.

Методика отбора проб, их приготовления, анализа на качественный и количественный состав планктона и на радиометрию подробно описана в работе [1].

Результаты и их обсуждение.

На рис. 1 приведено количество видов фито- и зоопланктона в обеих точках наблюдений.

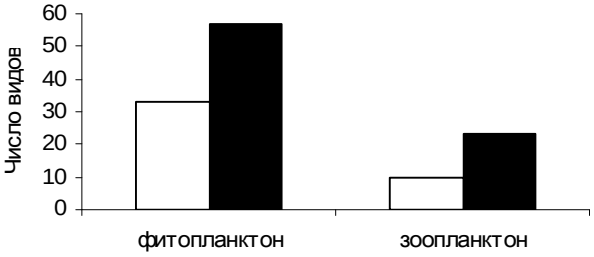


Рис. 1. Количество видов фито- и зоопланктона в районе ПЛК и верховья (темные столбики) Белоярского водохранилища.

Видно, что количество видов планктонных организмов в контрольном районе примерно в 2 раза выше по сравнению с районом ПЛК. В частности, в верховье зарегистрировано 57 видов фитопланктона и 23 вида зоопланктона, а в районе ПЛК – соответственно 33 и 10 видов.

Коэффициент видового разнообразия по Серенсену в указанных точках наблюдений составляет для фитопланктона 0,6, а для зоопланктона – 0,48.

Таким образом по количеству видов район верховья более благоприятен для развития как фито-, так и зоопланктона.

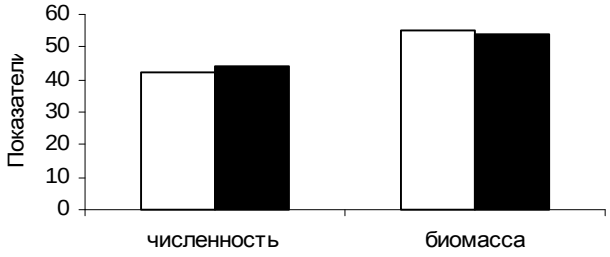


Рис. 2. Общая численность (млн.кл./л) и биомасса (г/м^3) фитопланктона в районе ПЛК и верховья (темные столбики) Белоярского водохранилища.

По показателю общей численности и биомассы фитопланктона, а также по численности и биомассе основных типов рассматриваемые районы в целом достаточно схожи. В обоих случаях общая численность исследуемых организмов составляет 42 - 44 млн.кл./л, а биомасса – 54 - 55 г/м^3 (рис. 2).

Наибольшей численностью в период наблюдений характеризовались синезеленые (22 - 26 млн.кл./л) и диатомовые водоросли (10 - 18 млн.кл./л), а по биомассе преобладали диатомовые водоросли, которые составляли примерно 60 - 80 % от общей биомассы фитопланктона (табл. 1).

В обоих районах наблюдений доминирующим видом была диатомовая водоросль *Melosyra sp.*, которая в районе ПЛК в момент исследований составляла 70 % от биомассы всего фитопланктона, а в верховье – 31 %.

Что касается зоопланктона, то его численность и биомасса в районе ПЛК была заметно ниже по сравнению с контрольным вариантом (рис. 3).

Последнее свидетельствует об угнетении этой группы организмов сбросами промливневой канализации.

По составу зоопланктона исследуемые местообитания также различались (табл.2). В контроле биомасса была представлена ветвистоусыми и веслоногими рачками в одинаковой пропорции, тогда как в районе ПЛК ветвистоусых было в 2 раза меньше (соответственно 69 и 30 %).

Различались и доминирующие виды зоопланктона.

В районе ПЛК доминирующий комплекс состоял из веслоногих рачков *Eucyclops serrulatus* (37 % от общей численности зоопланктона), *Eudiaptomus graciloides* (28 %) и *Leptodora Kindtii* (21 %), а в контрольном варианте доминировал веслоногий рачок *Macrocyclops albidus* (38 %) и ветвистоусый рачок *Bosmina obtusirostris* (23 %).

Таблица 1.Численность (млн.кл./л) и биомасса (г/м^3) основных типов фитопланктонных водорослей в районе ПЛК и верховье Белоярского водохранилища.

Показатель	Численность		Биомасса	
	Район ПЛК	Верховье	Район ПЛК	Верховье
Синезеленые	**21,6**	**26,2**	1,76	3,25
Зеленые	2,2	5,9	2,71	3,08
Криптофитовые	0,4	2,1	1,89	15,41
Динофитовые	0,03	0,01	3,06	0,17
Диатомовые	**17,8**	**10,3**	**45,93**	**31,35**
Эвгленовые	0,04	0,2	0,19	0,85
Желтозеленые	Не обн.	0,04	Не обн.	0,01

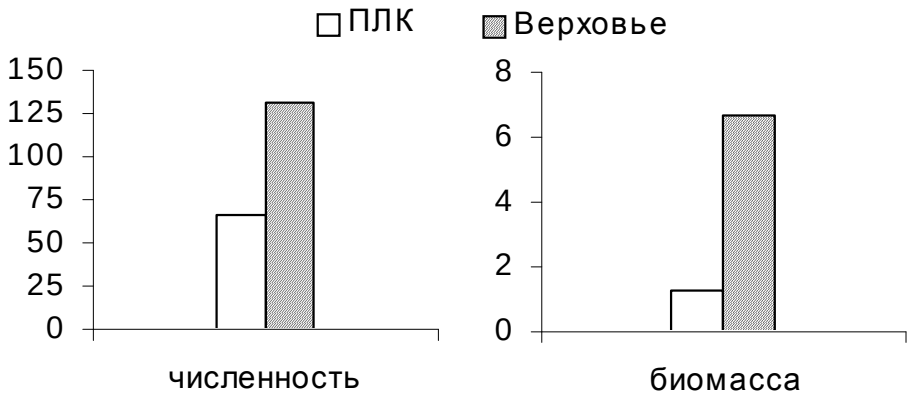


Рис. 3. Общая численность (тыс.экз./м^3) и биомасса (г/м^3) зоопланктона в воде района ПЛК и верховья Белоярского водохранилища.

Содержание радионуклидов в планктоне водоема-охладителя в двух рассматриваемых районах Белоярского водохранилища приведено в табл. 3.

Видно, что среди исследованных радионуклидов, поступающих через прмливневую канализацию, основным загрязнителем является ^{137}Cs, концентрация которого

Таблица 2. Численность (тыс.экз./м^3) и биомасса (г/м^3) основных групп зоопланктонных организмов в районе ПЛК и верховье Белоярского водохранилища.

Показатель	Численность		Биомасса	
	Район ПЛК	Верховье	Район ПЛК	Верховье
Ракообразные				
ветвистоусые	3,4	51,3	0,38	3,36
веслоногие	23,4	60,3	0,88	3,24
Коловратки	38,4	19,9	0,02	0,09

в планктоне превышает его содержание в этом объекте в контрольном регионе более чем в 400 раз. Концентрация ^{90}Sr в 3 раза, а ^{60}Co – примерно в 40 раз выше, чем в верховье водоема.

Согласно ранее проведенным исследованиям, наилучшим биоиндикатором радиоактивного загрязнения водных экосистем в большинстве случаев является грунт, поскольку он в конечном итоге концентрирует и удерживает в себе практически все радиоактивные загрязнения, попавшие в водоем [2,3].

На примере района ПЛК мы показали, что коэффициенты накопления ^{90}Sr и ^{137}Cs у планктона, при прочих равных условиях, даже выше, чем коэффициенты накопления этих радионуклидов для слоя грунта 0 - 5 см (рис. 4).

Поэтому можно считать, что планктон является более сорбционно способным к радиоактивному загрязнению компонентом водоема, чем грунт. Это его свойство может быть успешно использовано для биоиндикации радиоактивного загрязнения воды в местах размещения предприятий ЯТЦ.

Таким образом, исследование показало, что в районе выхода в Белоярское водохранилище стоков промливневой канализации от БАЭС и СФНИКИЭТ наблюдается угнетение состояния планктонного комплекса.

Оно заключается в заметном снижении количества видов фито- и зоопланктонных организмов, общей численности и биомассы зоопланктона. Зарегистрировано загрязнение планктона радионуклидами.

Таблица 3. Содержание радионуклидов в планктоне наблюдаемых зон Белоярского водохранилища, Бк/кг сухой массы.

Радионуклид	Концентрация	
	Район ПЛК	Верховье
^{60}Co	178 ± 19	4 ± 1
^{90}Sr	63 ± 1	23 ± 4
^{137}Cs	3089 ± 153	7 ±1

В момент исследований концентрация ^{137}Cs в планктоне в 400 раз превышала аналогичный показатель для контрольного региона.

Коэффициенты накопления радионуклидов для планктона оказались существенно выше, чем для поверхностного слоя

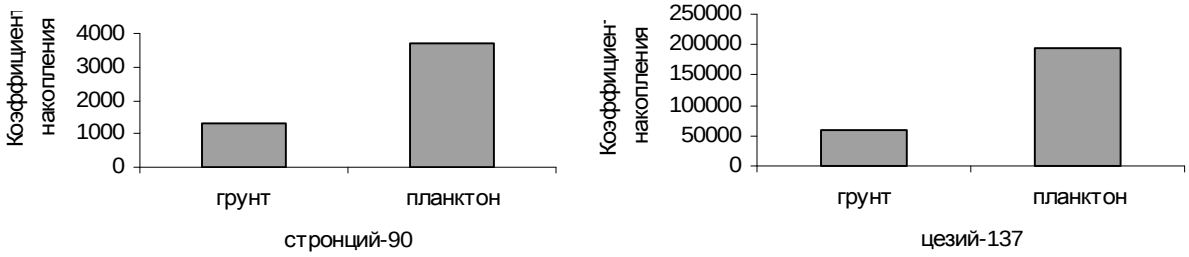


Рис. 4. Сравнение коэффициентов накопления ^{90}Sr и ^{137}Cs для планктона и грунта в районе ПЛК Белоярского водохранилища.

