

УДК 622.02:537

**Петрофизическая модель сопротивления полупроводниковых рудных минералов как основа эксплуатационной разведки отрабатываемых месторождений огнеупоров и бокситов с применением электрометрии.**

*Ю.В.Лантев, А.В.Тимохин, Р.С.Титов, т.8-343-350-37-09, ф. 8-343-350-21-11, ukr07@mail.ru  
Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия*

При добыче твердых полезных ископаемых широкое распространение получили технологии с применением промежуточного складирования горной массы во внутреннем пространстве шахт и карьеров. Сырье сортируется, обеспечиваются кондиции и параметры рудных потоков, затребованные для каждой отдельной обогатительной фабрики. Как правило, регулируется уровень и постоянство содержаний рудных компонент.

Одновременно, в тех или иных объемах бурения и опробования ведется разведка горного массива и эксплуатационные ее виды на подготавливаемых к обработке блоках. Изучается стратегия применения электрометрии, как метода измерения и вычисления объемного распределения содержаний руд (различного качества) и пород или иных производных параметров.

Обсуждается идея создания объединяющей: геолого-геофизической, горной и транспортной (-логистической) комплексной геотехнологии. Главная цель геолого-геофизического раздела- это оперативное определение геометрии и качества руд и пород горного массива как в пределах месторождения в целом, так и отдельных его залежей. В частности, указывается, что технологически оправдано было бы получать при разведке в естественном залегании данные в объеме и детализации не хуже, чем таковое известно в горной массе, заполняющей отсортированный перегрузочный склад.

Месторождения огнеупоров: магнезита на ОАО «Комбинат Магнезит», хризотиласбеста, габбро (на минеральную вату) на ОАО «Ураласбест» и бокситов на ОАО СУБР образуют в той или иной концентрации, пропорции и структуре рудные минералы: магнезия, MgO (магнезиальной, волоконной от мелкой сетки до текстильных марок структуры), глинозем, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (структура глинозема- не корунд), гематит, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (структура маггемита), магнетит, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (структура шпинели). Главные в залежах оксиды металлов и элементов (металлов переходной группы): Ca, Mg, Al, Fe- примеси оксиды металлов переходной группы: TiO<sub>2</sub> (примесь в гематит- структура ильменита) и Cu<sub>2</sub>O (как примесь или твердый раствор в гематите, магнетите).

Область изучения электрических свойств- пограничный и на границе с диэлектриками полупроводниковый диапазон.

#### МОДЕЛЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ.

Обусловленное электронной природой (I-го рода) сопротивление  $\rho$ , Ом.м зависит от характеристик электронного спектра. Носители- валентные, подвижные электроны, а вблизи потолка валентной зоны подвижные вакансии электронов- дырки. Электроны внутренних оболочек прочно связаны с ядром.

Сопротивление [1 и др.]: обратно- и прямо- пропорционально степени заполнения электронами энергетических зон: соответственно, проводимости (металлический п-механизм) и валентности («дырочный» p- механизм).

Сопротивлению элементов  $\rho$ , Ом.м поставлен в соответствие нормальный электронный потенциал  $E_0$ , Вольт- свойство, которое по отношению к водороду ( $E_0(H)=0$ ) при диссоциации отражает активность и способ: вытеснение или присоединение H, характеризует валентную зону спектров.

При изучении  $\rho(E_0)$  выявлены положения [2], ранее недооцененные:

- дырка влияет на  $\rho$  заметнее в нормально заполненной валентной зоне, но электрон из нормально незаполненной зоны проводимости не «обслуживает» окисление и константу  $E_0$ , не определяет валентность (окисляемость),

- все элементы обладают суммой максимальных валентностей по водороду и кислороду (= по сере) равной количеству электронов во внешнем слое 8 (!).

Выводы тому, как «связующее звено» от элементов к минералам:

-  $E0$ - это потенциальный размер элементов (катионов) относительно водорода,  
- вслед за элементами хорошие проводники- прежде всего окислы и сульфиды, соединения первых валентностей, начальных (малых) степеней окисления.

В диапазоне  $E0$  (Au, Ag, Hg, Cu)=1.5, 0.8, 0.75, 0.38 элементы устойчивы к коррозии, образуют природные проводники: в самородном виде и в известных малочисленных окислах и сульфидах. Сохраняют металлическую форму связи.

В минералах сульфидных и оксидных залежей, месторождений элементов  $E0$  (Zn ÷ Cu)=-0.7 ÷ +0.38 проводимость ниже, фиксируются уже и смешанные формы связи: ковалентно-металлическая, ионно-металлическая.

По мере уменьшения  $E0$  элементы в минералах глубже окислены, самородные редки, сопротивления выше- в диапазоне от слабых проводников к полупроводникам, рост разнообразия соединений «лавиный».

«Рост потенциала суть усиление металлических свойств. В соединениях (равных структуры, валентности и аниона)- чем больше потенциал катиона (выше его «металлический статус»), тем ниже сопротивление соединения.»

Группой периодического закона свойства обособлены. В ее пределах усиление металлических свойств- данный главный тренд безупречен и не вызывает никаких сомнений- связывается с увеличением атомного веса и заряда ядра. Идентичные соединения с более металлическим катионом обладают активированным спектром и меньшим сопротивлением- валентные электроны связаны с ядром большего заряда (остаются в активном положении) и менее сдвинуты к аниону (в меньшей степени локализованы валентной областью).

Однако во II-й группе (Mg, Ca, Sr, Ba) обнаруживается потенциальный размер обратного знака  $\Delta E0(\text{Mg-Ca})=+0.52$ , что свидетельствует об усилении металлических свойств от Ca к Mg, т.е. о глубоком, обратном (вопреки тренду) «коррозионном зазоре»- явлении безусловно *инверсионном* [2].

Оксиды элементов диапазона  $E0(\text{Ca,Mg,Al})=-2.9,-2.38,-1.68$ - считается, что роль  $p$  и  $r$  носителей тока данной степени локализации валентных электронов ничтожна- к перспективным объектам изучения связи составов и сопротивления большинством источников не отнесены [3 и др.]. Явление *инверсии* в литературе никак не отмечено. К оценке явления можно привлечь лишь косвенные данные из смежных (разобщенных) областей, но и их немного.

Например, сведены данные о плотности минералов: от кальцита ( $\text{MgO}=0$ ) к доломиту ( $\text{MgO}\sim 20\%$ ) и магнезиту ( $\text{MgO}\sim 47.7\%$ ), составившие 2.73- 2.85- 2.95 г/см<sup>3</sup>. Сравнительный удельный вес (плотность) Mg от Ca: при атомных массе 24.31 против 40.08, объеме- радиус 1.97 против 1.6 нм- значительно меньше. Отдельно отмечено слабое уменьшение сопротивления [3]. Вывод: в структуре кальцита и доломита магний (а не кальций), как типичный металл, кристаллическую решетку уплотняет. Известно так же то, что избыток металла- стехиометрический дефект, понижающий  $\rho$  [1].

Предложено учесть проекцию Mg в подгруппу над Zn, что проверялось по механизмам собственной электропроводности при давлении (рис.1).

При этом Al отображается двумя способами: традиционная проекция (7-я диагональ Al-Ta) и «делегированная» над Sc, Y, La (14-я диагональ Al-Bi). Обосновано приведение к атомному размеру висмута. Как и для иных элементов (рис. 1, левая часть графика, знак «↓», «↑») учтен объем активации,.

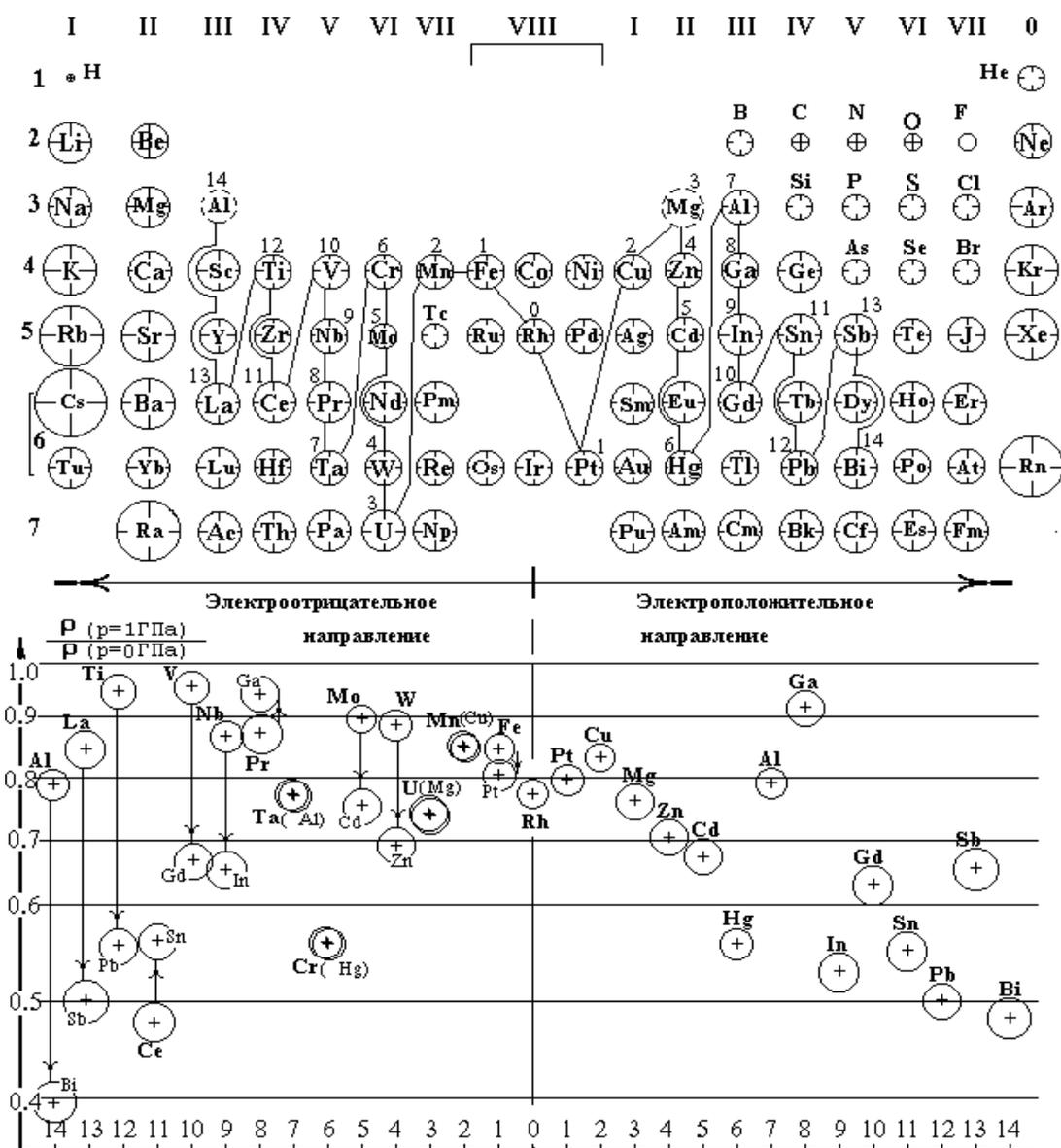


Рисунок 1. Иллюстрация равенства минимума относительного сопротивления элементов (14 пар сопоставлений), фиксируемого при давлении 1 ГПа.

Известные  $\rho$  минералов [1,3], связь металлических свойств и потенциала - инверсионный конфликт упорядочен- основа эмпирической формулы  $\rho I(E0)$ :

$$Lg(\rho_i) = 1.85 \cdot \frac{\sum (-4 \cdot E0_i + 7) \cdot n_i}{(\sum n_i)^2} \cdot (n_o + n_s) + B, \quad (1)$$

где  $E0_i$  - потенциал  $i$ -го элемента,  $n_i$  - количество катионов  $i$ -го элемента,  $n_o, n_s$  - сумма O и S,  $B$  - в зависимости от соотношения количества катионов и суммы O и S:  $B = -7.85$  соотношение 2,1;  $B = -15.2$  - 1,1;  $B = -31.6$  - 1,2;  $B = -46$  - 1,3.

В структурно-фазовой модели руда, порода рассматривается, как многокомпонентная агрегатная система [4] или твердый раствор, как это принято для полупроводников [1,3]. Биминеральная смесь [4] выражается:

$$\rho_n = \frac{3\rho_{зан. ABC}}{3ABC + 2(1 - w_{зан})\Delta\rho(AB + AC + BC)}, \quad (2)$$

где  $\rho_n$  - сопротивление биравномерной смеси,  $\rho_{зан}$  - сопротивление заполнителя,  $w_{зан}$  - объемное содержание заполнителя;  $\Delta\rho = \rho_{зан} - \rho_{вкл}$ ,  $\rho_{вкл}$  - сопротивление эллипсоидальных включений;

$A = abcA(0)w_{зан} \Delta\rho + 2\rho_{вкл}$ ,  $B = abcB(0)w_{зан} \Delta\rho + 2\rho_{вкл}$ ,  $C = abcC(0)w_{зан} \Delta\rho + 2\rho_{вкл}$ ,  $a, b, c$  - длины полуосей эллипсоида;  $A(0), B(0), C(0)$  - функции эллиптических интегралов 1-го и 2-го рода и тригонометрических функций.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ.

Интерпретация электрометрии и *инверсии*- суть разрешение проблемы истолкования  $\rho$  минералов (фракций) MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, как петрофизических констант для условиях различных месторождений, залежей, генезиса.

Измерения проводились в дренированной рудной зоне:- на магнезитах на Карагайском карьере над шахтным полем,- на бокситы из шахты Ново-Курьинской-отработка пласта снизу- при заземлениях в кровлю выработки. Вмещающие карбонатные породы с трещинно-карстовым типом фильтрации, поэтому влиянием ионной ( $\Pi$ -рода) проводимости можно пренебречь.

Условия расчета двухфазной модели- идеальны (Таблица).

