

**Санкт-Петербургский  
государственный  
университет**

**Евро-Азиатское  
геофизическое общество  
(Санкт-Петербургское отделение)**

**ФГУНПП “Геологоразведка”**



**5 - 9 октября 2015  
Санкт-Петербург  
(Петергоф)**



**ТЕЗИСЫ  
ДОКЛАДОВ  

---

ABSTRACTS**

Санкт-Петербургский государственный университет  
Евро-Азиатское геофизическое общество —  
Санкт-Петербургское отделение  
Федеральное государственное унитарное научно-производственное  
предприятие «Геологоразведка»

«ГЕОФИЗИКА-2015»

X МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ  
КОНКУРС–КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ  
СПЕЦИАЛИСТОВ

5–9 октября 2015 г.

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

“GEOPHYSICS-2015”

IX INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL  
CONFERENCE-COMPETITION OF YOUNG  
SPECIALISTS

October 5–9, 2015

ABSTRACTS

Санкт-Петербург

Г36

Г36      **Геофизика-2015.** X Международная научно-практическая конкурс-конференция молодых специалистов. Тезисы докладов. — СПб.: СПбГУ, Изд-во ВВМ, 2015. —149 с.

ISBN 978-5-9651-0923-4

*I СЕКЦИЯ*

*ФИЗИКА ЗЕМЛИ*

*I SECTION*

*PHYSICS OF THE EARTH*

**ОСОБЕННОСТИ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ И ПРОЯВЛЕНИЕ В  
ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЯХ РЕГИОНАЛЬНЫХ СДВИГОВЫХ ГРАНИЦ.  
СРАВНЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОРФОЛОГИИ  
ТРАНСФОРМНОГО РАЗЛОМА САН-АНДРЕАС И БАЙКАЛО-СТАНОВОГО  
ХРЕБТА**

*Агеев А. С. (Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия)*

Изучение строения и тектонической эволюции сдвиговых разломных зон является важной составляющей любых современных геологических исследований. Результаты исследований последних лет существенно изменили представления о роли сдвиговых нарушений в структурной эволюции литосферы. Прогресс в понимании роли сдвигов в структурной и вещественной эволюции геологической среды дополняется переосмыслением базовых проблем собственно сдвиговой тектоники в контексте современных геодинамических представлений. Важнейшая из них – это проблема кинематики сдвиговых зон, которая, как показали исследования вначале трансформных, а затем и некоторых других типов сдвигов, резко отличается от традиционной кинематики сколов.

Зонами исследований, представленными в работе, является трансформный разлом Сан-Андреас, Байкало-Становая сдвиговая зона. Интерес представляют параметры глубинного строения вышеуказанных областей. Будут приведены и проанализированы материалы, полученные по результатам магнитометрических, гравитационных съемок и сейсморазведки МОВ-ОГТ и ГСЗ. Работа формировалась на основании отчета группы авторов ФГУП СНИИГГиМС, ФГУП ВСЕГЕИ «Создание опорного геолого-геофизического профиля 3-ДВ (Южный участок)» и исследования Романюк Т.В. – ИФЗ РАН.

В настоящее время широко распространенным является тектонофизический подход, который развивается в работах Н. Павони (1964), М.Н. Гзовского (1975), С.И. Шермана и его сотрудников и других отечественных и зарубежных исследователей. В рамках этого подхода сдвиги рассматриваются как структурные проявления специфических сдвиговых полей напряжений, возникающих за счет как глобальных механизмов, так и локальных факторов, существующих наряду с полями напряжений сжатия и растяжения.

В первой части работы будет рассмотрена система разломов Сан-Андреас. Благодаря исследованиям Романюк Т.В. и др мы можем обобщить основные результаты, полученные при анализе параметров морфологии региона и охарактеризовать модель региональной сдвиговой структуры, находящейся на данном этапе развития.