грунта, в связи с чем планктону можно отдать предпочтение при проведении индикационных оценок радиоактивного загрязнения водной экосистемы.

Литература

1.*Чеботина М.Я., Гусева В.П., Трапезников А.В*. Планктон и его роль в миграции радионуклидов в водоеме - охладителе АЭС. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 171 с.

2. *Куликов.Н.В., Чеботина М.Я*. Радиоэкология пресноводных биосистем. Свердловск: УрО РАН СССР, 1988. 126 с.

3. *Чеботина М.Я., Трапезников А.В., Трапезникова В.Н., Куликов Н.В*. Радиоэкологичекие исследования Белоярского водохранилища. Свердловск: УрО АН СССР, 1992. 77 с.

ХРОНИКА. СОБЫТИЯ. ЛЮДИ.

VII УРАЛЬСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА ПО ГЕОФИЗИКЕ.

С 28 по 31 марта состоялась, уже ставшая традиционной, VII Уральская молодежная научная школа по геофизике. В этом году школу принимали екатеринбургские геофизики: Институт геофизики УрО РАН, Уральский государственный горный университет, Институт горного дела УрО РАН. В работе школы приняли участие более 50-ти слушателей из Екатеринбурга, Перми, Архангельска, Новосибирска, Иркутска, Воронежа, Тюмени.

География присланных докладов оказалась значительно шире: кроме молодых геофизиков уже упомянутых городов прислали свои материалы молодые геофизики из Еревана, Астаны, Магадана, Петрозаводска, Санкт - Петербурга, Сыктывкара. Так что школа на седьмом году своей жизни приобрела, если можно так выразиться, международное звучание. К сожалению, несмотря на то, что Оргкомитет школы несет всегда расходы по частичной финансовой поддержке участников школы, многие не смогли приехать ввиду отсутствия необходимых средств.

Рис.1. Открытие школы: Председатель Оргкомитета, член-корр РАН В.И. Уткин, директор Института геофизики, член-корр РАН П.С. Мартышко, ректор УГГУ, профессор Н.П. Косарев

Традиционно всех участников школы приветствовали: Председатель Оргкомитета член - корреспондент РАН В.И. Уткин, директор Института геофизики УрО РАН профессор П.С. Мартышко, ректор Уральского государственного горного университета (УГГУ) профессор Н.П. Косарев, председатель Совета молодых ученых УГГУ доцент И.С. Бобин, председатель УО ЕАГО И.И. Глухих.

По программе школы были прочитаны лекции член - корреспондентов РАН **В.Н. Анфилогова** (Институт минералогии УрО РАН, г.Миасс) **– «Свободная конвекция и плюмы в мантии Земли»; Б.В. Левина** (Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г.Южно - Сахалинск) - **«Волны цунами: физические механизмы генерации»; С.Л. Вотякова** (Институт геологии и геохимии УрО РАН, .Екатеринбург) – **«Методы элементного анализа и спектроскопии твердого тела в исследованиях минерального вещества»**; профессоров: **М.Г. Леонова** (Геологический институт РАН, Москва) – **«Консолидированная кора континентов: тектоника, механизмы структурно - вещественных преобразований, структурные ансамбли, нефтегазоносность»; Г.Ф. Уфимцева** (Институт земной коры Со РАН, Иркутск) – **«Тектонический анализ рельефа – третье лицо геотектоники»; И.Л. Гуфельда** (Институт физики Земли РАН, Москва) – **«Современные представления о физике сейсмического процесса и очагах сильных коровых землетрясений»; А.В. Зубовича** (Научная станция РАН, Бишкек) – **«Использование методов космической геодезии в геодинамических исследованиях»; В.Б. Писецкого** (Уральский государственный горный университет, Екатеринбург) – **«Технологии прогноза параметров флюидодинамики по сейсмическим данным в нефтяных районах».**

Рис.2. Докладчик - член - корреспондент РАН В.Н. Анфилогов

На заключительном заседании школы академик

С.В.Гольдин (Институт геофизики ОИГГМ СО РАН) представил свою новую книгу **«Введение в геометрическую сейсмику».**

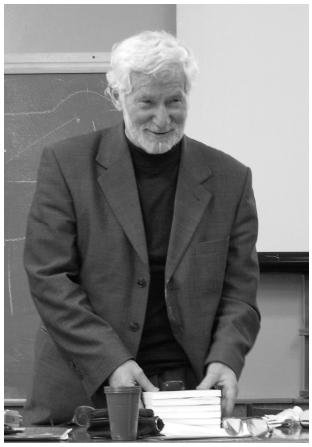


Рис.3. Академик С.В. Гольдин представляет “школьникам” свою новую книгу.

Все участники школы отметили очень высокий уровень лекторских докладов, представленных в этом году.

Доклады слушателей и тезисы лекций были изданы к началу работы школы. В работе школы активное участие приняли преподаватели, аспиранты, магистранты и студенты из Уральского госуниверситета, Уральского государственного горного университета, Уральского технического университета, Института геофизики и Института горного дела УрО РАН. Всего было зачитано по тематике, задаваемой лекторами, свыше 50 - ти докладов слушателей школы. Многие доклады слушателей вызвали большой интерес у маститых ученых и достаточно бурное обсуждение. По мнению большинства организаторов и участников сессии, качество докладов слушателей школы заметно возросло и некоторые результаты, доложенные молодыми учеными, могут составить основу кандидатских диссертаций.

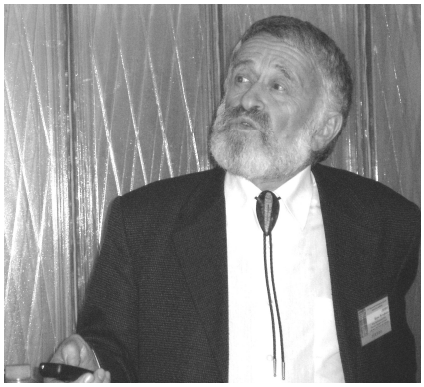


Рис.4. Директор Института морской геологии и геофизики ДВО РАН, член - корреспондент РАН Б.В. Левин.

При подведении итогов школы мы обратились к архиву газеты «НАУКА УРАЛА» и задали председателю оргкомитета школы, член - корреспонденту РАН **В.И. Уткину** те же вопросы, что и три года тому назад.

Владимир Иванович, в связи с чем возникла необходимость организовывать молодежную научную школу?

- Цели проведения молодежной школы остаются прежними, хотя в деталях несколько изменяются со временем. Во - первых, это знакомство с новыми идеями в геофизике и геологии, для чего и приглашаются маститые лектора. Во - вторых, приобретение опыта публичных выступлений, научных дискуссий. В - третьих, (это новое) обкатка своих собственных идей в дискуссиях с известными учеными; своих идей, которые могут лечь в основу, как минимум, кандидатских диссертаций. Надо отметить, что школа стала полигоном испытаний для многих молодых исследователей. Состав слушателей школы обновляется ежегодно на 30 - 40%.

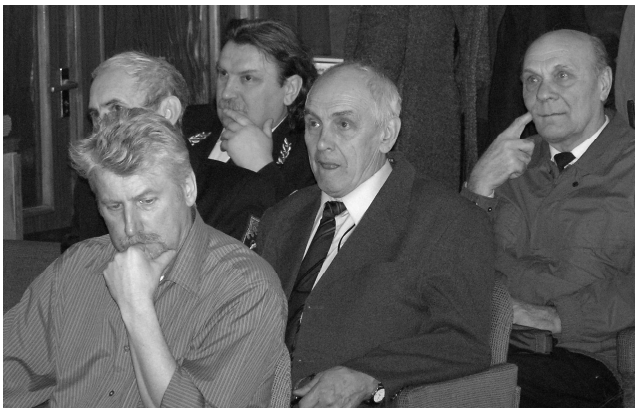


Рис.5. В зале заседаний: проректор Уральского государственного горного университета, профессор А.Г. Талалай; заведующий кафедрой УГГУ В.И, Бондарев; сотрудники ИГФ РАН - доктор наук А.М. Виноградов, А.Н. Гуляев.

В этом году мы подвели некоторые итоги и подсчитали, что из наших первых 27 слушателей (первой школы в 2000г.) десять стали кандидатами наук. А всего из числа наших слушателей за эти годы защитили кандидатские диссертации около 30 человек. Интересная ситуация была в этом году. Трое докладчиков были учениками первых наших слушателей 2000 года, которые ус-

пешно работают после защиты кандидатской диссертации. Образно говоря, у школы появились не только «дети», но и «внуки».

Рис.6. Доклад директора Геологического института РАН, профессора М.Г. Леонова (Москва)

Я очень рад этому обстоятельству, поскольку одной из задач, которую мы ставили при организации школы, было создание сообщества геофизиков младшего поколения. В нашем поколении такое сообщество существует много лет. Когда «школьники» наблюдают, как мы общаемся между собой, то видят, что встретились старые знакомые, друзья, коллеги, которые поддерживают друг друга. К сожалению, молодежь лишена сегодня того общения, которое было в прошлые годы. И мы все стараемся, чтобы создать новое сообщество молодых геофизиков.

Мы стараемся подобрать самых лучших лекторов по тематике школы. Предложение выступить на школе стало престижным, своего рода признанием высшей квалификации лекторов. Кстати, каждый лектор после проведенного занятия получает соответствующий диплом, в котором подтверждается его квалификация. Это, конечно, некоторая шуточная «плата» за проведенную лектором работу, но все - таки приятно возвращаться домой с дипломом, высоко оценивающим вашу работу.

Рис.7. Доклад профессора Г.Ф. Уфимцева (Иркутск)

В этом году были представлены исключительно интересные лекции.

Директор Геологического института РАН, профессор **М.Г. Леонов** представил новые воззрения на тектонику консолидированной коры континентов, и как следствие данного подхода, возможность накопления углеводородов в кристаллических породах (объяснение известного факта – месторождение нефти в гранитах – «Белый тигр»).