ТАБЛИЦА № 1. Сопротивления руд, пород по данным параметрических ВЭЗ.

	СУБР	ОАО «Комбинат Магнезит»		СУБР
Порода, руда	Известняк	Доломит	Магнезит	Боксит
Формула	Ca CO <sub>3</sub>	Ca, Mg CO <sub>3</sub> MgO=20%	Ca, Mg CO <sub>3</sub> MgO=47.7%	Ca, Al CO <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =56%
Сопротивление руды/породы, Ом.м	12000 2004	4700 (3840) 2005	1300 (984) 2005	240 (200) 2004

#### ОАО «Комбинат Магнезит» СУБР

Минерал (фракция)	МАГНЕЗИЯ	ГЛИНОЗЕМ
Формула	MgO=100%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Сопротивление, Ом.м	400=10 <sup>2.6</sup>	20=10 <sup>1.3</sup> 2004

Сырье ОАО «Ураласбест»: 1. хризотиласбест- магнезия+ магнетит во вмещающих перидотитах, 2. габбро- магнезия, глинозем, гематит + примеси (рис. 2). При моделировании и цитировании таблицы учтено, что тип залежи среднетемпературный (кристаллизация при ~ 600 °С). В результате работ было вычислено  $\rho$  магнетита, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, составившее, 0.1=10<sup>-1</sup> Ом.м (2007-8).

При измерениях 2004-2008гг.. (на залежах огеупоров впервые в истории)- задача электрометрии разрешима при аппаратурных и теоретических средствах, в основном соответствующих и уровню 1970-80-х гг.- установлено, что сопротивление,  $\rho_k$  и контрасты,  $\Delta\rho_k$  отображают составы и приращения главных минералов в соответствии с их сопротивлениями (400-20-0.1).

Условия применения электрометрии благоприятны, а длительность (~ с 1970 года) внедрения метода- цена разногласий петрофизических данных, моделей, прогноза и методики эксперимента.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

В науках о Земле «главной тенденцией современности» названо постепенное поглощение понятием «рудный минерал» полупроводникового диапазона. С развитием технологий обогащения все глубже окисленные минеральные соединения включены в состав руд, значит ценных. Длительность данного процесса составляет почти 100 лет (Harvey, 1928, Семенов, Мальчевский, 1939, Parasnis, 1956, Дахнов, 1967, Okamoto, Kawai, 1973, Shuey, 1979, Дортман, 1992...). Месторождения огнеупоров и бокситов- добыча ведется 110-120 лет- названы «рудными» не в рамках тенденции, а вследствие колоссальных объемов потребления, ценности, как государственное достояние.

Пятое научные чтения памяти Ю.П. Булашевича, 2009 г.

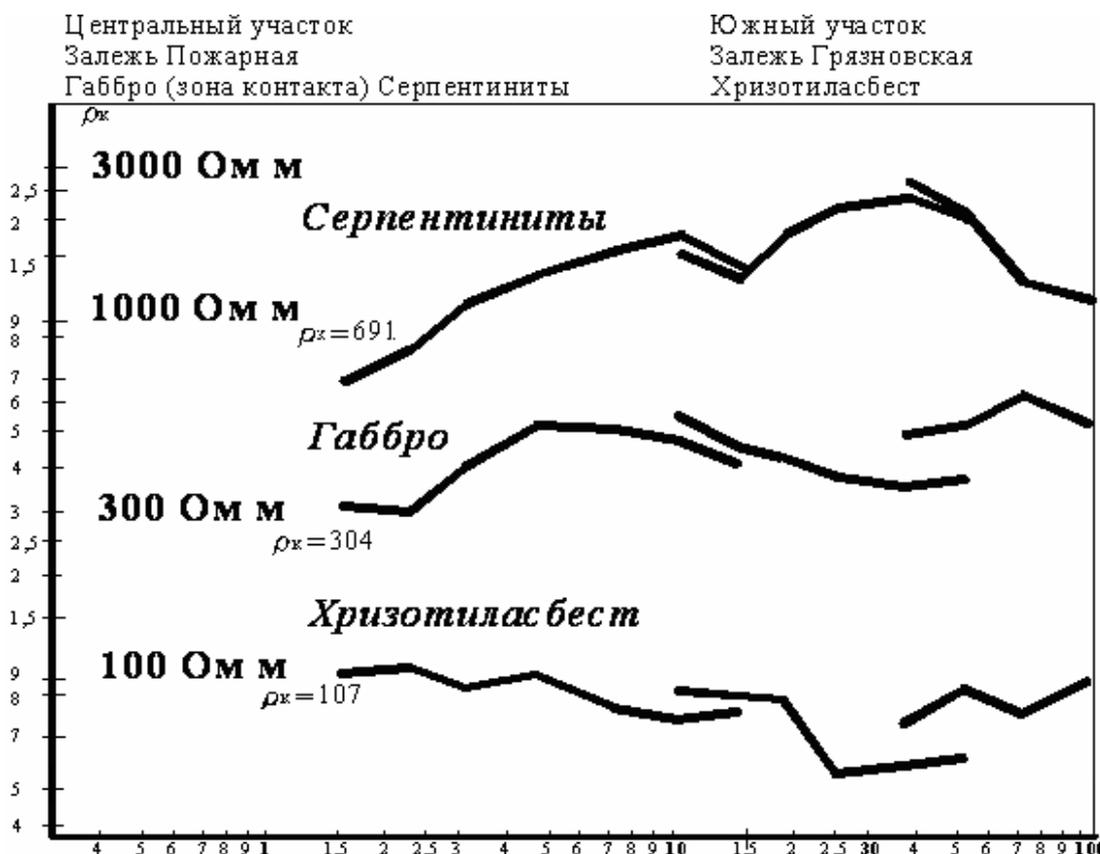


Рисунок 2. Графики ВЭЗ. Измерения в карьере ОАО «Ураласбест».

Петрофизические константы руд огнеупоров и бокситов, в 2004-2008гг.. полученные впервые- полупроводниковый диапазон закрепляется- применение понятия «руд» подтверждают с точки зрения и главной современной тенденции. Восстановлена и соблюдена минералогическая традиция, вместе с тем предприятия получают эффективный инструмент разведки- электрометрию.

Предполагаем, что свойства, полученные в малоизученном пограничном и на границе с диэлектриками полупроводниковом диапазоне, очень важны, как своеобразная «точка встречи» и, возможно, ряд смежных петрофизических исследований получит не экстра-, а интер-поляционные ориентиры, а значит дополнительные перспективы при интерпретации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шуй Р.Т. Полупроводниковые рудные минералы. –Л.: Недра, 1979.- 288 с.
2. Петрофизическая модель изменчивости электрического сопротивления магнезит- доломит как основа применения электрометрии для определения геометрии залегания руд в условиях Саткинского месторождения магнезитов/А.В. Тимохин, Ю.В. Лаптев, Р.С. Титов // Маркшейдерский вестник.- 2007.-№63.-С.63.
3. Дортман Н.Б. Петрофизика.- М.:Недра,1992.- 280 с.
4. Овчинников И.К. Теория поля.- М.: Недра, 1978.- 327 с.

\*\*\*\*\*

УДК 550.834 : 550.831(265.54)

**Цусимская мегадайка (Японское море): особенности строения и диагностики**

*В.Л. Ломтев, М.Г. Гуринов тел/факс 8(4242) 791-517, lomtev@imgg.ru  
Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия*

В настоящем сообщении по гравиметрическим данным в редукции Буге (рис. 1, 2) и данным сейсморазведки МПВ и НСП МОВ (рис. 3, 4) рассматриваются особенности

строения Цусимской мегадайки (авт.) у внешнего края юго-восточного шельфа Корейского п-ва (Сино-Корейский щит). Это крупная линейная интрузивная структура выделяется положительными меридиональными изоаномалами 40-60 мгал протяженностью 220 и шириной от 5-10 до 50 км (см. ее также на гравикарте в [1]). К северу от параллели 36,5° с.ш. выделяется она и в аномальном магнитном поле [1, 2], хотя представительные данные по ней авторам пока неизвестны. К северу дайка видимо имеет продолжение протяженностью около 100 км, оконтуренное изоаномалами 40 и частично 60 мгал и в плане смещенное на верхний уступ континентального склона примерно на 25 км при том же меридиональном простирании. На севере мегадайка параллельна береговой линии Корейского п-ова, а на юге выходит в мелководный Цусимский пролив (краевой мезокайнозойский прогиб Нактон [3-5]), что и определило выбор ее названия. Судя по рис. 1 она трассирует градиентную зону между малоамплитудным ( $\pm 30$  мгал) гравиполем Корейского п-ова и почти на порядок (80-240 мгал) превосходящим его положительным полем над подводным продолжением массива или структурной зоны Собэк с возвышенностью Криштофовича (Уллындо) на ее северо-восточном окончании (Прикорейский бордерленд [5-7]). Упомянутое различие в интенсивности гравияномалий известно давно, но до сих пор оно не получило сколько-нибудь удовлетворительного объяснения [2, 5-7 и др.]. Итак, по данным гравиметрии в редукции Буге можно заключить, что Цусимская мегадайка трассирует зону глубинного разлома вероятно мантийного заложения, который здесь традиционно проводили мористее в основании верхнего уступа континентального склона (Восточно-Корейский разлом П.Н. Кропоткина и Ро Су Вона (см. ссылку в [5]). С учетом данных МПВ в [2, 5, 8] и выхода изоаномал мегадайки на побережье (рис. 1) можно предполагать его падение к западу под Сино-Корейский щит.

На рис. 3,4 представлены субширотные профили МПВ (III) и НСП МОВ (№17), пересекающие северное окончание Цусимской дайки [8, 9]. На первом она представляет собой горст или штамповую антиклинальную структуру акустического фундамента, ограниченную нормальными сбросами, особенно с юга, поэтому ее поперечник с глубиной возрастает от 5 (у дна) до 15 км. И напротив, на профиле НСП ширина мегадайки (~5 км) практически не меняется с глубиной (субвертикальное тело). Здесь отчетливо видно внедрение магмы в неоген-четвертичный морской осадочный чехол (висячий осадочный бассейн Пхохан [8]), с которым связано его видимое замещение интрузивными магматитами и небольшой (до 100 м) подъем. В рельефе внешнего шельфа мегадайка формирует низкую столовую, вероятно абрадированную (бенч), краевую структурную дамбу, ограниченную изобатой 100 м (рис. 2). Местами дамба прорезана подводными долинами, выходящими на континентальный склон. По аналогии с Кони-Пьягинской и Магаданской мегадайками североохотского шельфа [10] маломощная (первые метры) валунно-галечная отмостка на бенче дамбы привела к образованию зоны реверберации сейсмических волн (система параллельных дну контрастных отажений) из-за резкого, от 1,5 км/с в воде до ~5 км/с в теле мегадайки, скачка скорости распространения продольных волн. Иначе говоря, эта зона реверберации маркирует тело Цусимской мегадайки в неоген-четвертичном чехле. Вместе с тем на этом профиле НСП есть и другая зона реверберации сейсмических волн южнее под мелководным внутренним шельфом. И здесь она также вызвана резким скачком скорости в связи с тонкой валунно-галечной отмосткой на абрадированной кровле плотных, среднескоростных (~ 5 км/с) докайнозойских пород Сино-Корейского щита (т.н. акустический фундамент на рис. 3 [2-7]).

Прорыв неоген-четвертичного чехла Цусимской дайкой фиксирует ее заведомо четвертичный возраст, что согласуется с общепринятым, поздне-, реже среднечетвертичным, возрастом континентальных и островных шельфов Мирового океана, а также близким возрастом Трехбратской, Кони-Пьягинской и Магаданской мегадаек Охотского моря [10, 11]. Если ориентироваться на вещественный состав многочисленных мелких даек Сино-Корейского щита [3, 7], то исследуемую интрузивную структуру могут слагать щелочные габброиды, трахидолериты или лимбургиты с ксенолитами ультраосновных пород. По

аналогии с Великой дайкой шириной 2-3 и протяженностью 500 км (крупнейшая дайка мира), которая рассекает Африканский кратон и находится в многолетней горнорудной разработке [12], можно предполагать рудоносность и Цусимской мегадайки.