В зоне разлома Сан-Андреас был проведен широкий комплекс геолого-геофизических исследований. Анализируя полученные данные, можно сделать вывод о глубинном строении активной системы разломов. Сан-Андреас- это общепризнанная, сформированная и развивающаяся граница между Тихоокеанской и Северо-Американской литосферными плитами. Система имеет протяженность 1300 км и ширину до 300 км. Главный глубинный разлом простирается на глубину до 25 км, амплитуда смещения достигает 300 миль (482 км). Главный шов имеет набор оперяющих

дислокаций, которые включают разломы меньшего ранга и распространяются до 60 км от него. Мощность границы М увеличивается в направлении от океана к континенту. Листрические разломы, ограничивающие осадочные бассейны выполаживаются на глубинах 5-7 км. Системы разломов, в которых локализируются сейсмические очаги выполаживаются на глубинах, соответствующих нижней, реке средней коре – 20-25 км. Хрупо-пластичный переход в земной коре находится на глубинах 20-25 км. В этом слое располагаются гипоцентры главных землетрясений региона. Бурение в зоне активного разлома показало, что сдвиговые процессы происходят в настоящее время.

Вторая часть работы будет посвящена Байкало-Становому нагорью. Именно в этом регионе по представлению Дмитрия Васильевича Рундквиста формируется граница Евразийской и Северо-Китайской литосферных плит. Анализируя основные параметры глубинного строения вдоль профиля 3-ДВ (Южный участок), можно сделать следующие выводы:

Главная шовная структура не была выявлена. Наблюдается большое количество различных разломных систем. Общая структура позволяет говорить о Байкало-Становой сдвиговой зоне, как о границе литосферных плит, находящейся на раннем этапе своего развития. Поверхность Мохоровичича прослеживается на глубинах от 38 до 46 км. По данным МОВ-ОГТ волновое поле в разрезе профиля в пределах зоны характеризуется динамической невыдержанностью элементов сейсмической записи, присутствием частых разрывов в корреляции, наличием крутопадающих отражающих элементов различной протяженности и направления, которые позволяют выделить зоны тектонических нарушений по латерали. Поле силы тяжести и магнитное поле хорошо отображают зоны разломов вдоль профиля. Листрические разломы выполаживаются в пределах глубин средней и нижней коры (25-30 км), что весьма неплохо коррелируется с глубинами Верхоянской сдвиговой зоны и зоны разлома Сан-Андреас. Анализ соотношения продольных и поперечных скоростей позволил выявить интересную закономерность относительно распределений значений на глубинах 25-30 км. Возможно, что в этом слое располагается хрупо-пластичный переход.

Проанализировав глубинное строение и морфологию каждого из регионов, можно выделить как схожие черты, так и некоторые различия. Но, несмотря на большое количество полученной информации остаются вопросы, на которые пока что ответа не было дано и, следовательно, предоставляется возможность для дальнейших исследований.

**FEATURES OF THE DEEP STRUCTURE AND EXPRESSION IN THE FIELDS OF REGIONAL GEOPHYSICAL SHIFT BOUNDARIES. COMPARISON OF THE MAIN PARAMETERS OF THE MORPHOLOGY TRANSFORM THE SAN ANDREAS FAULT AND THE BAIKAL-STANOVOY RANGE**

*Ageev A. S.*

The study of the structure and tectonic evolution of the shear fracture zones is an important component of any modern geology. Areas of research presented in the paper is a transform fault of San Andreas, the Baikal-Stanovoy shear zone. Of interest are the parameters of the deep structure of research. The first part of the system will be considered the San Andreas Fault. Through research we can summarize the main results obtained by analyzing the parameters of morphology of the region. The second part will be devoted to the Baikal-the backbone. After analyzing the deep structure and morphology of each of the regions can be distinguished as the similarities and some differences. But despite the large amount of information received are questions to which so far no answer has been given, and therefore the opportunity for further research.

Научный руководитель: Егоров А. С., декан геологоразведочного факультета, заведующий кафедрой ГФХМР, НМСУ «Горный».