Так же с новыми идеями выступили член - корреспонденты РАН **В.Н. Анфилогов**, и **Б.В. Левин,** а так же профессор **И.Л. Гуфельд.** Лекция Б.В. Левина была очень показательной в демонстрационном плане. Презентация, представленная им, была насыщена динамическими фрагментами и наиболее полно отражает предмет исследований – цунами, как следствие землетрясений и других геодинамических событий. Лекция крупнейшего российского геоморфолога **Г.Ф. Уфимцева** была исключительно важной для слушателей с познавательной точки зрения: геофизикам практически не преподают основ геоморфологии, как сильного средства анализа геотектоники. Я думаю, что мы это пробел в образовании заполнили. С лекциями о новых технологиях в геофизике и геологии выступили член-корреспондент РАН **СЛ. Вотяков** и профессора **А.В. Зубович** и **В.Б. Писецкий**. Особенно бурное обсуждение вызвал как среди слушателей, так и

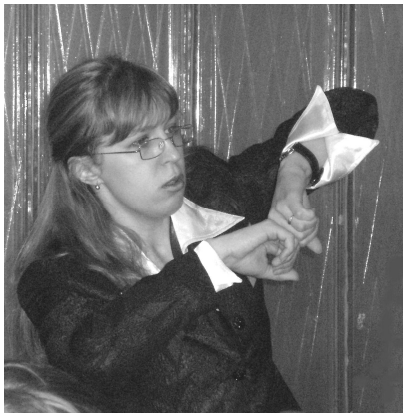


Рис.8. Докладчик - научный сотрудник Института экологических проблем Севера УрО РАН (г.Архангельск) Г. Антоновская

Рис.9. Докладчик - научный сотрудник ИГф РАН Д.А. Кокшаров

среди маститых ученых доклад А.В. Зубовича. Несмотря на широкое применение технологии высокоточного спутникового позиционирования (GPS - технология) в геодезии, применение этой технологии для геодинамических исследований, при которых необходимо регистрировать «вековые» движения континентов (тектонических плит или отдельных блоков земной коры) со скоростями около 1 - 2 мм в год, вызывает бурное обсуждение. А.В. Зубович, который является одним из авторов крупномасштабного GPS - эксперимента на Тянь - Шане, активно отстаивал свою позицию, тем более, что его поддержал академик С.В. Гольдин. Это обсуждение было очень полезным для наших молодых сотрудников, которые готовят сегодня проведение аналогичного эксперимента на Урале.

Рис.10. Доклад представляет аспирант ИГф РАН Л.А. Муравьев

Но чем выше авторитеты, тем труднее их критиковать. Как вы обеспечиваете возможность «школьникам» выступать на равных с признанными учеными?

- Работа школы, как я уже рассказывал, осталась неизменной. После лекторского доклада слушатели делают сообщения примерно на ту же тему, затем идет обсуждение. В отличие от классических конференций, времени на это мы не жалеем и профессора участвуют в обсуждении наравне с молодежью. В таких обсуждениях слушатели получают опыт, необходимый при дискуссиях, которые возникают при защите диссертаций. Однако опыт проведения наших школ показывает, что, вероятно, необходимо более широко использовать принцип семинарских занятий. Аналогично занятиям, которые проводили наши великие учителя, например, Тимофеев - Ресовский.

Уровень докладов «школьников» с каждым годом становится все выше, особенно слушателей второго или третьего годов обучения. В этом году мы прослушали сообщения, которые лягут в основу 8 - 10 кандидатских диссертаций. Я боюсь «сглазить» и не буду перечислять ребят, доклады которых произвели особенно сильное впечатление на лекторов.

Я продолжаю считать, что организация Уральской молодежной научной школы по геофизике является одним из наших главных достижений за последние годы.

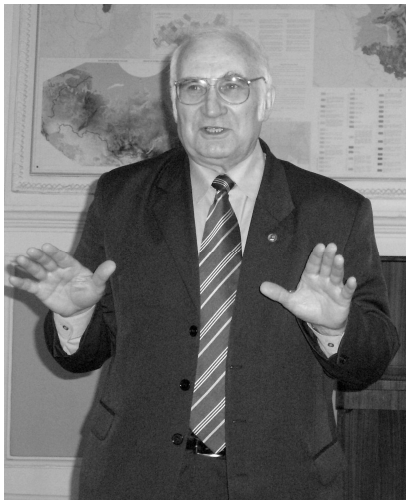
Кто обучается в школе?

Мы предполагали, что основной состав школы будут составлять аспиранты и магистранты, но жизнь решила по - своему. В настоящее время много и студентов (например, из 12-ти пермских докладчиков – 6 студентов), и молодых специалистов. Несколько увеличился предельный возраст слушателей. Может быть со временем школа превратится в известную всем нам «Коуровку» физиков.

Рис.11. Доклад делает аспирантка ИГф РАН А.А. Ситникова

По какому принципу вы отбираете слушателей?

- Сейчас уже появляется некоторый конкурс работ. Сначала мы делали уральскую школу, только



Ри**с.12.** Дискуссия. Член - корреспондент РАН В.И. Уткин

для себя: Институт геофизики, Институт горного дела, Горный институт УрО РАН, Уральский государственный горный университет и Пермский государственный университет. Но сегодня, когда география школы существенно расширилась, приходится уже внимательнее рассматривать поступающие работы. Можно сказать, что все опубликованные в материалах школы статьи являются реферируемыми. Некоторые статьи приходилось возвращать для переделки авторам. Один из них после рецензии написал в конце своей статьи даже благодарность рецензенту, тем более, что тайны рецензирования мы никогда не делаем. Мне кажется, что школа уже получила Всероссийскую признательность и надо принимать меры для разработки новых форм организации работы школы, например, семинары ведущих ученых**.**

Кто финансирует деятельность школы?

- Основные источники финансирования остались прежние: УрО РАН, РФФИ, Евро - Азиатское геофизическое общество, Институты УрО РАН, УГГУ. К сожалению, мало спонсоров, заинтересованных в получении хороших специалистов - геофизиков.

Рис.13. Дискуссия. Профессор Ю.В. Хачай

Как формируются темы докладов?

- Темы докладов в основном определяются лекторами. Однако некоторая разница в тематической направленности школ, проводящихся в Екатеринбурге и Перми, имеется. Это связано с направлениями исследований, доминирующих в геофизических школах этих двух городов. В Перми большую роль имеют сейсмические исследования, особенно в нефтяной геофизике, в Екатеринбурге спектр тематики более широкий. Обязательно мы привлекаем к выступлениям крупных ученых - геологов, доклады которых, по нашему мнению, могут существенно расширить кругозор геофизиков. Это связано с проблемами современного вузовского образования, которое становится все более специализированным и иногда крайне однобоким.

А в кулуарах вы тоже общаетесь на равных? Или молодежь “тусуется” на дискотеке, а старшее поколение сражается в шахматы?

- Вечерние общения различны. У нас уже были и вечера поэзии, пенье под гитару барда, известного инженера - геофизика Льва Зонова и мандолину - академика С.В. Гольдина, которого все наши слушатели необыкновенно уважают. Были и спортивные мероприятия – футбольный матч Горный институт УрО РАН – сборная мира; микрочемпионат по скалолазанью. В этом году провели грустный поминальный вечер памяти нашего хорошего товарища, талантливого ученого – Тимофея Фомина, трагически погибшего при полевых работах в прошлом году.

Главное в наших вечерних встречах то, что можно не только увидеть воочию, но и пообщаться «без пиджака» с корифеями геологии и геофизики, имена которых были известны молодежи из учебников, монографий и научной литературы.

Рис.14. Дискуссия. Выступает Д. Басакин. (Архангельск)

В общем, все, что вы задумывали при организации школы, пока получается. Но ведь школа – это не самоцель. Всем известно, что в академии существует проблема преемственности поколений. Средний возраст многих научных коллективов выше 50 лет. Да и в коридорах вашего институте не так давно трудно было столкнуться с юным созданием. Что изменилось за это время?

- Проблема старения научного коллектива была и остается одной из важнейших в настоящее время. Мне кажется, что руководство РАН недостаточно активно решает эту проблему. Все сейчас беспокоятся в основном за выживание собственного института, лаборатории и т.д. Однако на мой взгляд, это «выживание», превратившись в некую самоцель, что, может быть, не так уж и плохо, решает только одну задачу - сохранение РАН. Другой нашей задачей, как Академии наук, развитие научных школ, мы занимаемся плохо. Например, за все наше «школьное время» (2000 - 2006гг) из Москвы к нам приезжали всего два человека. Все московские институты геофизического профиля «рыдают» от отсутствия молодежи, но никто не пытается привлечь молодых ребят с периферии, чтобы передать им богатый опыт своих московских школ. Никто не желает вкладывать часть средств от получаемых грантов в будущее.

В нашем институте положение несколько улучшилось, но все равно - тревожное. Сегодня у нас 20 (из 75) научных сотрудников моложе 35 лет, в том числе 6 кандидатов наук. В прошлом году мы поставили своеобразный рекорд – кандидатскую диссертацию защитил Дима Кокшаров в возрасте 23 - х лет. Таких молодых кандидатов наук в Институте геофизики до сих пор не было. На выходе в 2006 году еще три диссертации молодых научных сотрудников. Вопреки всем нынешним «реформам науки» мы стараемся работать на будущее.

Рис.15. Фотография на память о VII-ой Уральской молодежной научной школе по геофизике

Чем они отличаются - молодежь от вашего поколения?