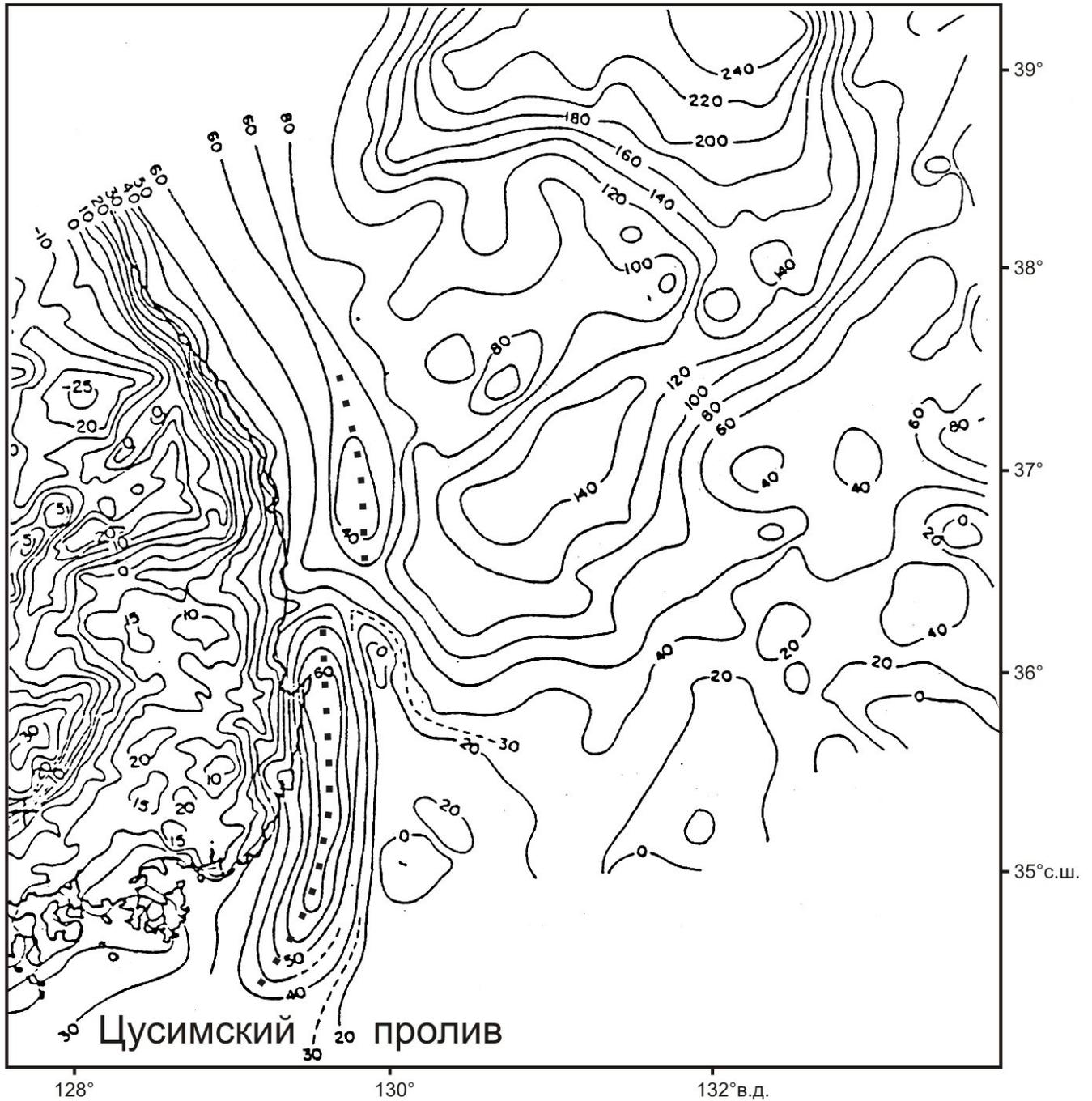


Рис. 1. Гравикарта Корейского п-ова и его ЮВ подводной окраины в редукции Буге [2, 7]. Сечение изоаномал от 5 (суша и шельф) до 20 мгал (континентальный склон). Линия черных квадратов на внешнем шельфе – Цусимская мегадайка и ее северное продолжение (см. рис. 2).

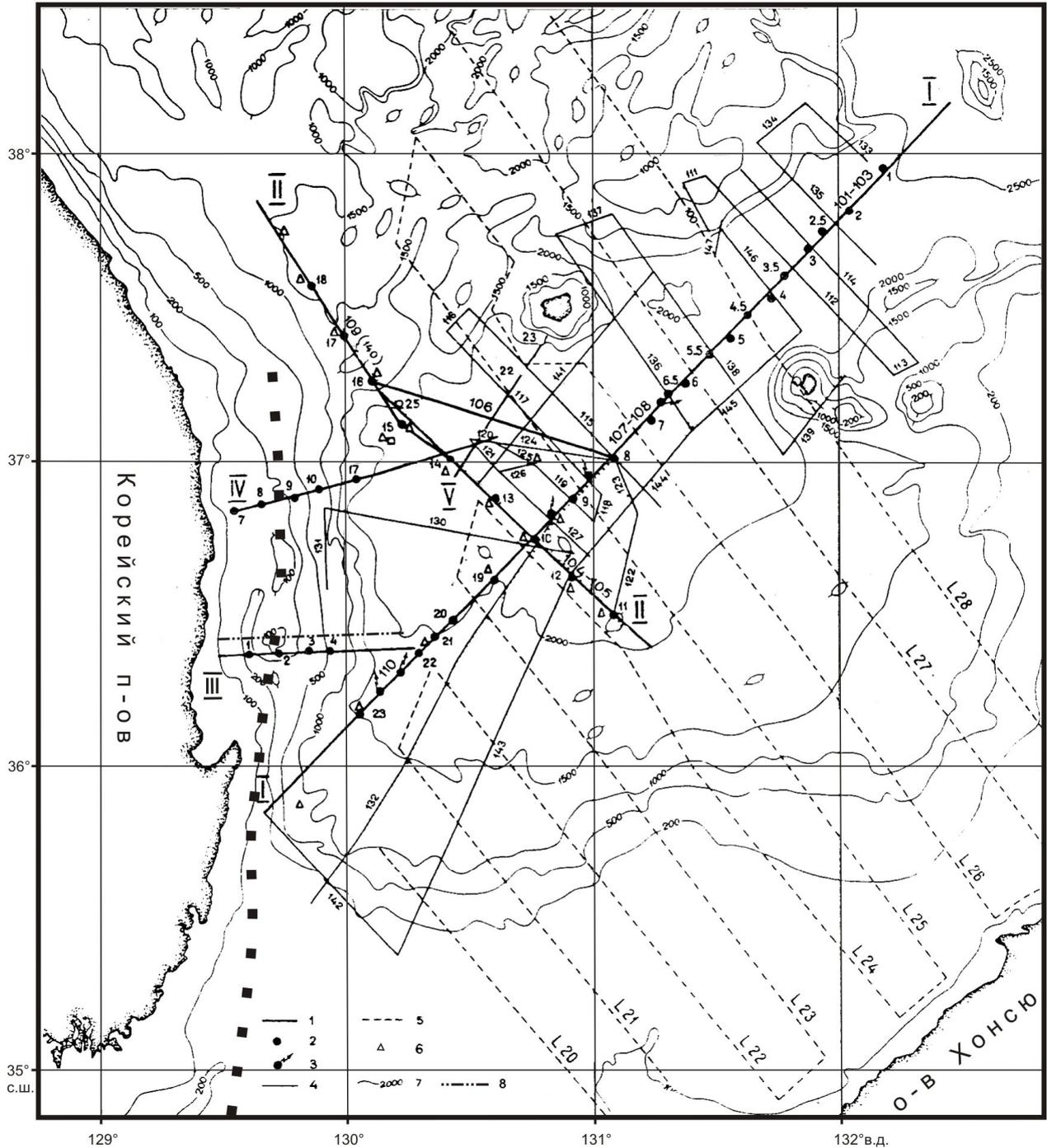


Рис. 2. Батиметрическая карта юго-восточной подводной окраины Корейского п-ова с профилями НСП и МПВ в районе котловины и трога Уллындо (см. рис. 3, 4 [2, 4, 8]). Цифрами обозначены: 1 – профили МПВ ИМГиГ I-IV, 2,3 – положение АДСС и сейсмобуев соответственно, 4,5 – профили НСП ИМГиГ и Японской геологической службы соответственно [4, 6, 8], 6 – точки определения теплопотока, 7 – изобаты в метрах, 8 – профиль НСП №17 на рис. 4 [9]. Линия черных квадратов – Цусимская мегадайка.

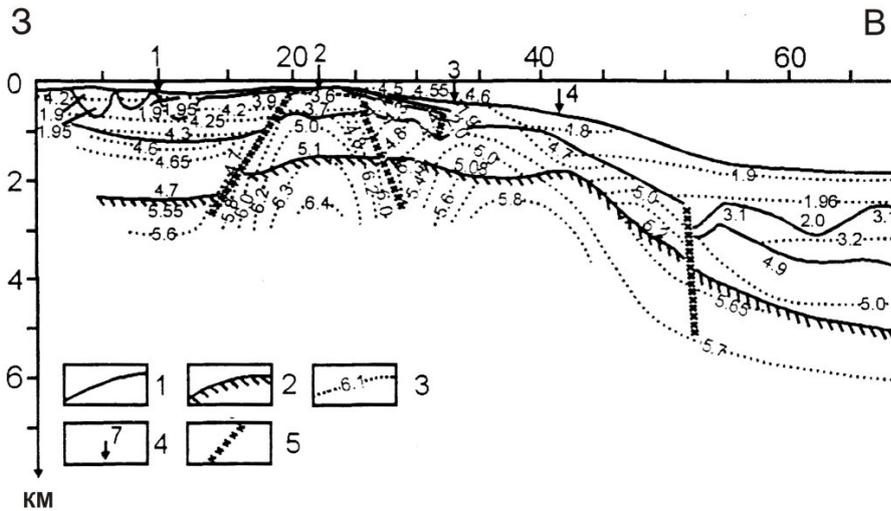


Рис. 3. Южная часть глубинного разреза III МПВ [8]. Цифрами обозначены: 1 – преломляющие границы, 2 – подошва осадочно-вулканогенного слоя, 3 – изолинии скоростей в км/с, 4 – АДСС (автономные донные сейсмические станции), 5 – разломы, предполагаемые по

данным МПВ [8].

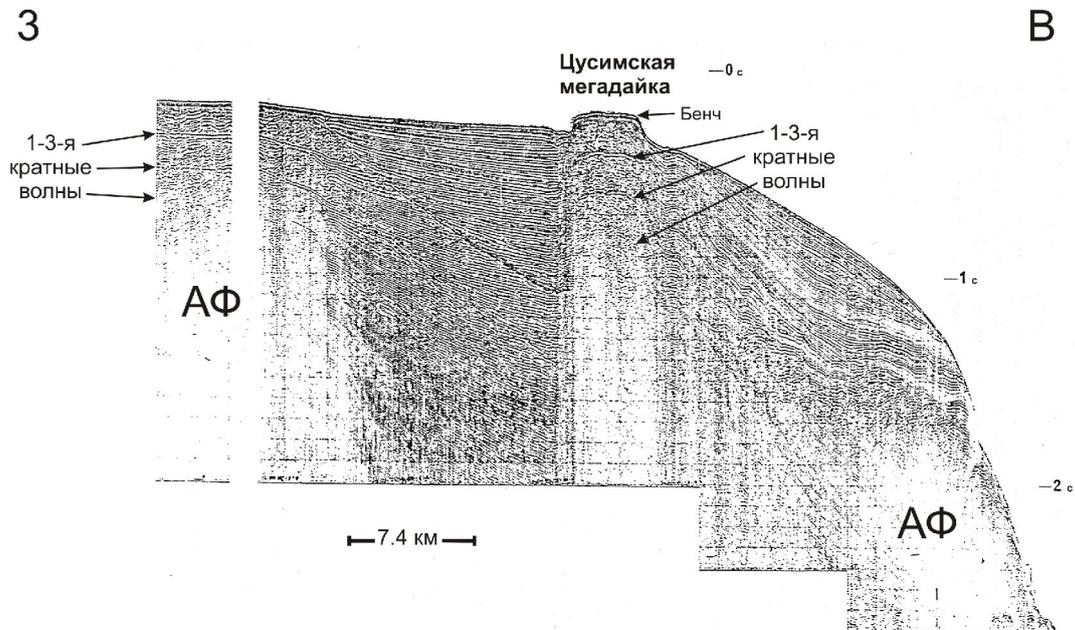


Figure 1-7. Seismic profiling record for profile 17, off Pohang.

Рис. 4. Профиль НСП МОВ №17 через Цусимскую мегадайку [9]. Вертикальный масштаб в секундах двойного пробега. Зоны реверберации с 1,2 и 3-й кратными волнами в мегадайке (справа) и в зоне выхода докайнозойских пород акустического фундамента (АФ) слева. Положение профиля см. на рис. 2.

Итак, из представленных материалов гравиметрии и сейсморазведки можно заключить, что в геологии юго-восточного шельфа Сино-Корейского щита и впадины Японского моря появился новый объект для будущих исследований – Цусимская мегадайка, в плане разделяющая области молодого, плиоцен-четвертичного трапового магматизма основного состава (платобазальты) на суше и кислого, экструзивного магматизма и вулканизма в котловине и трог Уллындо [2-5, 7]. Вместе с охотскими мегадайками [10, 11] это позволяет наметить ряд новых проблем в геологии, тектонике и магматизме континентальных и частью островных (СВ Сахалин и др.) шельфов Мирового океана и их

краевых структурных дамб, связанных вероятно с глубинными разломами мантийного заложения. Кроме того, по сейсмическим данным МПВ и особенно МОВ (НСП и МОГТ) важно проверить и другие протяженные линейные, грави- и магнитные аномалии в [1, 5, 6 и др.] на предмет их связи с мегадайками ультраосновных и/или основных пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. Международный геолого-геофизический атлас Тихого океана: Удинцев Г.Б. (ред.), МОК (ЮНЕСКО), РАН, ФГУП ПКО «Картография», ГУНиО. М.: СПб, 2003. 192 с.
2. An oceanographic study in the East Sea (the Sea of Japan) – Korea and Russia cooperative research / Suk B.-Ch., Anosov G.I. et al. Seoul: KORDI, 1993. №10. 280 p.
3. Геология Кореи. М.: Мир, 1964. 264 с.
4. Ломтев В.Л. Новые данные о строении котловины и трога Уллындо (Японское море) // Строение земной коры и перспективы нефтегазоносности в регионах Северо-Западной окраины Тихого океана. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2000. Т. 2. С. 54-74.
5. Основные черты геологического строения дна Японского моря. М.: Наука, 1978. 264 с.
6. Geological investigations in the northern margin of Okinawa Trough and western margin of Japan Sea. Tokyo: Geol. Survey of Japan, 1978. №10. 80 p.
7. Geology of Korea. Seoul: Geological Society of Korea & Kyohak-sa, 1987. 515 p.
8. Строение восточного шельфа полуострова Корея по сейсмическим данным / Г.И. Аносов, Б.-Ч. Сок и др. // Тихоокеан. геология, 2000. Т. 19. №2. С. 3-16.
9. Shluter H.U., Chun W.C. Seismic surveys off the East coast of Korea // United Nations ESCAP, CCOP Technical Bull., 1974. Vol. 8. P. 1-14.
10. Ломтев В.Л., Гуринов М.Г. Новое в строении дна и истории Охотского моря // Геодинамика формирования подвижных поясов Земли. Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2007. С. 197-200.
11. Ломтев В.Л., Патрикеев В.Н. Сейсмические исследования ИМГиГ ДВО РАН в Северо-Западной Пацифике (1980-2005 гг.) // Вестник ДВО РАН, 2006. №1. С. 59-66.
12. Горная энциклопедия. Республика Зимбабве. М.: Изд-во Сов. энциклопедия, 1986. Т. 2. С. 388-392.