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОКИСЛОВ АЗОТА И  
ОЗОНА С УЧЕТОМ ВСПЫШЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ**

*Ахмадиев Р. Ш.* (Российский государственный гидрометеорологический университет,  
Санкт-Петербург, Россия)

Данная работа посвящена исследованию одной из мощнейших солнечных вспышек, которая произошла в январе 2005 года. Эта солнечная вспышка относится к классу редких солнечных событий, которые зафиксированы нейтронными мониторами на Земле. Анализ этого события выявил качественные и количественные изменения в химическом составе верхней атмосферы Земли после солнечной вспышки. Для данного анализа использовалась химико-климатическая модель SOCOL 2.0. (Solar Climate Ozone Links) – модель для изучения воздействия солнечной активности на озон и климат Земли. В качестве основных результатов исследования представлены вариации ежедневных профилей  $O_3$ ,  $NO_2$  и  $NO$  для высокоширотной полярной атмосферы Северного полушария Земли в зимний период.

**SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION OF NITROGEN OXIDES AND  
OZONE DURING SOLAR PROTON EVENTS**

*Akhmadiev R. Sh.*

This work is devoted to the study of one of the most powerful solar eruption that occurred in January 2005. This solar flare is classified as rare solar events that detected by neutron monitors on the Earth. Analysis of this event showed qualitative and quantitative changes in the chemical compositions of upper atmosphere of the Earth after the solar eruption. For this analysis, there was used the chemical-climate model SOCOL 2.0. (Solar Climate Ozone Links) – a model to study the effects of solar activity on ozone and Earth's climate. The main results of the study are presented as variations of daily profiles  $O_3$ ,  $NO_2$  and  $NO$  over high-latitude polar atmosphere during the Northern Hemisphere winter.

**МЕТОДИКА УТОЧНЕНИЯ ПЛОТНОСТНОЙ 3D МОДЕЛИ ВЕРХНЕЙ МАНТИИ С УЧЕТОМ УСЛОВИЯ ИЗОСТАТИЧЕСКОЙ КОМПЕНСАЦИИ НА ГЛУБИНЕ**

*Бызов Д. Д.* (Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия)

*Цидаев А. Г.* (Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия)

**Введение**

Процесс построения плотностных моделей по аномалиям гравитационного поля сводится к решению прямых и обратных задач гравиметрии. В классически некорректной постановке обратная задача гравиметрии обладает множеством неустойчивых решений [1]. Для повышения устойчивости и снижения неоднозначности метода гравитационного моделирования необходимо привлекать плотностные модели начального приближения. Такие «нулевые» модели строятся по сейсмическим профилям и должны отражать характерные (интегральные) закономерности распределения плотности, а соответствующее им аномальное гравитационное поле, лишь в основных чертах, повторять морфологию наблюдаемых аномалий [2].

Ранее коллективом авторов в работе [3] была разработана оригинальная поэтапная методика для построения двумерных слоисто-блоковых плотностных моделей вдоль исследуемых профилей с использованием сейсмических разрезов различной протяженности и глубины. В данной работе предлагается развитие указанной методики для уточнения строения верхней мантии в трехмерной слоисто-блоковой модели. Блоки ниже границы Мохоровичича выделяются исходя из условия изостатической компенсации на глубине 80 км. Применяемый математический аппарат опирается на решение прямых задач гравиметрии. Все этапы вычислений проводились созданным авторами пакетом прикладных программ, исключающих влияние субъективного фактора интерпретации на всех этапах промежуточных расчетов. Последнее немаловажно для геолого-геофизического анализа полученных результатов. Методика применена для уточнения трехмерной плотностной модели строения Тимано-Печорской плиты (в рамках трапеции с координатами 48°-62° В.Д., 60°-67° С.Ш.) с однородной верхней мантией, построенной в лаборатории математической геофизики ИГФ УрО РАН [4]. Также в качестве исходной информации нами были использованы карта аномалий гравитационного поля в редукции Буге и положение границы Мохоровичича для заданной области.