- Я повторюсь, поскольку это повторить мне приятно. Нынешняя молодежь более энергична, подвижна, практична, хотя все равно романтична. Прекрасно владеет информационными технологиями: на школе слушатели - докладчики уже давно не пользуются «прозрачками» и, тем более, демонстрационными чертежами. А стендовые доклады иногда поражают точностью и красотой компьютерной графики. Много ссылок на информацию, полученную по Интернету. Активны, любопытны и задорны, как и мы в молодости. В чем-то можно с ними не соглашаться, о чем-то спорить, но всегда надо помнить – ЭТО НАШЕ БУДУЩЕЕ. И мы должны передать им все свои «ноу - хау», потому что от этого зависит, какой будет наша геофизическая наука завтра.

Ответы на вопросы получились несколько другими. Однако они отражают движение и развитие Уральской молодежной научной школы по геофизике. Принято решение провести VIII Уральскую молодежную научную школу по геофизике в Перми в марте следующего года на базе Горного института УрО РАН.

170 ЛЕТ ОБСЕРВАТОРСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НА УРАЛЕ: ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

Международный семинар, который проводился в Екатеринбурге с 17 по 21 июля 2006 года был посвящен проблеме изучения историко - научных материалов в области русско - немецких исследований окружающей среды на Урале и как начало большого проекта, направленного на выявление базы для совместного решения фундаментальных проблем диагностики и прогнозирования климатических и геодинамических процессов в горных системах.

Такой подход связан с проведением комплексных историко - научных исследований для выявления взаимосвязи метеорологических, атмосферно - физических, геофизических и биофизических процессов, а также механизмов, определяющих состояние и эволюцию горных систем (на примере Урала и Баварских Альп). Решить поставленную фундаментальную проблему как раз и предполагается на основе совместного анализа, систематизации и обобщения русского и немецкого естественно -научного наследия: долгосрочных данных мониторинга окружающей среды, архивных материалов, трудов ученых, иных материалов за период инструментальных метеорологических, атмосферно - физических, геофизических наблюдений, известных с XVIII - XIX века.

С российской стороны проект проведения семинара был поддержан грантом РФФИ № 06 - 05 - 74049.

Рис.1 Открытие семинара: член - корреспонденты РАН В.И. Уткин и П.С. Мартышко.

В состав Оргкомитета от ИГф УРО РАН вошли член - **корреспонденты РАН П.С. Мартышко и В.И. Уткин,** от Геофизической службы РАН - **член - корреспондент РАН А.А. Маловичко,** от ИГ УРО РАН - д.г. - м.н. **В.М. Новоселицкий,** от Уральского управления гидрометеорологической службы – ее руководитель, Государственный Советник Российской Федерации **С.М. Вдовенко,** от Института глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, руководитель уральского филиала, к.г.н. - **Альберт Александрович Успин**, от Уральского государственного университета путей сообщения – **д.г.н. В.В. Литовский.**

С немецкой стороны в Оргкомитет семинара были включены: Президент Международной комиссии по истории метеорологии, председатель комитета по метеорологической истории Немецкой метеорологической службы – (Meteorologische Gesellschaft - FAGEM, SP Geschichte der Naturwissenschaften), профессор Гамбургского университета, доктор Корнелия Лудеке, вице - директор Обсерватории Hohenpeißenberg (Deutscher Wetterdienst), доктор Питер Винклер, профессор Мюнхенского университета и член Немецкой академии естественных наук (Lehrstuhl für Geschichte der Naturwissenschaften, Universität München) Бернхард Фричер, директор геофизической обсерватории Fuerstenfeldbruck и профессор Геофизического Института Мюнхенского университета Юрген Мацка, с эстонской стороны - директор музея К.

Бэра, старший научный сотрудник Института географии Тартуского университета (Universitat Dorpat/Tartu), доктор Эрки Таммиксаар.

Рис. 1. Организаторы семинара: профессор В.В. Литовский и руководитель обсерватории АРТИ О.А. Кусонский.

Семинару предшествовала рабочая встреча в январе этого года, где с вышеперечисленными немецкими коллегами был установлен формат летней встречи и обозначены наиболее актуальные темы.

День открытия семинара ознаменовался важным, для развития российско -немецких естественнонаучных контактов, событием. Благодаря муниципальному учреждению "Столица Урала" и научному сообществу города на доме по адресу ул. Чапаева, 7, была открыта мемориальная доска великому немецкому естествоиспытателю Александру фон Гумбольдту, который был непосредственно причастен к организации и становлению метеорологических и геомагнитных исследований на Урале, к созданию и развитию Екатеринбургской магнитно - метеорологической обсерватории.

Рис.2. В зале заседаний: представители метеорологической службы:С.М. Вдовенко и Л.И. Каплун.

На семинар было представлено более 50 докладов, а география приглашенных простиралась от Германии и Эстонии до Сахалина, Камчатки и Чукотки.

Можно отметить, что на самом деле география была гораздо шире, так как среди участников семинара были и такие, кто продвигал изучение геофизических проблем в Австралии, Арктике и Антарктике.

Так, от дальневосточных магнитных обсерваторий "Паратунка", "Мыс Шмидта", "Магадан", "Хабаровск" и "Южно - Сахалинск", а также от их коллег из Иркутска и Новосибирска были оглашены материалы о перспективах вступления в международную систему геофизического мониторинга "Intermagnet".

В материалах Германа Байера - Тома (Hermann Beyer - Thoma) из Института Восточной Европы (Мюнхен) "Участие немцев в освоении и изучении Урала" дана впечатляющая панорама вклада немцев в освоение и изучение Урала. Это стало возможным, благодаря компьютерной базе данных им. Эрика Амбургера, хранящейся ныне в мюнхенском Институте Восточной Европы.

В докладе "От ЕММО до УФАНа или как Обсерватория помогла Екатеринбургу стать столицей Урала", представленным Валентином Робертовичем Абельсом – внуком директора Екатеринбургской магнитно - метеорологической обсерватории (ЕММО) Германа Фе-

доровича Абельса и сыном его преемника на этом посту Роберта Германовича Абельса, подробно рассказано о многоаспектном образовательном и просветительском влиянии, оказанном Обсерваторией на екатеринбуржцев, о ее направляющем влиянии на деятельность Уральского общества любителей естествознания, на приоритет размещения первых уральских вузов и академических институтов в Екатеринбурге.

В докладе "Роль А.Я. Купфера, К.В. Чевкина и Е.Ф. Канкрина в создании обсерваторий" впервые был полномасштабно представлен вклад ныне почти забытого выдающегося российского деятеля Константина Владимировича Чевкина, который в разное время возглавлял штаб Корпуса горных инженеров (с 1834 до 1845 г.г.), был членом комитета по строительству магистрали Петербург - Москва (с 1842 г.), с 1855 г. был главноуправляющим путями сообщения, сенатором, затем - председателем департамента Экономии, и, наконец, – председателем Комитета по делам Царства Польского.

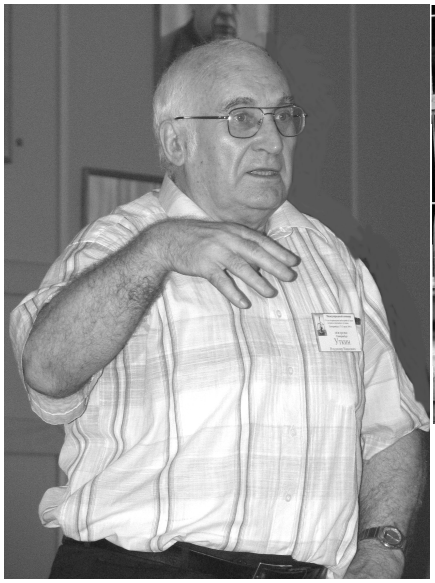


Рис.3. Дискуссии продолжались как в процессе докладов (член - корреспондент РАН В.И. Уткин), так и в минуты отдыха (доцент УГТУ - УПИ В.А. Сапунов, ст. научный сотрудник ИГф РАН В.П. Бакаев, руководитель обсерватории “Иркутск” Рахматуллин Р.А..

Цикл докладов о последних разработках Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН (ИЗМИРАН) сделал классик геофизического приборостроения, ведущий российский специалист в области разработки кварцевых вариометров, Юрий Александрович Бурцев. Отметим также, что разработки прибористов ИЗМИРАНа, позволили в 1958 году впервые в мире выполнить магнитные измерения с искусственного спутника Земли, на немагнитной шхуне "Заря", а позже создать приборы для искусственных спутников Земли, с помощью которых было измерено не только магнитное поле Земли, но и поля вблизи Луны, Венеры и Марса, дальнего космического пространства.

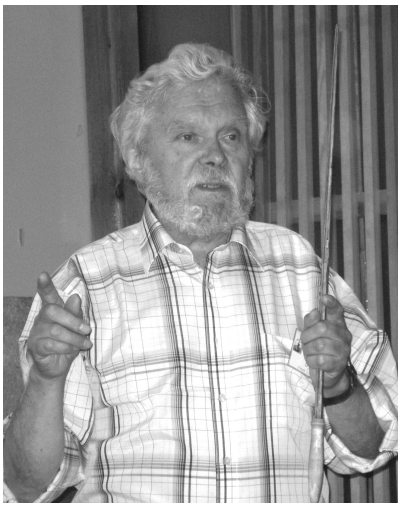


Рис. 4. Докладывает сотрудник ИЗМИРАНа Ю.А. Бурцев.

В материалах директора ведущей баварской метеорологической Обсерватории Hohenpeissenberg доктора Петера Винклера "Математик Иоганн Генрих Ламберт" рассказывается увлекательная история о создании Мангеймского Палатинского метеорологического общества замечательным немецким ученым Ламбертом.

Высказывается гипотеза о возможной причастности Ламберта к обеспечению первых российских наблюдательных станций их приборами и ставится историко - научная проблема подтверждения этого.