\*\*\*\*\*

УДК 550.834 (265.546)

**К строению и газоносности западного борта Татарского трога (Японское море)**

В.Л. Ломтев<sup>1</sup>, К.Ю. Торгаиш<sup>2</sup>, М.Г. Гуринов<sup>1</sup> тел/факс 8(4242) 791517, lomtev@imgg.ru

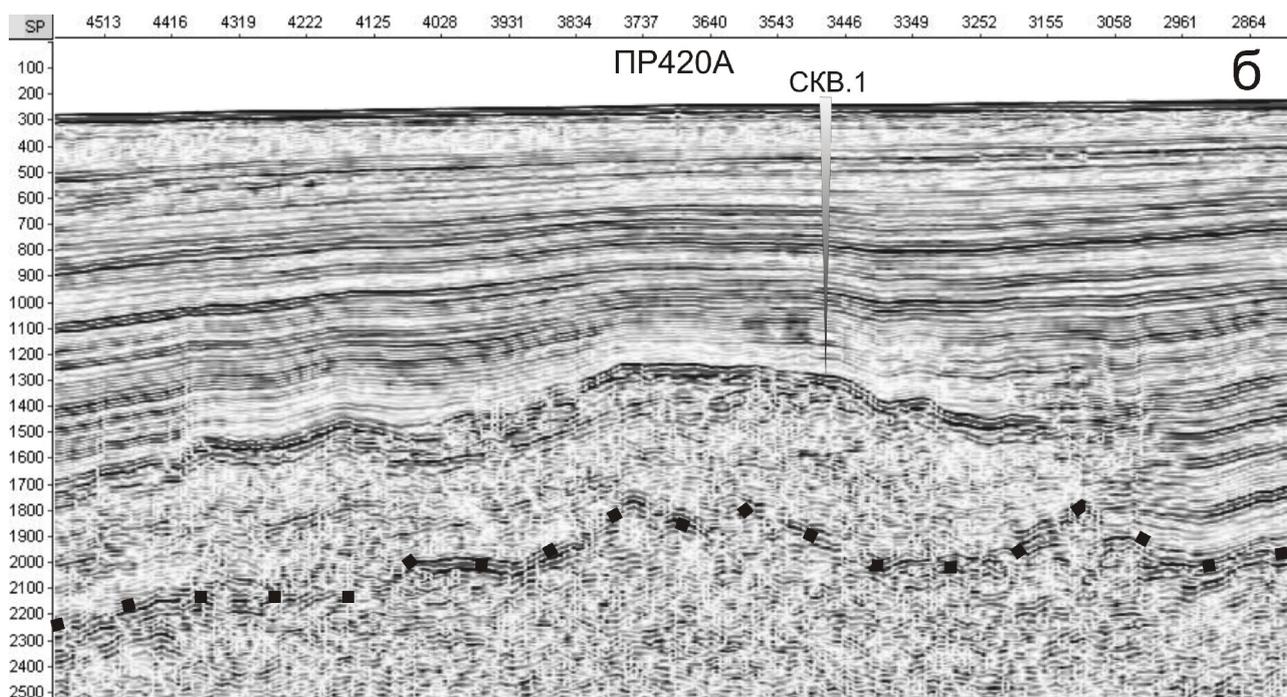
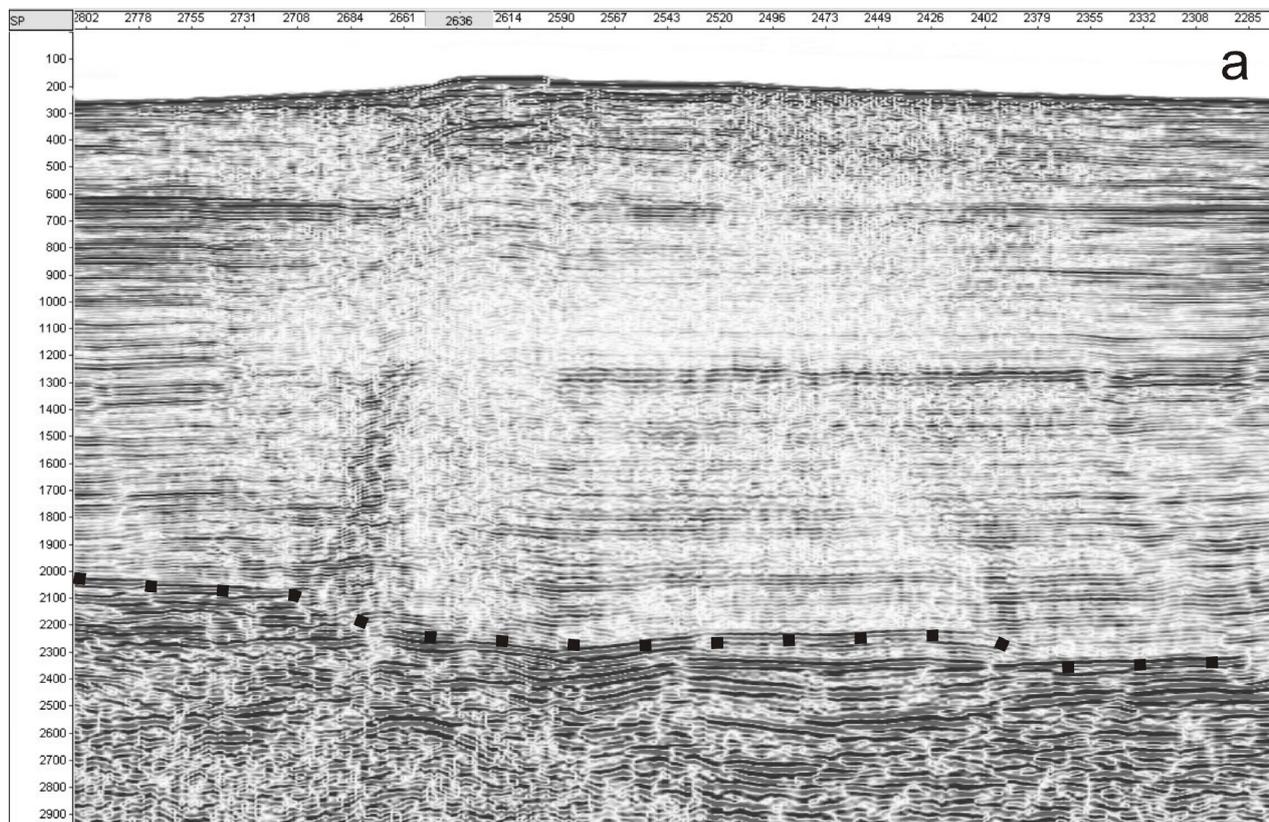
<sup>1</sup>Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, РФ

<sup>2</sup>ОАО «Дальморнефтегеофизика», г. Южно-Сахалинск, РФ

Геолого-геофизическими методами, включая бурение, Татарский трог изучается более 50 лет [1-5 и др.]. К 1988 г. пробурено 11 «сухих» (по нефти) скважин на его сахалинском шельфе (депоцентр кайнозойского осадочного бассейна) и две на о-ве Монерон, открыто одно мелкое Изыльметьевское месторождение газа. В основе неудач - ошибки в выборе модели (рифт), возрасте (палеоген), географии области сноса (Западно-Сахалинские горы [3,4]). Широтная асимметрия трога по осадочному неогену, отсутствие ступенчатых сбросов на бортах и их разное строение (диагональные полускладки СЗ простирания, сопряженные с надвигами и взбросами восточного падения, есть только на восточном борту) не позволяют считать его рифтом. Встречные и продольные (к югу) придонные клиноформы наращивания надежно фиксируют четвертичный возраст Татарского трога (рис. 1). Он возник как остаточный прогиб после инверсии Западно-Сахалинского краевого прогиба и воздымания одноименной кордильеры (моноклинорий) вследствие срыва коры к востоку [2,3,6]. Отсутствие коллекторов обусловлено дальним (> 50-100 км от Сихотэ-Алиня) транзитом терригенных наносов и малыми (до 1 м/км) уклонами дна к ЮВ, что предполагает переориентацию нефтегазопоисковых работ в зону выклинивания осадочного неогена и

Пятые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича, 2009 г.

палеогена (сергеевский комплекс) на западном борту Татарского трога. Здесь обнаружены аномальная для зоны выклинивания ( $>3-4$  км) видимая мощность осадочного палеогена [2] и УВ-аномалии на Сюркумском выступе площадью  $1600 \text{ км}^2$  и прилегающих районах [4]. Ниже представлены карта и примеры последних (рис. 1-6): аномалии типа «залежь» (АТЗ), структуры прорыва флюидов (СПФ), близкие по строению грязевулканам, газовые окна и столбы. Они известны на профилях НСП и МОГТ по нефтегазоносному шельфу СВ Сахалина, а недавно обнаружены и на ложе СЗ и ЮЗ Пацифики [7,8].



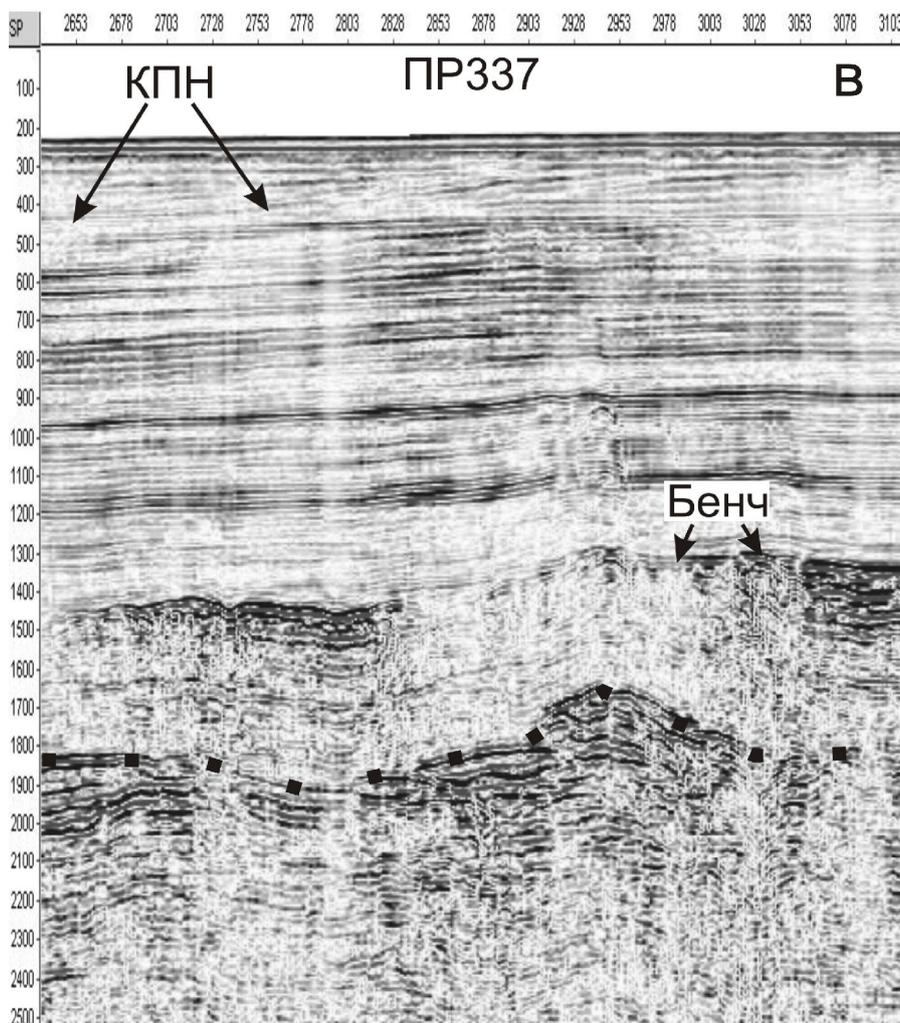
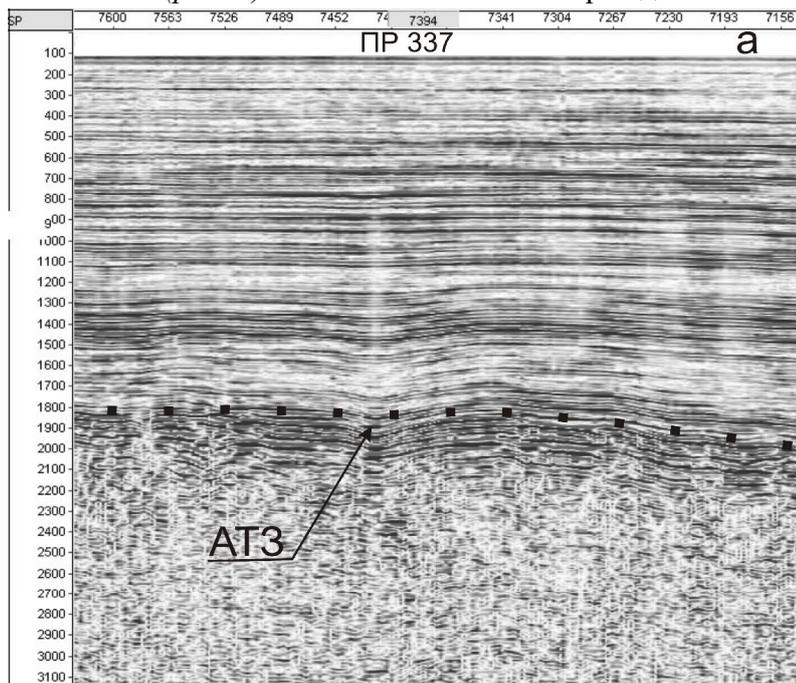


Рис. 1 а-в. Примеры газовых окон и столбов на профилях МОГТ (ПР) по западному борту Татарского трога. КПН – клиноформы продольного наращивания; скв. 1 – положение Сюркумской скважины. Линия квадратов – подошва неогена (здесь и на др. рис.)