Бесценным подарком к открытию Семинара стало обнаружение доктором Винклером в банке данных Мюнхенского Института Восточной Европы биографических сведений о первом смотрителе ЕММО Юлиусе Рейнке (Julius Reinke). Отметим, что другая – уже академическая проблема, которую доктор Винклер представил - это проблема альпийского помпинга. Его исследования показали, что Альпы работают, как гигантский пылесос, формирующий вокруг себя специфическую систему ветров. Этот "пылесос" закачивает внутрь себя пыль со всей Европы с весьма характерной топологией ее распределения. Причины этого явления еще не вполне осмыслены, равно как и подходы к строгому математическому описанию – требуется совместное осмысление феномена, выявление подобных феноменов на Урале, словом, интеграция баз данных и знаний баварских и уральских метеорологов.

Выступление Алексея Юрьевича Гвоздарева из Горно - Алтайского университета было посвящено не утрачивающей актуальности проблеме поиска надежных предвестников землетрясений. Результаты измерений геомагнитных вариаций выявили в эпицентральной зоне Алтайского землетрясения наличие локальных источников магнитного поля. Однако, какой они природы: литосферной или ионосферной, окончательно установить не удалось.

Ряд докладов и материалов был посвящен историческому и современному обзору деятельности геофизических и метеорологических обсерваторий на обширном пространстве России.

Так, в материалах одного из ведущих специалистов России по гидрометеорологии, доктора географических наук, декана географического факультета Казанского университета, профессора Юрия Петровича Переведенцева и его коллеги Э.П. Наумова "Становление и развитие метеорологических наблюдений в Казани" приводится не только много интересных, но и очень ценных историко - научных сведений о вкладе казанской школы метеорологии и геофизики в развитие отечественной и мировой науки.

Из него, в частности, следует, что обнаруженные в архиве ЕММО базы данных за период с 1802 по 1836 гг. могут сопоставляться с метеоданными Казанского университета, известными с ноября 1804 года. Эти данные имеют большую ценность и в связи с тем, что вместе с екатеринбуржскими они осуществлялись в рамках единой концепции с использованием лучших образцов французской и немецкой научной школы. Во многом они были стимулированы А. Купфером с привлечением выдающихся российских ученых И.М. Симонова, Н.И. Лобаческого, А.С. Савельева (ученика Э.Х. Ленца). Укажем также, что кооперация с Ф. Араго, А. фон Гумбольдтом и К. Гауссом вывела казанские и екатеринбуржские исследования на мировой уровень, обеспечила прогресс наук о Земле в целом.

В материалах заместителя директора Нижне - Тагильского музея - заповедника горнозаводского дела Среднего Урала, российской немки Светланы Адольфовны Клат "К истории создания метеорологической обсерватории в Нижнем Тагиле" фактически впервые в деталях излагается удивительная история возникновения этой обсерватории.

В отличие от ЕММО, Богословской и Златоустовской обсерваторий она возникла за счет частных пожертвований известных заводчиков Демидовых в 1839 году. Как выяснилось из материалов, инициаторами ее создания стали Анатолий Николаевич Демидов и, предположительно, французский ученый Ф. Ле - Пле. Инициативные метеорологические исследования в Нижне - Тагильской метеорологической обсерватории осуществлялись с 1839 по 1866 год. Было установлено также, что к организации обсерватории в Нижнем Тагиле были причастны и французские инженеры - топографы Е. Бержье и А. Аллори, в то время работавшие в Нижнем Тагиле по контракту. Позже главным смотрителем и куратором был французский исследователь Леон Вейер, а наблюдателем - Иродион Матвеевич Рябов. В этой обсерватории наблюдались не только классические метеорологические элементы: температура, атмосферное давление и влажность с осадками, но с 1852 года - и геомагнитные элементы. Ее данные на протяжении ряда лет публиковались в Париже в виде отдельного издания.

Современная школа Пермской метеорологии была представлена на семинаре заведующим кафедрой гидрометеорологии и охраны атмосферы Пермского государственного университета (ПГУ), профессором, доктором географических наук Николаем Александровичем Калининым и его коллегами: А.Л. Ветровым, И.С. Замориным и А.А. Смирновой. В их докладе на тему "Геоинформационная технология оперативной оценки опасных природных метеорологических явлений на основе комплекса метеорологической и географической информации" были рассмотрены проблемы опасных метеорологических явлений, которые могут оказывать поражающее воздействие на людей, животных и растения, объекты экономики и окружающую природную среду. В последние годы отмечается рост таких явлений и, несмотря на локальность их воздействия, они ежегодно наносят многомиллионный ущерб экономике стран и отдельных регионов.

Настоящей научной сенсацией стали материалы "Метеорологическое исследование Российской империи в 18 веке", представленные президентом Интернациональной комиссии по истории метеорологии, доктором Корнелией Лудеке. Ею, пожалуй, впервые в истории метеорологических исследований на Урале не только описаны, но и представлены в виде графических зависимостей результаты наблюдений за 1742 год (!) в Туринске, Соликамске и Верхотурье. Об этих данных уральским метеорологам ничего не было известно долгий период времени, кроме того, что они выполнялись во время работы Второй Камчатской экспедиции (1733 - 1743 гг.). Причиной тому стало то, что они были опубликованы академиком Брауном в раритетном ныне журнале "Новые комментарии" Санкт-Петербургской академии наук на экзотическом для нас латинском языке, и потому два с половиной столетия были не востребованы.

В докладе В.В. Литовского и А.В. Мокроусовой "История метеорологических наблюдений на Урале (18 - 19 век)" были впервые показаны архивные материалы ЕММО, ведущие свой отсчет с 1734 г. В частности, были продемонстрированы факсимильные записи из журнала наблюдений, начатого в январе 1734 года Иоганном Гмелиным, данные первой екатеринбугской метеостанции за период до 1746 г.

Полученные Андреем Татищевым, Федором Санниковым и другими наблюдателями, эти записи, выполненные на латинском, французском и русском языках, наглядно свидетельствуют об интеграции с самого начала уральских исследований в мировую науку, об интернациональном характере научного освоения уральской ойкумены, о непреходящей ценности совместного постижения тайн природы.

Главным событием семинара стало 170 - летие Екатеринбургской магнитно - метеорологической обсерватории, которая была открыта в 1836 году, благодаря посещению Урала в 1829 году великим немецким естествоиспытателем - путешественником Александром фон Гумбольдтом, а также благодаря трудам и инициативам ученых немецкого происхождения: Адольфа Купфера, Адольфа Эрмана, Юлиуса Рейнке, Густава Розе, Карла Гаусса и других. Эпоху (1885 - 1925 гг.) в деятельности обсерватории составил период руководства ею прибалтийским немцем Германом Абельсом, а позже - его сыном Робертом Германовичем Абельсом.

В докладе С.П. Каменской, В.В. Литовского и С.С. Поручиковой "Адольф Купфер, исследователи Нового Света и Урал: историко - научные вопросы" был детально представлен и исследован статус ЕММО в контексте широкой географии российских и мировых метеорологических и геофизических исследований.

На большом фактическом материале было показано, что эти исследования на Урале были генетически связаны с исследованиями в антиподально расположенной к Уралу Русской Америке и Калифорнии, с исследованиями на Новой Земле, в Сибири, в Китае (Пекине), Париже, Геттингене, Баварии, в Хельсинки. Показано, что из всех российских обсерваторий только ЕММО имеет самый длинный непрерывный ряд метеорологических и геомагнитных данных, которые ныне представляют колоссальную научную ценность.

О советском периоде истории Уральского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды подробно говорил в своем докладе "Гидрометслужба на Урале за 170 лет" руководитель Уральского УГМС Сергей Михайлович Вдовенко, а по современному состоянию в рамках подразделения Уральского УГМС «Свердловский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей природной среды с региональными функциями» - его руководитель Любовь Ивановна Каплун. Так, в обстоятельном первом докладе преимущественно рассказывалось о формировании инфраструктуры Уральского УГМС и основных направлениях его деятельности. Было отмечено, что первыми шагами советской власти в области налаживания гидрометеорологических исследований стало подписание в 1921 году декрета об организации Метеорологической службы в РСФСР, а в 1929 году - учреждение Гидрометкомитета СССР, что тотчас же нашло отклик на Урале.

Было отмечено, что во время Великой Отечественной войны Уральское управление по гидрометеорологии (организованное в 1930 году) стало главным метеорологическим и геофизическим центром СССР. Именно сюда были эвакуированы Главная геофизическая обсерватория и Ленинградский институт экспериментальной метеорологии, здесь был создан объединенный Институт гидрометеорологии СССР, где работали выдающиеся отечественные ученые - метеорологи Н.Н. Калитин и М.И. Будыко.

После некоторого общего спада активности хозяйственной деятельности на рубеже тысячелетий, согласно докладу, в Уральском УГМС началось восстановление сети станций и постов, их оснащение приборами и оборудованием. Было отмечено, что, если в последние годы приоритет принадлежал вопросам экологической безопасности, то в настоящее время обостряется проблема гидрометеорологической безопасности. Сегодня наблюдательная сеть подведомственных Уральскому УГМС организаций (гидрометеорологические центры в Перми, Челябинске, Кургане и Екатеринбурге) состоит из 71 метеорологической станции, 3 объединенных гидрометеостанций, 1 гидрологической, 3 аэрологических, 1 агрометеорологической, 11 авиаметеорологических, 3 оперативных групп и 184 постов всех видов и разрядов.

Уральским УГМС проводятся геофизические наблюдения за параметрами атмосферного электричества и общим содержанием озона в атмосфере. Сеть мониторинга включает в себя 58 постов наблюдений за загрязнением воздуха в 15 городах, 12 пунктов наблюдений за загрязнением почвы, 136 пунктов по радиометрическим наблюдениям и 57 точек с суточной экспозицией, 2 пункта озонометрических наблюдений в приземном слое воздуха. Данные наблюдений анализируются в 11 лабораториях по мониторингу загрязнения воздуха, в 3 лабораториях по мониторингу загрязнения поверхностных вод (по 131 створу), в централизованной лаборатории определения металлов, в лаборатории физико - химических методов анализа, комплексной лаборатории по мониторингу загрязнения окружающей среды, в 2-х радиометрических лабораториях. По 39 городам осуществляется прогнозирование неблагоприятных метеорологических условий, способствующих загрязнению атмосферного воздуха.