Газовые окна и столбы (рис. 1). В сейсморазведке МОВ известны под разными названиями (слепые зоны, трубы дегазации, зоны ОО или отсутствия отражений и др.) более 50 лет [8]. На профилях МОГТ и НСП выделяются по перерыву или заметному ослаблению (осветлению) сейсмозаписи. По данным газового каротажа связаны с избыточной (~5-30% от объема пор) газонасыщенностью разреза (газопроявления). На западном борту Татарского трога газовые окна и столбы в кайнозойском чехле распространены достаточно широко. Пример рассеянной миграции газа в неоген-четвертичном чехле можно видеть на участке профиля 120-канального МОГТ протяженностью 10 км (рис. 1 а). Источником газа видимо являются отложения палеогена неустановленной, но вероятно значительной, мощности с контрастной пачкой в кровле на глубинах более 2,1-2,3 с. Профиль 420А дает пример региональной газонасыщенности Сюркумского выступа (газовая банка [4]), которая определяется по перерыву в прослеживании отражающих границ в низах миоцена и прозрачной (газовой) шапке мощностью до 200 м над верхним контрастным горизонтом (региональный коллектор, рис. 1 б). Профиль 337 у южного края Сюркумского выступа четко фиксирует многочисленные газовые окна и столбы, связанные с миграцией газа по всему видимому разрезу кайнозойского чехла, включая нижнюю контрастную пачку осадочного олигоцена на глубинах 2-2,5 с (сергеевский комплекс, рис. 1 в).

АТЗ (рис. 2). На Чайвинском месторождении УВ на шельфе СВ Сахалина описано два



типа АТЗ шириной 2 км [7,8]: в центре (свод) ложный провал отражающих границ, на 200-300 м затрагивающий низы покрывки, на периферии - минигайот (трапеция). Заметное различие в амплитуде снижения скорости продольных волн в нефтяных (до 5-6%) и газовых (до 30%) пластах почти исключает выделение АТЗ первых на фоне АТЗ вторых. По данным В.Э. Коконова в Северо-Сахалинском бассейне поперечники залежей УВ и их АТЗ примерно соотносятся как 3:1 [8]. Известны и другие, хотя и не столь надежные, признаки залежей УВ на профилях МОГТ («яркое пятно», смена полярности

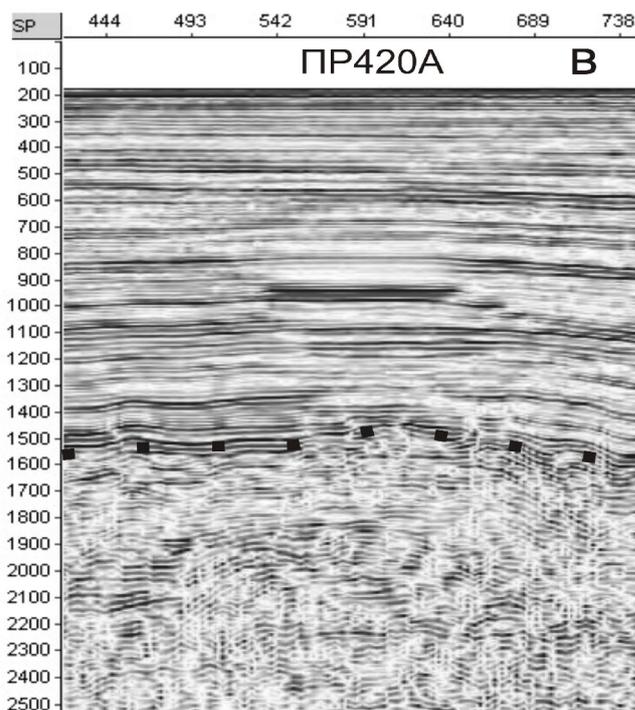
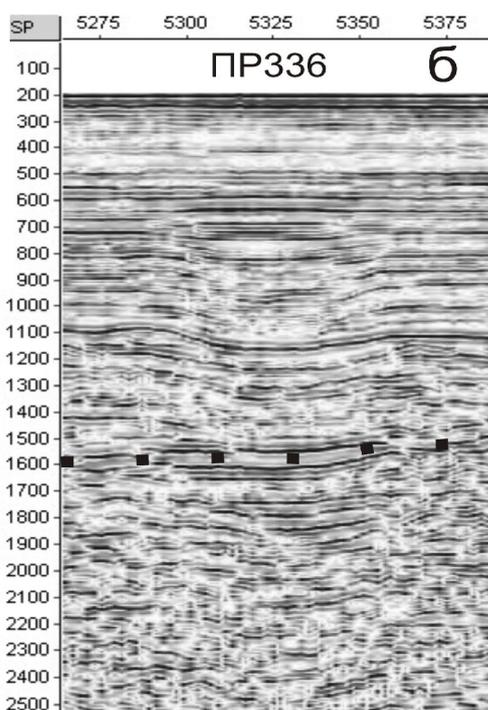
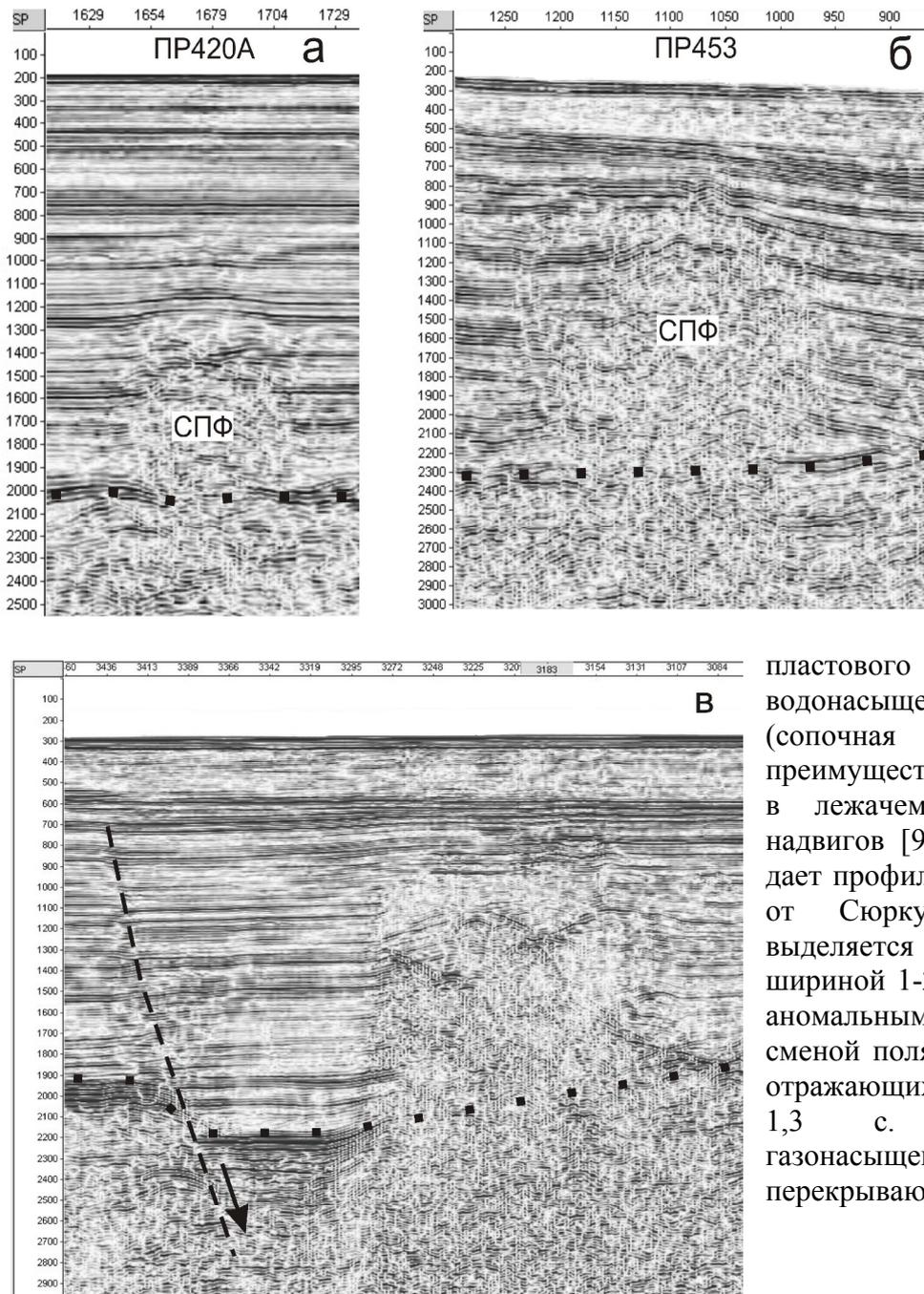


Рис. 2 а-в. Примеры аномалий типа «залежь» первого (а,б) и второго (в) типов.

сигнала, дифракции, аномальное затухание высоких частот, ухудшение коррелируемости границ [4,7]). На рис. 2 представлены два примера АТЗ первого типа, и один второго. АТЗ первого типа дает профиль 337. Здесь ложный провал шириной около 1,8 км наблюдается в отложениях низов миоцена и олигоцена (контрастная пачка) в интервале глубин 1,5-2,0 с. Выделим полупрозрачные газовые столбы в неогеновом чехле, в том числе над провалом, т.к. они надежно фиксируют газовую залежь и газонасыщенность указанного интервала. На профиле 336 ложный провал границ диаметром 2,1 км обнаружен на Сюркумском выступе в отложениях миоцена. Снижение скорости распространения продольных волн в нем составило 16%, что близко таковому на Чайвинской АТЗ [7]. Залежь газа предполагается в интервале 1,1-1,7 с. АТЗ второго типа обнаружена в отложениях миоцена на окончании профиля 20А в 67 км к северу от Сюркумского выступа. Это типичный минигайот (трапеция)

в своде низкой асимметричной антиклинали шириной более 10 км. Здесь также четко видны смена полярности и интенсивности фаз (интервал глубин 0,8-1,4 с).



*Структуры прорыва флюидов (СПФ, рис. 3).* На западном борту Татарского трога описаны в [3] как субвертикальные, сложнопостроенные зоны перерыва границ в осадочном чехле, близкие грязевулканам. На Сахалине и в ряде других регионов образование последних связывают с зонами аномально высокого

давления, водонасыщения и разуплотнения (сопочная брекчия) преимущественно глинистого разреза в лежащем крыле региональных надвигов [9 и др.]. Первый пример дает профиль 420А в 68 км к северу от Сюркумского свода. Здесь выделяется небольшая СПФ шириной 1-2 км. Она примечательна аномальным выполаживанием, сменой полярности и интенсивности отражающих границ в интервале 1,0-1,3 с. Они обусловлены газонасыщенностью данной СПФ и перекрывающих ее слоев неогена.

Рис. 3 а-в. Примеры структур прорыва флюидов (СПФ). Пунктир со стрелкой – сброс и смещение по нему.

На профиле 453 СПФ шириной 2,5-5 км обнаружена к югу от Сюркумского выступа. Она представляет собой субвертикальную зону сложного волнового поля с массой микродифракций и коротких разнонаклонных отражений. Ее боковые стенки неровные с выступами (клинья) и смежными карманами, что указывает на внедрение низкоскоростных, газо- и водонасыщенных осадочных масс (сопочная брекчия?). На уровне 1,1 с выпуклый изгиб слоев неогена маркирует кровлю этих масс, но без образования грязевого конуса. Третий пример СПФ шириной 3,5 км можно видеть на профиле 120-канального МОГТ. Он интересен небольшими «яркими пятнами», АТЗ в перекрывающих

слоях неогена, V-образной формой (интрузия или палеорусло?) и изгибом слоев неогена кверху в интервале глубин 1,1-1,5 с (глинистый диапир).

*Выводы.* На профилях МОГТ по западному борту Татарского трога в полосе протяженностью около 300 км обнаружены признаки газонасыщенности кайнозойского чехла (АТЗ, СПФ, газовые окна и столбы). Источником газа и сопочной брекчии видимо являются палеогеновые отложения значительной, хотя и не установленной, мощности, выполняющие краевой (передовой) прогиб складчатого Сихотэ-Алиня. Структуры прорыва флюидов, сходные по строению с грязевулканами, позволяют наметить положение фронтального надвига Сихотэ-Алиня как регионального тектонического экрана для залежей УВ.

Данная работа поддержана грантом РФФИ – Дальний Восток №09-05-98577.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Геология, геодинамика и перспективы нефтегазоносности осадочных бассейнов Татарского пролива. Владивосток: ДВО РАН, 2004. 220 с.
2. *Ломтев В.Л.* К тектонике и истории Северо-Татарского трога // Общие и региональные проблемы тектоники и геодинамики. Мат-лы ХLI Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2008. Т. 1. С. 512-516.
3. *Ломтев В.Л., Кругляк В.Ф., Савицкий В.О.* Геологическое строение, история геологического развития в неогене и направление нефтепоисковых работ в северной части Татарского пролива // Геология и стратиграфия кайнозойских отложений Северо-Западной Пацифики. Владивосток: ДВО АН СССР, 1991. С. 63-69.
4. *Ломтев В.Л., Торгашов К.Ю., Патрикеев В.Н.* Признаки газонасыщенности западного борта Татарского трога (Японское море) // Вестник ДВО РАН. 2008, №6. С. 63-71.
5. Северо-Татарский нефтегазоносный бассейн / Ю.А. Тронов и др. // Тихоокеан. геология, 1987. №6. С. 45-49.
6. *Ломтев В.Л., Никифоров С.П., Ким Ч.У.* Тектонические аспекты коровой сейсмичности Сахалина // Вестник ДВО РАН, 2007. №4. С. 64-71.
7. Прогнозирование нефтегазоносности на акваториях. М.: Недра, 1988. 168 с.
8. *Ломтев В.Л., Жигулев В.В. и др.* Возможности метода непрерывного сейсмического профилирования (НСП) при нефтегазопоисковых исследованиях // Геодинамика, геология и нефтегазоносность осадочных бассейнов Дальнего Востока России. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2004. С. 107-119.
9. *Веселов О.В., Волгин П.Ф. и др.* Особенности строения верхнемелового комплекса Пугачевского грязевого вулкана по геофизическим данным // Там же, с.145-156.

\*\*\*\*\*

УДК [551.24: 550.34:551.77] (571.61/62)

#### **Строение фундамента Среднеамурской депрессии по результатам интерпретации геолого-геофизической информации**

*Ю.Ф. Манилов*, телефон: (4212) 73-42-89, факс: 22-71-89, *mail: [ymanilov@itig.as.khb.ru](mailto:ymanilov@itig.as.khb.ru)*  
*Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, Хабаровск, Россия*

Среднеамурский осадочный бассейн входит в состав Восточно-Азиатского грабенового пояса и является рифтогенной системой [2]. В современном виде состоит из системы грабенов и горстов. В настоящее время считается установленным фактом, что фундамент под осадками гетерогенен [5], однако картирование конкретных границ между докайнозойскими комплексами прямыми наблюдениями затруднительны. Сложность состоит в том, что большая часть рассматриваемой территории покрыта осадочным чехлом. В настоящей работе сделана попытка посредством комплексного геолого-геофизического подхода эти границы установить.

Задачей проведенных исследований было выявление особенностей строения фундамента Среднеамурского осадочного бассейна, картирование магматических образований различного возраста. Актуальность изучения обусловлена как практической значимостью - перспективы обнаружения углеводородов, так и чисто научной – эволюция в сложной тектонической обстановке (4).

Изученность впадины глубинными геофизическими методами довольно низкая. Самыми масштабными работами на территории стали исследования 1986 г. Дальневосточной геофизической экспедицией ПГО Сахалингеология. Всего было отработано около 2000 погонных км сейсмопрофилей, пробурены три скважины. Эти материалы до сих пор являются опорными при изучении структуры депрессии, но для площадных и глубинных исследований их явно не достаточно. В сложившихся условиях важным элементом является привлечение тех методов, которыми любая территория обеспечена в достаточном объеме (гравиметрия и магнитометрия).

Главная задача картирования - составление структурной карты поверхности погребенного фундамента. Для этого проведена совместная интерпретация различной геологической и геофизической информации, которая позволяет выявлять физические и вещественные неоднородности в верхней части земной коры. Геофизические методы играют ведущую роль при решении следующих задач:

1. Картирование латеральных границ пород перекрытого фундамента и их геологическая идентификация.
2. Оценка мощностей рыхлого чехла.
3. Картирование тектонических нарушений.

*Использованные материалы:*

1. Карты наблюденного поля силы тяжести  $\Delta g$  масштаба 1:200000, 1:500000.
2. Карт наблюденного магнитного поля.
3. Геологической карты территории масштаба 1: 200000, 1:500000
4. Таблиц физических свойств горных пород.
5. Данные бурения.
6. Данные МОВЗ.
7. Данные ВЭЗ.

Сложность извлечения глубинной информации при анализе потенциальных полей связана с наложением разноглубинных эффектов, при этом приповерхностные неоднородности нередко создают аномалии, соизмеримые с аномальным эффектом глубинных источников. Для более корректной интерпретации было необходимо уменьшить влияние приповерхностных неоднородностей, которое было выполнено путем построения карты  $\Delta g$  со снятым чехлом.

Для депрессионных структур, наиболее контрастными петроплотностными неоднородностями являются осадочно-вулканогенные образования, заполняющие депрессии. В связи с их относительной плотностной однородностью либо закономерной плотностной изменчивостью основным фактором, определяющим их аномальное поле, является мощность заполняющих осадков. Вариации последней обусловили необходимость построения карт изопахит осадочных образований, которая впоследствии использовалась для составления карт  $\Delta g$  со снятым чехлом.

В настоящей работе для оценки мощностей осадочного чехла приоритетно учитывалась сейсморазведочная (МОВЗ) и электроразведочная (ВЭЗ) информация, там где таковая отсутствовала использована гравиметрические данные. Для контрастных аномалий магнитного поля выполнены оценки кромок магнитных неоднородностей фундамента.

Полученные данные о вариации мощности рыхлых отложений впоследствии использовалась для составления карт  $\Delta g$  со снятым чехлом. Для учета петроплотностных неоднородностей использованы справочные значения плотности [3], в сопоставлении с геологическими колонками по данным бурения. Анализ плотностных характеристик пород, слагающих рассматриваемую территорию, показывает, что в пределах верхней части коры

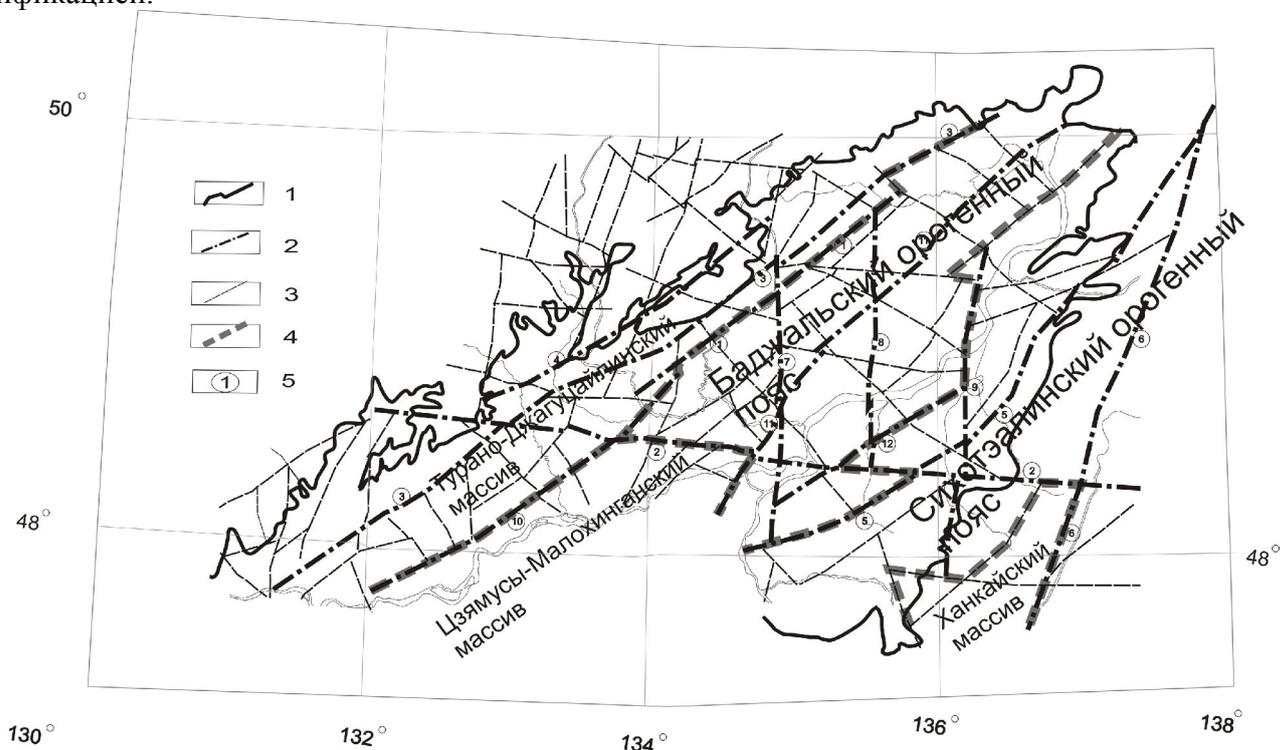
максимальной контрастностью выделяются осадки, заполняющие наложенные депрессионные структуры ( $\sigma=1,9 \div 2,3$  г/см<sup>3</sup>). Относительно вмещающих пород дефицит плотности колеблется в пределах  $0,35 \div 0,60$  г/см<sup>3</sup>.

Составление карты гравитационного поля с исключенным эффектом плотностных неоднородностей верхней части коры ( $\Delta g$  ред) включало: а) моделирование (расчет посредством решения прямой задачи) эффекта плотностных неоднородностей для каждого грабена; б) составление карты их прямого эффекта; в) вычитание (исключение) этого эффекта из первичной карты поля в редукции Буге.

Геологическая идентификация пород фундамента проводилась по параметрам геофизических полей. В основу районирования положены три основные характеристики: интенсивность, дифференцированность, упорядоченность. Границы типов полей определялись как совмещенные (сближенные) границы участков, оконтуренных линиями визуально наблюдаемой смены типов полей. Граница локальных аномалий разного знака устанавливалась по линиям максимального градиента. Далее для идентификации структурных элементов использовались данные петрофизики.

Выделение предполагаемых разрывных нарушений проводилось путем анализа морфологии поля, линейных зон повышенных градиентов, резкой смены полей, разрывов и смещений локальных аномалий. Соответствие на дневной поверхности выделенным линеаментам отрезков геологически зафиксированных разломов [1] явилось основанием для трактовки их в качестве глубинных частей последних. В этой связи их проявленность в редуцированном поле  $\Delta g$  ред, отражающем неоднородности консолидированной коры, позволяют классифицировать их как разломы глубокого заложения.

Итогом геофизических исследований явилось построение структурно-блоковой карты фундамента с наложенной системой разломных (разрывных) нарушений и размещением физических неоднородностей (плотностных, магнитных) с предполагаемой их геологической идентификацией.



**РИС.1** Структурная схема фундамента Среднеамурского осадочного бассейна с элементами дизъюнктивной тектоники

1-граница бассейна; 2- дизъюнктивные нарушения 1 порядка; 3-остальные дизъюнктивные нарушения; 4-границы между основными тектоническими блоками;

5-номера основных разломов: 1-Алгинский; 2-Сюнхэ-Бирский; 3-Ишу-Харпийский; 4-Поликанский; 5-Маноминский

6-Центрально-Сихотэ-Алинский; 7-Даргинский; 8-Дабандинский; 9-Мухенский; 10-Надеждинский; 11- Симминский; 12-Хехцирский

*Результаты*

Построена сводная карта мощности осадочных отложений в грабенах депрессии. Глубины ряда грабенов достигают 2,5-3,5 км, что позволяет говорить о возможности наличия в основании разреза меловых отложений. Полученные данные близки к данным по бассейну Сяньцзян (южное продолжение Средне-Амурской впадины на территории Китая), который является газоносным.

Составлена авторская схема дизъюнктивных нарушений для Среднеамурского осадочного бассейна (рис.1). Спектр направлений выделяемых разломов весьма разнообразен – от субширотной до субмеридиональной, однако преобладают северо – западное и северо – восточное направления. Наряду с основными дизъюнктивными элементами имеется большое количество разломов более низких порядков, которые могут быть границами между отдельными блоками земной коры внутри одной структуры.

В геодинамике региона наиболее изучены региональные сдвиговые системы северо-восточного простирания разломов Танлу и Центрально - Сихотэ-Алинского, которые контролируют ориентировку самого осадочного бассейна.

В систему разломов Танлу объединены разломы северо-восточной ориентировки, расположенные в широкой полосе от Мал. Хингана на северо-западе, до Ханкайского массива на юге. Основными особенностями системы Танлу являются рифтогенная природа разломов, начиная с позднего мела и до четвертичного этапа, и отчетливо проявленный сдвиговый характер перемещений по ряду нарушений. Наиболее протяженные и выдержанные из них: Ишу-Харпинский, Симминский и Маноминский разломы отчетливо фиксируются в виде градиентных зон поля силы тяжести и фрагментарно поля  $\Delta T$ . Важное значение имеет система разломов Алгинский-Надеждинский, которая фактически является границей между опущенной северо-западной и приподнятой центральной частями депрессии.

Субмеридиональные нарушения в центральной и восточной части бассейна продолжают ступень Малышева Ю.Ф. вдоль восточного обрамления Баджальского минимума гравитационного поля. Наиболее значительные из них: Даргинский, Дабандинский, Мухенский разломы, которые хорошо диагностируются в структуре поля силы тяжести зонами градиентов и высокопроводящими зонами на геоэлектрических разрезах по данным МТЗ.

До настоящего времени недооценивается роль субширотных дизъюнктивов, которые слабо диагностируются в чехле, но четко выделяются в гравитационном и магнитном полях. В частности Сюньхэ-Бирский разлом и его продолжение прослеживаются от Хингана до Сихотэ-Алиня, имеет важное значение в тектонике региона. Вдоль него происходит резкое изменение морфологии гравитационного поля. Ориентировка локальные аномалии  $\Delta g$ , как и ориентировка грабенов депрессии вдоль дизъюнктива меняется от северо-восточной до субширотной.

Уточнены латеральные границы пород фундамента, построена геолого-структурная карта, на основании которой удалось установить границы между основными тектоническими объектами фундамента.

*Выводы:*

В современной структуре бассейна выделяются 4 основных тектонических блока: западный, центральный, восточный и южный.

- Наиболее динамичное опускание и осадконакопление в кайнозое характерно для грабенов Западного блока, фундаментом которых вероятно являются докембрийско-палеозойские комплексы Туранского блока Турано – Чжангуацайлинского массива
- Грабены, наиболее приподнятого центрального блока, формировались в режиме кайнозойского поднятия и наложены на позднепалеозойские-мезозойские аккреционные комплексы Баджальского орогена.