Не менее содержательным был и доклад Любови Ивановны Каплун "Гидрометеорологические исследования в Уральском УГМС", в котором основной акцент делался на содержательной части исследований Свердловского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей природной среды с региональными функциями.

Из других докладов от Уральского Гидромета хотелось бы упомянуть о докладе ведущего гидролога Дмитрия Евгеньевича Клименко "Развитие гидрологических работ на Урале. Развитие гидрологической наблюдательной сети", а также о материалах по перспективам сотрудничества, представленных руководителем уральского филиала Института глобального климата и экологии Росгидромета и РАН кандидатом географических наук Альбертом Александровичем Успиным.

В процессе выездного заседания семинара в обсерваторию АРТИ участники семинара

ознакомились с архивами магнитометрических и других геофизических данных, с коллекцией старинных геофизических приборов, унаследованных от ЕММО, собрания уникальных изданий и книг 19 века, в числе которых широко представлены немецкие издания.

Рис.5. Руководитель ЕММО с 1885 по 1925 гг – Герман Абельс.

В архиве "Арти" можно ознакомиться с раритетными изданиями "Магнитного союза", возглавляемого Гауссом, подлинными рукописями Германа и Роберта Абельсов, первыми записями магнитных наблюдений с декабря 1836 года. До сих пор остается вопросом, благодаря кому оказались немецкие и французские приборы на Урале? Не исключено, что к этому могли быть непосредственно причастны К. Гаусс, В. Вебер, И. Ламон, Ф. Араго, А. фон Гумбольдт и другие великие ученые и приборостроители. Все это предстоит еще выяснить в рамках развития российско - немецких контактов, задуманного совместного проекта. Пока же ясно одно, что будущим поколениям исследователей Урала есть чем гордиться. Однако уже ясно, что обсерватория превратилась в еще один значимый "островок науки" на Урале, откуда уже началось, как некогда говорил Макс Планк, "возвращение к прежним верным масштабам фундаментальной науки".

Пребывание в Арти превратилось в праздник научного общения. Гости ознакомились с музеем старинной техники и книг, с павильоном самой современной, автоматизированной аппаратуры.

Уникальна обсерватория "Арти" и как объект географических и геофизических исследований. Пожалуй, это единственная в мире геофизическая обсерватория, стоящая на геологическом разломе, где сходятся сразу несколько природных зон. В геофизическом плане Арти находится в пределах так называемой Манчажской магнитной аномалии, что превратило обсерваторию в идеальный полигон, который позволяет параллельно наблюдать и сравнивать магнитные явления в аномальной и нормальной зонах.

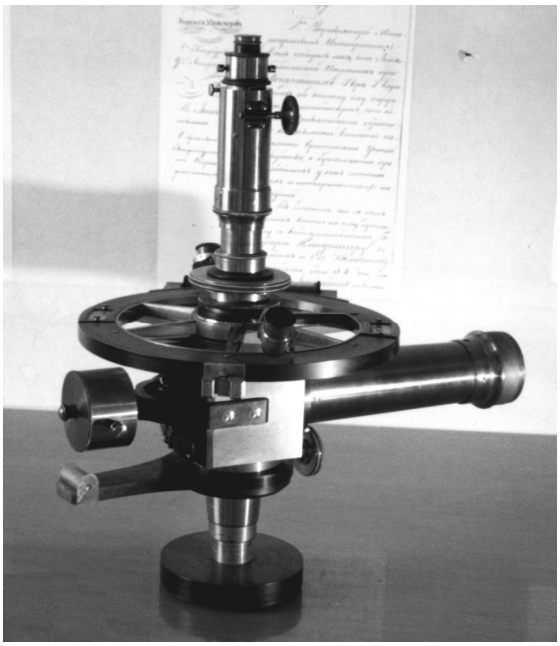


Рис.6. Один из экспонатов музея - инклинометр – измеритель склонения 1855 года выпуска.

Исследованиям Манчажской аномалии и фундаментальным аспектам взаимосвязи между магнитными бурями и процессами генезиса магнитного поля на разных глубинах внутри Земли, в частности, на Семинаре было посвящено несколько докладов.

В центральном юбилейном докладе Олега Александровича Кусонского "О результатах геофизических обсерваторских наблюдений за 170 лет" было сделано фундаментальное обобщение результатов геомагнитных и сейсмологических наблюдений на Урале, примыкающих к нему северных территориях и Западной Сибири, затрону-

ты важные исторические моменты, связанные с переносом геомагнитных наблюдений из Екатеринбурга в Высокую Дубраву и Арти. В другом его сообщении "Особенности векового хода геомагнитного поля по данным обсерваторий Урала" исследовано изменение хода вековой вариации геомагнитного поля после магнитных бурь и особенности вековой вариации этого поля. По существу эта работа - уже результат кооперации и обмена базами данных с немецкими коллегами, в частности, с Обсерваторией "Furstenfeldbruck", возглавляемой доктором Юргеном Мацкой (J. Matzka). Так, по наблюдению геомагнитного поля на обсерваториях были высказано предположение, что магнитные бури могут инициировать значительное изменение векового хода. Это в свою очередь может свидетельствовать о том, что магнитные бури сильно воздействуют на источники векового хода, изменяя их магнитный момент и направление намагниченности.

В материалах Юргена Мацки были приведены результаты анализа Центрально - Европейского ряда склонений и годичных усреднений векового хода вблизи 1800 г.

Эта проблема, фактически послужившая толчком для развертывания мировой системы геомагнитного мониторинга, как стало ясно из материалов доктора Мацки, не утратила актуальности и сегодня.

Эти исторические геомагнитные данные ныне расширяют современные сведения о магнитном поле Земли до геодинамических масштабов и обеспечивают полезную связь с археo - и палеомагнитными данными.

В материалах доктора Мандеа было показано, что для улучшения сети обсерваторий на земной поверхности, Потсдамский центр по исследованию Земли (GeoForschungsZentrum, GFZ) был недавно привлечен в монтаж совершенно новых геофизических обсерваторий и к модернизации существующих обсерваторий, две из которых являются Российскими обсерваториями (Якутск и Магадан).

В докладе Петра Сергеевича Мартышко и Валентина Александровича Пьянкова было продемонстрировано, как решается обратная задача магнитометрии для определения границы магнитных масс в недрах Земли и определения магнитной восприимчивости различных слоев.

О значении для практических задач геофизики короткопериодных флуктуаций геомагнитного поля по обсерваторским данным говорили и другие участники Семинара, в том числе и о таких, как короткопериодные флуктуации скорости векового хода.

Большой интерес вызвал соответствующий доклад начальника Станции ионосферных и геомагнитных наблюдений, а также технического руководителя Новосибирской геофизической Обсерватории "Ключи" Сергея Юрьевича Хомутова. Так в недавно вышедшей работе одного из его соавторов - А.В.Ладынина из Новосибирского университета - были обнаружены вариации скорости векового хода с периодом примерно 3 года. В связи с этим было предпринято дальнейшее изучение этих вариаций с обработкой данных около ста магнитных обсерваторий мира за период 1985 - 2002 г. и более узкого числа обсерваторий, работающих около 100 лет. В итоге был обнаружен факт глобальных квазипериодических флуктуаций скорости векового хода геомагнитного поля с характерными временами около 3 лет и выявлено различие в этом отношении северного и южного полушарий.

Рис.7. Старейшие геофизики, работники обсерваторий России. Бывший руководитель обсерватории АРТИ А.Е. Рыцк, сотрудники ИЗМИРАНа - Ю.М Бурцев и М.И. Харин.

Очень познавательным стал и второй доклад Сергея Юрьевича Хомутова "Геофизическая обсерватория "Ключи" (Новосибирск): История, проблемы и перспективы магнитных наблюдений". То же можно сказать и о материалах одного из старейших сотрудников обсерватории "Якутск" А.А. Данилова с коллегами. Известно, что магнитные наблюдения в Якутии начались с 1932 г., когда во время 2 - го Международного полярного года была создана магнитная станция в Якутске. Эта станция участвовала в проведении Генеральной магнитной съемки на территории СССР. В то время сеть магнитных станций СССР была весьма редкой и станции располагались в основном в европейской части страны. Поэтому организация геомагнитных наблюдений в Якутске была очень важна для различных предприятий геофизического и геологического профиля, действующих на территории Якутии. Сегодня шесть магнитометрических станций на территории Якутии являются наиболее высокоширотной частью международной цепочки станций, вытянутой от авроральной зоны (Котельный, Тикси, Чокурдах) до экватора и включающей в себя также сопряженные станции южного полушария. По географической протяженности эта цепочка не имеет аналогов в мире. Наблюдения на этой цепочке выполняются в рамках международного проекта CPMN (Circum - pan Pacific Magnetometer Network) под руководством проф. К. Юмото (Университет Кюсю, Япония). Цель проекта – исследование процессов передачи энергии солнечного ветра в магнитосферу Земли.

В докладе заведующего Объединенной Геомагнитной обсерваторией "Иркутск" Института солнечно - земной физики Сибирского Отделения РАН Равиля Анатольевича Рахматуллина "Аппаратно - программный комплекс ИСЗФ СО РАН для мониторинга электромагнитный полей в высоких и средних широтах" было рассказано не только об оснащении этой Обсерватории, но и об ее удивительной истории. Можно сказать это - родная сестра Екатеринбургской магнитно - метеорологической обсерватории с очень непростой судьбой. Впервые в Иркутске метеорологические и геомагнитные наблюдения были развернуты участниками Второй Камчатской экспедиции: Иоганном Гмелиным и Луи Делилем де ла Кройером, ими же была заложена первая метеостанция в Екатеринбурге. К сожалению, первая станция в Иркутске просуществовала недолго. Вторичное возрождение метеорологических и геомагнитных исследований произошло лишь в 1887 году. Помимо деятельности и истории магнитной обсерватории "Иркутск" докладчик рассказал о связанных с нею: Байкальской магнито - теллурической обсерваторией "Узур", расположенной на острове Ольхон, о Саянской горно - солнечной обсерватории "Монды" и Норильской комплексной магнитно - ионосферной станции Института солнечно - земной физики СО РАН. В качестве юбилейного подарка он преподнес екатеринбургским коллегам очень трогательный подарок - фирменную бутыль с чистейшей байкальской водой, что всеми было встречено бурной овацией.

Невозможно не упомянуть еще о нескольких докладах, оказавших большое впечатление на участников Семинара: это доклад Дмитрия Юрьевича Демежко "Сопоставление геотермических реконструкций температурной истории земной поверхности с данными метеонаблюдений на Урале" и доклад патриарха геофизической науки на Урале, предыдущего директора Института геофизики УРО РАН, члена корреспондента РАН Владимира Ивановича Уткина " Техногенный магнитный шум в пределах мегаполиса и удалении от него".

Дмитрий Юрьевич Демежко, широко известный научной общественности по его монографии "Геотермический метод реконструкции палеоклимата (на примере Урала)", еще раз убедил присутствующих в том, что недра являются надежным хранилищем истории палеотемператур. На основе анализа палеоинформации «записанной» в современном вертикальном распределении температуры горных пород удается оценить изменчивость климата Среднего и Южного Урала за последнее тысячелетие. Вместе с тем им было подвергнуто детальному анализу и "потепление последнего тридцатилетия", которое ряд исследователей считает аномальным.

Работы и доклады Владимира Ивановича Уткина – это всегда яркое событие любого форума. Не стал исключением и его доклад на данном Семинаре. На этот раз один из ведущих отечественных специалистов в области геологической радиометрии, автор фундаментальных работ по предвестникам сейсмических событий на Урале и в Калифорнии, экологическим проблемам Урала и геодинамическим проблемам в целом, рассказывал участникам о статусе магнитного шума мегаполиса по отношению к естественным вариациям локального геомагнитного поля. В докладе было убедительно показано, что при анализе влияния на человека и биосистемы в целом геомагнитного поля, связанного с солнечной активностью, необходимо не только считаться с магнитным шумом техногенного происхождения, но и тщательно соотносить его фазово - амплитудные характеристики с соответствующими характеристиками естественных возмущений.

Показано, что уровень магнитного шума в районе больших городов превышает уровень собственных шумов геомагнитного поля в исследованном диапазоне частот (0,1 – 10 Гц) более чем в 100 раз. В соответствии с этим та часть населения, что проживает в промышленных центрах и их окрестностях, постоянно находится под воздействием сильно возмущенного магнитного поля низких и особо низких частот. В связи с этим представляется весьма сложным изучение воздействий вариаций геомагнитного поля в период магнитных бурь на состояние живых организмов в пределах мегаполиса.

Кроме того, поскольку снизить величину техногенного магнитного шума не представляется возможным, это приводит к неизбежному усложнению аппаратуры для измерений слабых магнитных полей низких частот и ужесточению требований к первичным преобразователям магнитной индукции. Представляется также необходимым детальное исследование источников техногенного магнитного шума с целью разработки методов снижения этого шума или перемещения его спектра в другой частотный диапазон, не связанный с характерными частотами организма.

На необходимость еще более тесной интеграции геофизиков и метеорологов с биофизиками, на комплексное интернациональное использование богатейшего мирового историко - научного наследия, особенно, российско - немецкого, как традиционно наиболее взаимосвязанного, говорил на Семинаре директор Мирового Центра данных по солнечно -земной физики из московского Геофизического центра Российской академии наук Евгений Петрович Харин.

В его докладе «Базы геомагнитных данных в системе мировых центров данных» детально было изложено об этапах формирования электронных архивов мировых и отечественных баз данных, рассказано о серверах, выставляющих эти данные, о каталогах геомагнитных пульсаций, о форматах, используемых ныне и на более ранних стадиях для подачи и адекватного восприятия хранящейся в Центре мировой информации.

Большой интерес вызвали материалы доктора Бернхарда Фритшера (Fritscher B.) из Института истории науки при Мюнхенском университете (Institute for the History of Science, University of Munich) "Когда мир прибыл в Екатеринбург: 1897 год: Международный геологический конгресс и науки о Земле на Урале"

В них было отмечено, что с самых ранних времен богатые минеральные ресурсы влекли людей из - за границы к Уралу. Поэтому экономическая и культурная история Екатеринбурга, основанного как горнозаводской город, прочно сопряжена в сознании иностранцев, прежде всего, с историей горной промышленности и металлургии.

Из длинного списка тех, кто пребывал на Урале, Бернхард Фритшер акцентировал внимание на Герберте Кларке Гувере (1874 - 1964) - тридцать первом президенте Соединенных Штатов. Согласно его расследованиям, Гувер, в его ранние годы, работал на Урале в качестве инженера производства "Кыштымская добывающая Компания", Более того, оказывается он вложил немало денег в российскую нефть и шахты перед Первой мировой войной.

В завершение хотелось бы отметить вклад в проведении Семинара Светланы Анатольевны Корепановой (СОКМ) и Людмилы Ивановны Зориной (Министерство культуры Свердловской области). Благодаря им, были налажено важное взаимодействие с Муниципальным учреждением "Столица Урала", гости побывали в музыкальной гостиной СОКМ, ознакомились с выставкой старинных книг по естественнонаучному освоению Урала, совершили увлекательную экскурсию по музею, городу Екатеринбургу, в Храм на крови, Ганину яму.

Рис.8. Участники семинара на выездном заседании в обсерватории АРТИ.

В заключение можно сказать, что проведенный Российско - немецкий семинар «170 лет обсерваторских наблюдений на Урале» пробудил большой интерес к научной истории Урала, стимулировал научно - производственную кооперацию, развитие контактов уральских геофизиков и метеорологов с российскими и зарубежными коллегами, послужит углублению наших представлений о нашем общем доме - планете Земля.

****

НОВЫЕ ИМЕНА

Прошедший год ознаменовался в Институте геофизики заметным итогом. Целая плеяда научных сотрудников успешно защитила диссертации на соискание ученых степеней. Один доктор и пять кандидатов наук – это наш ответ реформаторам от науки. Геофизика жива и будет жить!

ФЕДОРОВА НАТАЛЬЯ ВАСИЛЬЕВНА – доктор физико - математических наук

В геологическом институте РАН на видном месте представлена карта глубинного геолого - геофизического разреза профиля длиною около 1000 км. По результатам интерпретации гравитационного поля выделены особенности разреза, которые получены с использованием методов интерпретации, разработанных ***Натальей Васильевной Федоровой.*** Это наглядный результат практического внедрения теоретических работ, которые Наталия Васильевна начинала со своим учителем А.В. Цирульским. а затем активно продолжала много

лет. Итогом стала диссертация, которая, по мнению оппонентов и Ученого Совета, может служить образцом диссертационной работы. Искренне поздравляем Наталию Васильевну с успехом и желаем, чтобы ее достижение стало примером для подражания многих наших маститых геофизиков - мужчин.

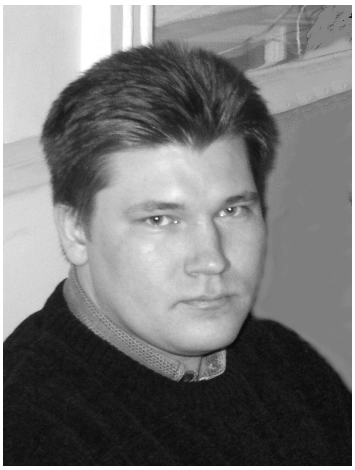
НАШИ МОЛОДЫЕ КАНДИДАТЫ НАУК

ФЕДОРОВА ОЛЬГА ИВАНОВНА – кандидат геолого - минералогических наук

Контроль за состоянием плотин – одна из важнейших проблем на Урале, где большинство плотин имеет возраст более 200 лет. Еще более важно знать состояние плотины, запирающей водоемы ПО МАЯК, заполненные радиоактивными водами. ***Ольга Ивановна Федорова*** (научный руководитель Р.В. Улитин) прекрасно справилась с последней задачей и Президиум ВАК утвердил решение Ученого Совета института геофизики УрО РАН присвоить Федоровой О.И. ученую степень кандидата геолого-минералогических наук.

Редакция Уральского геофизического вестника и институт геофизики УрО РАН поздравляют Ольгу Ивановну с заслуженным успехом и желают ей новых творческих удач.

ЛИПАЕВ СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ – кандидат геолого - минералогических наук



Определить тепловые свойства горных пород, да еще в условиях высоких температур и давлений - непростое дело. И мы рады, что это оказалось под силу ***Липаеву Сергею Александровичу*** (руководитель член - корреспондент РАН В.И. Уткин). Разработанные им аппаратура и методика позволили выявить тонкие особенности теплопроводности и температуропроводности пород, которые в ряде случаев надо учитывать при расчетах теплового потока из недр Земли.

Сердечно поздравляем Сергея Александровича с первым серьезным успехом, надеемся на развитие этих исследований, и желаем продолжать активную работу по подготовке Уральских молодежных научных школ по геофизике.

КОКШАРОВ ДМИТРИЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ – кандидат физико - математических наук

Дима Кокшаров стал самым молодым (23 года) кандидатом наук за всю почти 50 - летнюю историю Института геофизики.

В этом не только заслуга его руководителя – член - корреспондента РАН П.С. Мартышко, но и удивительная целеустремленность, искренняя научная любознательность и трудоспособность молодого кандидата.

Занятия научно - исследовательской работой Дмитрий Анатольевич начал во время учебы на третьем курсе Уральского государственного университета. Потом один год аспирантуры и досрочное окончание аспирантуры – кандидатская диссертация. От всей души поздравляем Дмитрия с успешной защитой и желаем дальнейших успехов в развитии геофизики.