- Осадконакопление грабенов восточного блока происходило на фоне мелового орогенеза Сихотэ-Алинского орогенного пояса, что замедлило динамику кайнозойского осадконакопления.
- Южная часть бассейна наложена на докембрийско-палеозойские комплексы Малохинганского блока Цзямусы-Малохинганского массива
- На крайнем юго-востоке фундамент депрессии представлен структурами Ханкайского массива.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев Б.А., Клушин И.Т. Геологическая интерпретация гравитационных аномалий. М.:Недра,1965. 495 с.
2. Варнавский В.Г., Малышев Ю.Ф. Восточно-Азиатский грабеновый пояс Тихоокеан. геология 1986 №3,3-13
3. Гурович В.Г., Романовский Н.П. и др. Физические свойства горных пород Дальнего Востока (справочник), Владивосток 1997, 393с.
4. Меркулова Т.В., Кириллова Г.Л. Строение и перспективы нефтегазоносности северных звеньев Итунь-Иланской ветви разломов Тан-Лу //Тихоокеан. геология. 2004. т.23.№6.С.55-75
5. Натальин Б.А., Черныш С.Г. Типы и история деформаций осадочного выполнения фундамента Среднеамурской впадины// Тихоокеан. геология. 1992. № 6. С.43-60

\*\*\*\*\*

УДК 550.8

#### **Обратная задача магнитометрии в классе трехмерных звездных тел класса А.Н. Тихонова.**

*М.Н. Маркова, Е.П. Лапина 38 044 424 33 30, lapina\_lena@ukr.net  
Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, г. Киев, Украина.*

Решение геологических задач, связанных с изучением строения земной коры и верхней мантии, поиском и разведкой полезных ископаемых, невозможно без геофизических методов исследований. Возрастающий уровень сложности задач повышает требования к достоверности и детальности результатов исследований. Конечным и основным продуктом геофизических исследований есть геологическая интерпретация данных.

Программно-алгоритмическое обеспечение решения интерпретационных геофизических задач основано на аппроксимационном подходе. Данная аппроксимационная задача состоит в том, что исходное поле, заданное в дискретных точках, должно быть представлено аналитической гармонической функцией. Актуальность решения задачи аналитической аппроксимации исходного поля не вызывает сомнения. Такая задача впервые была поставлена в работах М.С. Молоденского, А.К. Маловичко. Этот метод получил развитие в работах В.И. Аронова, В.М. Гордина, В.И. Старостенко, А.С. Долгая и др.

Интерпретационные задачи всегда решаются в выбранном модельном классе. Успех использования численных методов математического анализа, при решении обратных задач, в большинстве случаев зависит от свойств, которыми обладает тот или иной класс геологических моделей.

Класс звездных тел занимает особое место. Повышенный интерес к нему вызван естественными обстоятельствами. В этом классе получена теорема об условиях единственности решения обратной задачи в работе П.С. Новикова [1938], а в работе А.Н. Тихонова [1943] сформулирована первая теорема об условиях ее устойчивого решения. Опыт решения прямых и обратных задач рассматривался в работах Kolbenhoyer [1963], Банчева [1978], Булаха Е.Г. и др [4].

Тело относится к классу А.Н. Тихонова, если выполняются такие условия: каждое тело ограничено замкнутой поверхностью  $S$ ; если внутри тела зафиксирована точка – центр

звездности, примем эту точку за начало координат, тогда в сферической системе координат внешняя поверхность  $S$  может быть описана радиус-вектором  $r = R(\varphi, \theta)$  с центром в начале координат.

Функцию двух переменных  $R(\varphi, \theta)$  представим в виде совокупности функций, каждая из которых зависит только от одной переменной:

$$r = R(\varphi; \theta) = Q_0(\varphi) + T_0(\theta) + \sum_{i=1}^{m1} Q_i(\varphi) \cdot T_i(\theta). \quad (1)$$

Для функции (1) введены граничные условия

$$R(\varphi; 0) = RN = const; \quad R(\varphi; \pi) = RW = const.$$

Функции  $Q_i(\varphi)$  и  $T_i(\theta)$  в формуле (1) представим конечным рядом

$$\begin{aligned} Q_i(\varphi) &= A_0^{(i)} + \sum_{j=1}^{mF} A_j^{(i)} \cos j\varphi + B_j^{(i)} \sin j\varphi \\ T_i(\theta) &= C_0^{(i)} + \sum_{j=1}^{mF} C_j^{(i)} \cos j\theta + D_j^{(i)} \sin j\theta \end{aligned} \quad (2)$$

Если в (1)  $m1 = 1$ , а в (2)  $mF$  принимает последовательно значения 1 или 2, также учитывая граничные условия получим аналитическое выражение:

$$R = R(\varphi; \theta) = \sum_{j=1}^m A_j W_j(\varphi; \theta), \quad (3)$$

где  $A_j$  – коэффициенты, для определения положения внешней поверхности тела.  $W_j = W_j(\varphi; \theta)$  – функции (4).

$$\begin{aligned} W_1 &= 1; & W_2 &= \cos \theta; & W_3 &= \cos \varphi \sin \theta; & W_4 &= \sin \varphi \sin \theta, \\ W_5 &= \sin \theta; & W_6 &= \cos 2\theta; & W_7 &= \sin 2\theta; & W_8 &= \sin 2\varphi \sin \theta; \\ W_9 &= \cos 2\varphi \cdot \sin \theta; & W_{10} &= \sin \varphi \sin 2\theta; & W_{11} &= \cos \varphi \sin 2\theta; \\ W_{12} &= \sin 2\varphi \sin 2\theta; & W_{13} &= \cos 2\varphi \sin 2\theta. \end{aligned} \quad (4)$$

Варьируя параметрами  $mF$  и  $m$ , получаем различные подклассы звездных тел.

#### Постановка задачи.

*Площадной вариант.* Пусть задано аномальное поле, представленное тремя составляющими вектора напряженности внешнего магнитного поля:

$$Un(x_i, y_i, z_i) = Un(i) = [Tnx(i); Tny(i); Tnz(i)], \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

В интерпретационном процессе участвуют скалярные функции – вертикальная составляющая и модуль горизонтальной составляющей вектора напряженности внешнего магнитного поля

$$Zn(i) = Tnz(i); \quad H(i) = (Tnx(i)^2 + Tny(i)^2)^{1/2}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

Требуется найти такие теоретические функции, которыми можно аппроксимировать исходное поле (6).

Функции (6) представим полем некоторой совокупности  $jk$  однородно намагниченных звездных тел. Каждое тело звездно относительно своего центра и ограничено внешней замкнутой поверхностью, которая определена аналитическим выражением (3). Общая геологическая модель определена такой последовательностью параметров:

$$P = \{jk; [(x_o; y_o; H_o)_i], [(l; A_j, j = 1, 2, \dots, m)_i], [(I_x; I_y; I_z)_i], t = 1, 2, \dots, jk\}, \quad (7)$$

где  $jk$  – количество элементарных тел;  $(x_o, y_o, H_o)$  – центры звездности тел;  $l$  – количество параметров, определяющих внешний контур тела, принимает одно значение из фиксированной области  $5 \leq l \leq 13$ ;  $A_j$  – коэффициенты, для определения положения внешней поверхности тела;  $(I_x; I_y; I_z)$  – составляющие вектора интенсивности намагничивания.

Данный модельный класс относится к таким, где требуется постулирование положения внутренней точки аномального источника. Оценочные характеристики определяющие положение центра звездности намагниченного тела, можно получить, предварительно решив обратную задачу в классе стержневых тел [2, 3]. Каждое тело состоит из трех взаимно пересекающихся материальных стержней, характеризующихся последовательностью параметров:

$$P = \{m, (c_x, c_y, h)_j; (2t_x, 2t_y, 2t_z)_j; (I_x, I_y, I_z)_j\}, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (8)$$

где  $m$  – количество элементарных тел,  $(c_x, c_y, h)$  – центры тяжести тел,  $(2t_x, 2t_y, 2t_z)$  – длины стержней,  $(I_x, I_y, I_z)$  – составляющие вектора интенсивности намагничения стержневых масс.

При решении центры симметрии стержневых тел могут определять центры достаточно сложных геологических объектов, в нашем случае трехмерных звездных тел.

Получены аналитические выражения для вычисления теоретического поля – вертикальной и модуля горизонтальной составляющих:  $Zt(i, P)$ ; и  $Ht(i, P)$ .

Решение обратной задачи. Интерпретатор анализирует аномальное поле, изучает все априорные сведения о строении района и составляет начальную геологическую модель, которая описывается параметрами (7), и позволяет вычислить теоретическое поле.

Сопоставив между собой исходное и теоретическое поля, получим массив невязок

$$\varepsilon_i = Wn(i) - Wt(i, P).$$

Необходимо, среди всех возможных значений параметров модели, выбрать такой вектор  $P^*$ , который бы минимизировал массив невязок  $\varepsilon_i$ .

Решение обратной задачи сведено к минимизации специально построенных функционалов. Интерпретационная задача сводится к минимизации многопараметрического функционала. Используем для этого градиентный метод скорейшего спуска.

Модельный пример. Исходное аномальное поле представлено вертикальной составляющей вектора напряженности внешнего магнитного поля – (рис.1).

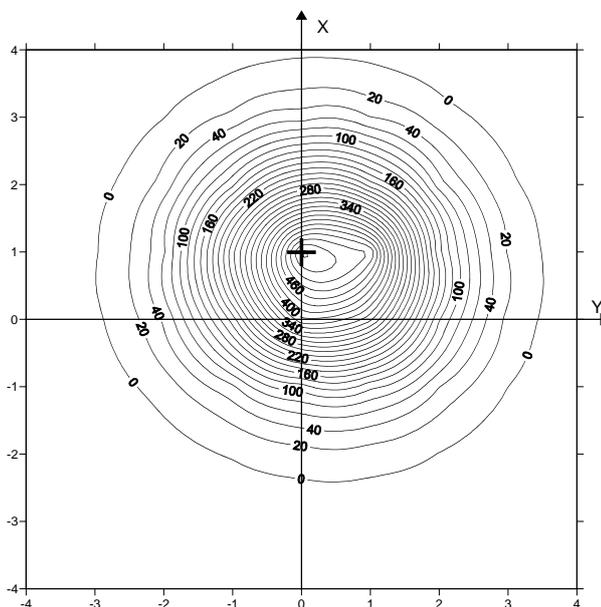


Рис. 1. Исходное магнитное поле представленное вертикальной составляющей вектора напряженности магнитного поля.

Решается обратная задача. Поле аппроксимировано полем модели, состоящей из одного звездного тела. Оценочные характеристики, определяющие положение центра звездности тела получены при решении обратной задачи в классе стержневых тел. Составляющие вектора интенсивности намагничения закреплены. Решена обратная трехмерная задача. В

результате решения были получены коэффициенты  $A_j$ , для определения конфигурации намагниченного тела. Точность подбора характеризуется  $\Delta_{\max} = 0.452 \text{ нТл}$  - максимальное значение невязки полей,  $\Delta_{\text{ср.}} = 0.06 \text{ нТл}$  - модуль средней невязки. На рис. 2 представлены сечения тела координатными плоскостями  $z = 0$ ,  $x = 0$ ,  $y = 0$ .

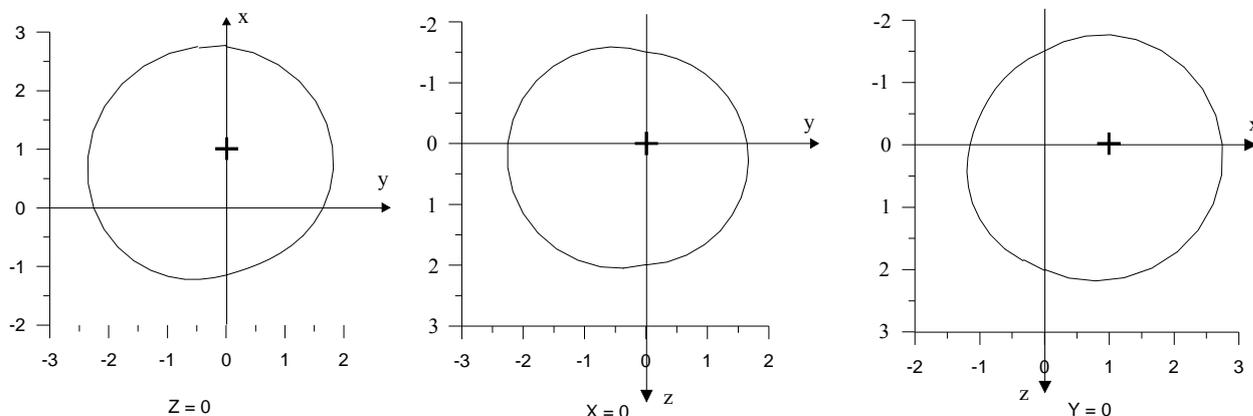


Рис. 2. Сечения тела координатными плоскостями.

Рассмотренная аналитическая аппроксимация исходного магнитного поля позволяет детально и компактно описать реальную геологическую среду, определить конфигурацию и местоположение аномалиеобразующих объектов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Булах Е.Г. Автоматизированная система интерпретации гравитационных аномалий. – К.: Наукова думка, 1973. –108 с.
2. Булах Е.Г., Лапина Е.П. Обратные задачи магнитометрии в классе стержневых тел в связи с построением аналитической модели исходного поля // Геофизический журнал. – 2002. – Т.24, №4. - С. 60 – 70.
3. Булах Е.Г., Лапина Е.П. К вопросу о построении аналитической модели внешнего магнитного поля // Геофизический журнал. – 2008. – Т.30, №2. - С. 42 – 50.
4. Булах Е.Г., Маркова М.Н., Лапина Е.П. Прямая и обратная задачи магнитометрии для совокупности трехмерных звездных тел класса А.Н. Тихонова // Физика Земли. – 2009. – № 2 - С. 88 – 96.

\*\*\*\*\*

УДК 550.831

#### Особенности применения для ограниченных площадей различных методов трансформации геофизических полей

*П.С. Мартышко, 267-88-66, факс. 267-88-72, [pmart3@mail.ru](mailto:pmart3@mail.ru)*

*В.А. Пьянков, тел./факс 267-88-72, [v\\_pyankov@mail.ru](mailto:v_pyankov@mail.ru)*

*Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия.*

Нами предпринята попытка использовать методику факторного анализа для разделения магнитного поля, созданного системой крутопадающих аномальных объектов, расположенных друг под другом. Ранее методы факторного анализа успешно применялись при статистической обработке геолого-геофизической информации. Достаточно подробно плюсы и минусы такого применения проанализированы В.Н. Страховым [1]. Чтобы показать особенности применения методики факторного анализа при интерпретации потенциальных полей, попытаемся раскрыть сущность этой методики.

Факторный анализ представляет собой набор моделей и методов, предназначенных для сжатия информации, содержащейся в исходной матрице, из которой формируется матрица коэффициентов корреляции  $r_{ij}$ . Пирсон предложил эвристический метод сжатия большого массива информации с одновременным выделением максимальной дисперсии, а позднее Хотеллинг развил эту идею, создав метод главных компонент [2].

$$z_j = a_{j1}F_1 + a_{j2}F_2 + \dots + a_{jn}F_n \quad (1),$$

где каждый из наблюдаемых параметров линейно зависит от  $n$  некоррелированных между собой новых компонентов (факторов)  $F_1, F_2, \dots, F_n$ .

Поскольку элементами, используемыми в вычислениях, являются коэффициенты парной корреляции, то рассмотрим сущность этих коэффициентов. Известно, что произведение матрицы  $Z$  на транспонированную  $Z'$  равно произведению корреляционной матрицы  $R$  на скаляр  $N$ :

$$ZZ' = NR \quad (2)$$

Из этого следует: если  $m$  – ранг матрицы  $Z$ , то ранг матрицы  $R = ZZ'$  равен также  $m$ . Иными словами, ранг корреляционной матрицы равен рангу матрицы наблюдаемых данных. В работе [2] сформулировано более сильное утверждение относительно взаимосвязи между двумя матрицами (в том числе между матрицей вычисленных коэффициентов корреляции и факторной матрицей).

*Теорема 1. Если  $Z$  есть  $n \times N$  – матрица ранга  $m$  с действительными элементами, то  $ZZ' = R$  является положительно полуопределенной симметрической матрицей Грама ранга  $m$ .*

Таким образом, любое свойство параметров, связанное с рангом матрицы  $Z$ , может быть установлено и с помощью матрицы  $R$ . А  $n$  параметров могут быть выражены как линейные комбинации не менее чем  $m$  факторов, где  $m$  – ранг корреляционной матрицы параметров. Набор из  $n$  параметров можно анализировать в терминах общих факторов (тогда на главной диагонали матрицы  $R$  стоят единицы). В этом случае, как сказано выше,  $R$  есть матрица Грама, а факторное решение

$$z = A f \quad (3)$$

дается в терминах  $n$  общих факторов. Поскольку здесь  $A$  есть квадратная невырожденная матрица, то она имеет обратную матрицу. Поэтому искомые факторы определяются просто:

$$f = A^{-1} z \quad (4)$$

*Это решение является точным и однозначным и не связано ни с какими «оценками».*

Таким образом, если мы проводим разделение магнитного поля методом главных компонент, то получаем для этого случая единственное решение. Хотя, естественно, для каждой составляющей поля (в рамках источниковых моделей) остаются свои эквивалентные решения.

Рассмотрим особенности применения факторного анализа при разделении магнитного поля крутопадающих аномальных объектов. Исследуем эффективность метода на примере магнитного поля железорудного месторождения Копотки (Казахстан) (рис. 1).

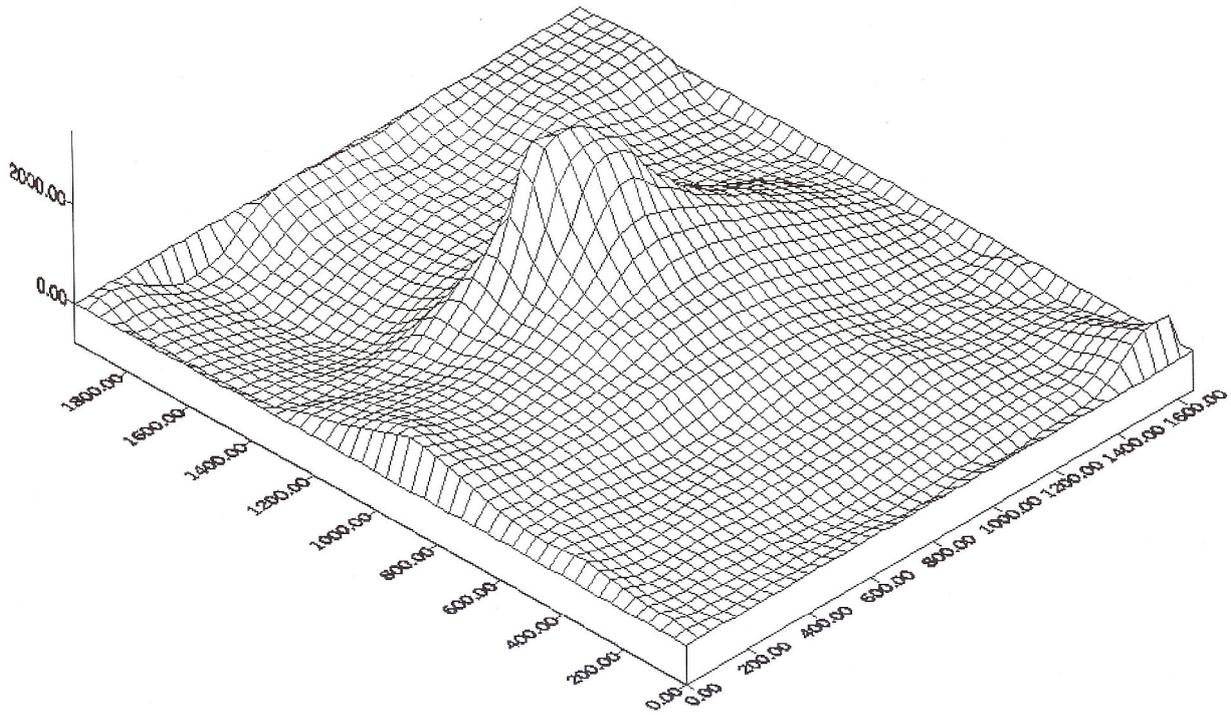


Рис. 1

Магнитное поле  $\Delta Z$  месторождения Копотки (данные Кусонского О.А.)

При разделении магнитного поля на составляющие получено двухфакторное решение. Пространственное распределение факторов изображено на рис. 2.

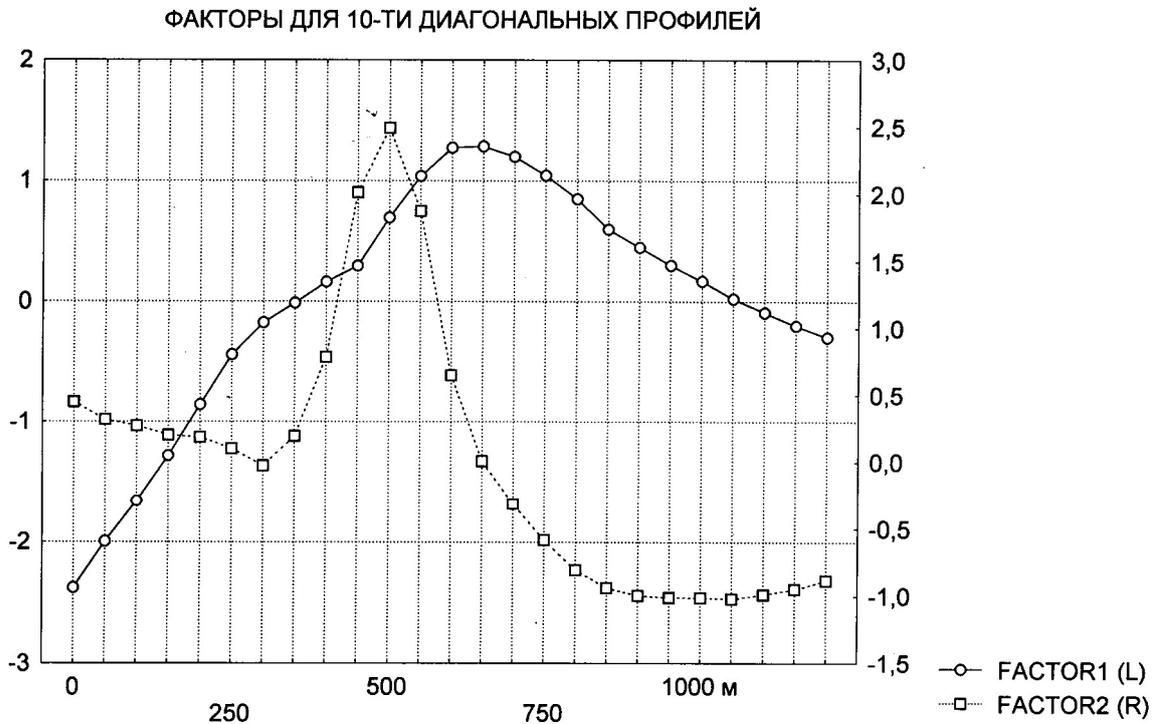


Рис. 2. Пространственное распределение факторов на месторождении Копотки.

Получена матрица факторных нагрузок. Таким образом, произведено разделение магнитного поля на 2-е составляющие, отражающие влияние как приповерхностного (до 200 м), так и глубинного объектов.

Для сравнения проведен пересчет поля на разные высоты [3] с целью разделения источников магнитного поля. Для решения этой задачи применялась следующая методика. Поле сначала продолжалось вверх на уровень  $H$ , при этом влияние приповерхностных источников если и не устраняется совсем, то значительно ослабевает. Далее пересчитанное вверх поле продолжается вниз на глубину  $H$ . Считается, что в этом случае мы окончательно избавляемся от влияния источников в слое  $(0, H)$ . Все дело в том, что, во-первых, необходимо знать высоту пересчета  $H$ , во-вторых, эта методика хороша для структурных задач. В нашем случае всегда получалось, что поле приповерхностных источников суммировалось с частью глубинной составляющей магнитного поля, т.е. происходило сглаживание, а не разделение поля (рис.3).

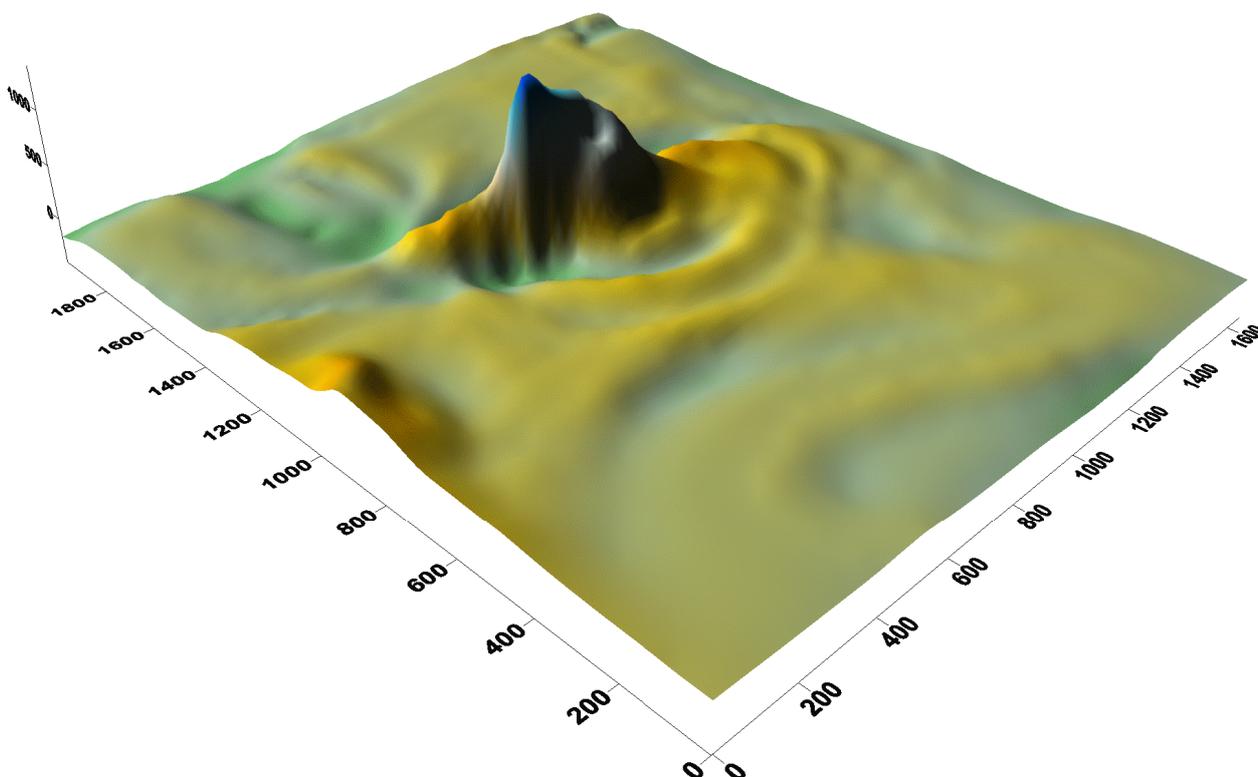


Рис.3. Магнитное поле от слоя  $(0, -200 \text{ м})$ .

Таким образом, методика факторного анализа показала высокую эффективность при разделении магнитного поля крутопадающих аномальных объектов. Что существенно, нет необходимости в априорной информации о глубине залегания тел.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аронов В., Страхов В.Н. О применении факторного анализа в геологии// Геология и геофизика. 1985. №8. С. 133-142.
2. Харман Г. Современный факторный анализ. М.: Статистика, 1972. 350 с.
3. Мартышко П.С., Пруткин И.Л. Технология разделения источников гравитационного поля по глубине// Геофизический журнал. Т.25. №3. 2003. С. 159-168.

\*\*\*\*\*