БЕЛОГЛАЗОВА НАДЕЖДА АНАТОЛЬЕВНА – кандидат технических наук

В истории Института геофизики УрО РАН появилась еще одна знаменательная дата – в июне месяце впервые защищена кандидатская диссертация ***по техническим наукам сотрудницей*** – научным сотрудником лаборатории скважинной геофизики ***БЕЛОГЛАЗОВОЙ Надеждой Анатольевной*** (научные руководители Глухих И.И. и Астраханцев Ю.Г.). Результаты исследований Надежды Анатольевны позволяют значительно расширить возможности скважинной магнитометрии за счет повышения точности измерений и возможности мониторинговых измерений геомагнитного поля в скважинах. Искренне поздравляем НАДЕЖДУ АНАТОЛЬЕВНУ, с успешной защитой и желаем дальнейших творческих успехов!

РЫБАКОВ ЕВГЕНИЙ НИКОЛАЕВИЧ – кандидат технических наук

Длительный мониторинг последствий подземных ядерных взрывов на Гежском нефтяном месторождении (Пермский край) получил логическое завершение в виде кандидатской диссертации ***Евгения Николаевича Рыбакова*** (руководитель член - корреспондент РАН В.И. Уткин). Работа имеет большое значение для оценки возможных последствий подземных взрывов, ибо показывает существенное влияние на распространение радиоактивного загрязнения как особенностей тектонического строения района работ, так и геоморфологии поверхности. Работа вызвала большой резонанс на Международной конференции по оценка последствий подземных ядерных взрывов. Желаем Е.Н. Рыбакову в дальнейшем также активно работать в области радиационной геоэкологии. Успехов и удач, Евгений Николаевич!

****

ЮБИЛЕИ

7 июля 2006 года исполнилось 70 лет известному ученому - геофизику, доктору геолого - минералогических наук, главному научному сотруднику Института геофизики УрО РАН **ДЬЯКОНОВОЙ АЗЕ ГРИГОРЬЕВНЕ.**

В Институте геофизики УрО РАН Аза Григорьевна Дьяконова работает с момента его образования в 1959 г. и занимается решением фундаментальной проблемы – изучением связи структурно - тектонического строения литосферы складчатых поясов с особенностями распределения электропроводности вещества на различных глубинных уровнях. Под и непосредственным участием впервые в практике электромагнитного зондирования на Урале на собственном обширном экспериментальном материале (методы АМТЗ, МТЗ, МВП и др.)

предложен и опробован новый подход, позволяющий получать информацию о расслоенности тектоносферы по электрическим параметрам в диапазоне глубин от 10 метров до сотен километров в зависимости от решаемых задач: региональных, разведочных или поисковых. Это значительно расширяет возможности традиционной электроразведки, направленной на поиски проводящих объектов лишь в верхних частях коры. Построенные геоэлектрические модели литосферы по ряду широтных геотраверсов Северного, Среднего и Южного Урала с привлечением численных методов моделирования позволяет проследить структурно - тектонические и флюидные связи с глубинными особенностями изучаемых территорий. Эта новая информация о составе и состоянии земных недр существенно дополняет сведения других геофизических и геологических методов. В дальнейшем результаты исследований будут использованы при построении геодинамической модели, пригодной для объяснения процессов, которые привели к образованию Урала как крупной линейной системы планетарного характера.

Под руководством Азы Григорьевны разработан и внедрен в практику макет современной цифровой аппаратуры для аудиомагнитнотеллурического зондирования (АМТЗ). Результаты исследований А.Г. Дьяконовой широко используются в нашей стране и за рубежом при интерпретации данных электромагнитных зондирований.

Дьяконова А.Г. в течение ряда лет является руководителем, ответственным исполнителем и научным консультантом ряда тем НИР Института геофизики, научных и полевых грантов РФФИ. Под руководством Азы Григорьевны подготовлен кандидат наук – А.Д. Коноплин (2003 г.).

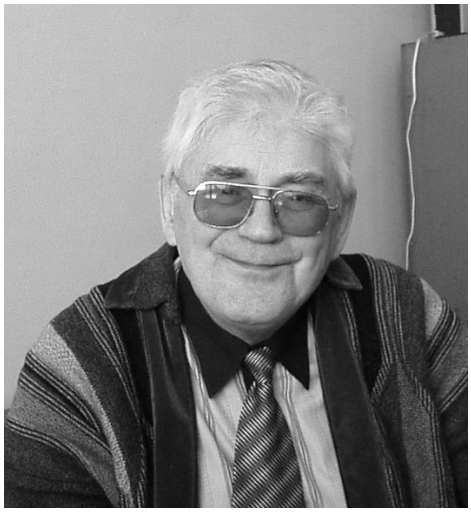
Только за последние пять лет ею лично и в соавторстве опубликовано 23 работы, в том числе получен 1 патент РФ, 9 статей, написано 8 отчетов по грантам РФФИ, на конференциях, семинарах и симпозиумах она сделала 13 докладов, из них 9 - на Международных.

Аза Григорьевна – целеустремленный и настойчивый ученый, беззаветно преданный своему делу, увлеченный и порядочный человек, пользуется заслуженным уважением коллег. Сердечно поздравляем юбиляра со славной датой, желаем крепкого здоровья, благополучия, новых творческих успехов вместе с коллективом Института геофизики.

****

10 августа 2006 года исполнилось 70 лет известному ученому-геофизику, доктору геолого - минералогических наук, профессору, главному научному сотруднику Института геофизики УрО РАН ***КОРМИЛЬЦЕВУ ВАЛЕРИЮ ВИКТОРОВИЧУ***.

Валерий Викторович Кормильцев в 1959 году окончил с отличием Свердловский горный институт по специальности «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых». С 1959 по 1962 гг. работал инженером - геофизиком и начальником отряда Южно - Уральской геофизической экспедиции. Уже во время производственных работ проявил склонности к научным исследованиям и в 1962 г. был принят в аспирантуру Института геофизики УФАН СССР. В 1965 году принят на работу в Институт геофизики на должность младшего научного сотрудника, с 1969 г. – старший научный сотрудник института. В 1967 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Переходные процессы в методе вызванной поляризации». В 1981 году В.В. Кормильцев защитил докторскую диссертацию на тему «Феноменологические основы теории метода вызванной поляризации». С 1981 г. - заведующий лабораторией электрометрии. С 1988 по 1995 гг.



– заместитель директора по научной работе, с 2003 г – главный научный сотрудник Института геофизики УрО РАН. С 1994 г. В.В. Кормильцев - профессор кафедры прикладной геофизики и кафедры геоинформатики УГГУ, им создан курс лекций для студентов геофизического факультета «Методы моделирования геофизических полей».

Во время работы в Институте геофизики с 1962 г. В.В. Кормильцев проводил исследования по изучению физико - химической природы и процесса формирования явления вызванной поляризации, разработкой методики и аппаратуры метода ВП. Созданная под его руководством аппаратура изучения скорости спада вызванной поляризации была принята на ОКР в ОГП «Уралгеология» МинГео РСФСР. С 1966 г. Валерий Викторович руководил работами, выполняемыми лабораторией электрометрии по методу магнитотеллурического зондирования, естественного поля, метода заряда с измерением магнитного поля. Разработанные новые методики были опробованы совместно с ПГО «Уралгеология», ПГО «Башкиргеология» и ВНИИГИС на месторождениях Южного и Среднего Урала, Норильского рудного узла и показали высокую эффективность при направлении глубокого бурения, а разработанная аппаратура принята на ОКР во ВНИИГИС. С 1984 г. Кормильцев В.В. руководил работами по созданию аэроварианта электроразведки методом заряда, показавшем высокую производительность и эффективность практического применения на ряде рудных месторождений Урала.

В последнее время Валерий Викторович занимается вопросами изучения потенциальных стационарных и нестационарных полей в неоднородных трехмерных средах, включая сложные случаи парных и перекрестных эффектов полей. Под его руководством впервые изучены такие проблемы как электромагнитное поле течения Дарси; электрическое поле, возникающее при диффузии электролита; течение Дарси, возникающее при наложении электрического поля (электроосмос); распределение тепла при наличии дополнительного конвективного переноса за счет течения флюида, а также задачи изучения нестационарных полей, таких как нестационарная диффузия, температура и течение Дарси сжимаемого флюида. Эти вопросы является актуальными для решения проблем законтурного заводнения залежей углеводородов, мониторинга динамических процессов в земной коре; флюидодинамики и тепломассопереноса в земной коре.

Кормильцев В.В. является основоположником разработки основ физико - химической теории метода спонтанной поляризации (ПС), являющегося основным методом каротажа геологоразведочных скважин, применяемого для выделения пластов - коллекторов, содержащих углеводороды. К настоящему времени им подготовлена к изданию в 2006 г. монография «Основы теории спонтанной поляризации ПС в нефтегазовых скважинах».

Валерий Викторович в течение ряда лет - руководитель, ответственный исполнитель и научный консультант ряда тем НИР Института геофизики, Интеграционных Проектов, грантов РФФИ и INTAS.

Под его руководством защитились 14 кандидатов наук: Краснобаева А.Г., Человечков А.И., Федоров И.М., Поздняков М.В., Семенов В.Д., Петров А.А., Теплухин В.К., Астафьев П.Ф., Медведев А.Н., Ратушняк А.Н., Левченко А.В., Байдиков С.В., Костров Н.П., Винничук Н.Н., Сагарадзе Д.А., трое из которых впоследствии стали докторами наук.

Кормильцев В.В. автор и соавтор около 200 научных работ, 4 патентов РФ, 1 патента US, 5 авторских свидетельств на изобретения и 5 монографий.

Валерий Викторович – доброжелательный, порядочный, коммуникабельный человек, пользуется заслуженным уважением коллег. Сердечно поздравляем юбиляра со славной датой, желаем крепкого здоровья, благополучия, новых творческих успехов вместе с коллективом Института геофизики.

****