**Методика выделения блоков в верхней мантии исходя из условия изостатической компенсации на глубине.**

Для описанной модели с однородной мантией на каждой глубине  $h$  рассчитано отклонение  $\Delta P(x, y, h)$  литостатического давления  $P(x, y, h)$  от его среднего значения  $\bar{P}(h)$  на этом уровне по формулам:

$$\Delta P(x, y, h) = P(x, y, h) - \bar{P}(h) = g_a \int_h^0 \Delta \sigma(x, y, z) dz$$

$$P(x, y, h) = g_a \int_h^0 \sigma(x, y, z) dz$$

$$\bar{P}(h) = \frac{1}{\|S\|_S} \int P(x, y, h) dS = \frac{g_a}{\|S\|_S} \int \int_h^0 \sigma(x, y, z) dz dS = g_a \int_h^0 \bar{\sigma}(z) dz$$

$$\bar{\sigma}(z) = \frac{1}{\|S\|_S} \int \sigma(x, y, z) dS$$

$$\Delta \sigma(x, y, z) = \sigma(x, y, z) - \bar{\sigma}(z),$$

где  $g_a = 9,80665 \text{ м/с}^2$  – среднее значение ускорения свободного падения,  $\sigma(x,y,h)$  – значение плотности в соответствующей точке 3D модели,  $S$  – проекция исследуемой трехмерной области на земную поверхность,  $\|S\|$  – её норма (площадь),  $\bar{\sigma}(z)$  – среднее значение плотности модели на соответствующей глубине,  $\Delta\sigma(x,y,z)$  – отклонение плотности от её среднего значения на глубине.

В качестве дополнительного граничного условия для построения блоков в верхней мантии использовалось условие изостатической уравновешенности модели на глубине  $h_i = -80 \text{ км}$ . На уровне изостатической компенсации латеральных изменений давления быть не может, т.е. в уравновешенной модели

$$\Delta P(x,y,h_i) = 0 \quad (1)$$

Для построения такой модели с изменением только верхов мантии была введена функция-компенсатор  $\rho(x,y)$ , которая показывает, какое значение плотности нужно вычесть из мантии (т.е. из слоя между границей М и уровнем  $h_i$ ), чтобы на глубине  $h_i$  выполнялось условие (1). Пусть  $\Delta P_{\text{hom}}$  и  $\Delta\sigma_{\text{hom}}$  – отклонения литостатического давления и плотности от их средних значений на глубине для модели с однородной мантией, тогда при изменении плотности в мантии на  $\rho(x,y)$ , аномальное литостатическое давление на глубине  $h_i$  в новой модели будет равно

$$\Delta P(x,y,h_i) = \Delta P_{\text{hom}}(x,y,h_i) - g_a(h_m(x,y) - h_i)\rho(x,y),$$

где  $z = h_m(x,y)$  – уравнение границы М. Из условия (1):

$$\rho(x,y) = \frac{\Delta P_{\text{hom}}(x,y,h_i)}{g_a(h_m(x,y) - h_i)} = \frac{1}{(h_m(x,y) - h_i)} \int_{h_i}^0 \Delta\sigma_{\text{hom}}(x,y,z) dz$$

При помощи вычисленной таким образом  $\rho(x,y)$  из модели с однородной мантией была построена идеально скомпенсированная на глубине 80 км трехмерная плотностная модель, при этом невязка модельного и наблюдаемого полей уменьшилась по сравнению с аналогичной невязкой для исходной модели с однородной мантией. Однако, распределение плотности в верхах мантии получившейся модели очень неоднородно и никак не соотносится с действительностью. Чтобы исправить этот недостаток, ниже М модель была разбита на несколько блоков вертикальными границами, внутри которых было проведено усреднение плотности. Границы разбиения выбирались по нулям функции  $\rho(x,y)$  с тем расчетом, чтобы получившиеся блоки не имели слишком малые размеры. Невязка модельного и наблюдаемого полей и отклонение литостатического давления на глубине изостатической компенсации после этой операции мало изменились по сравнению с идеально скомпенсированной моделью.

### Заключение

В работе представлена методика трехмерного гравитационного моделирования, позволяющая унаследовать основные структурные особенности исходной модели разреза (построенной, например, по сейсмическим данным), при этом различная априорная информация (структурные границы, начальное распределение плотности, ограничения на него накладываемые) учитывается в начальной модели. Также методика позволяет добиться хорошего соответствия наблюдаемого и модельного гравитационных полей; изменять блочную структуру модели ниже определенной границы исходя из условия изостатического равновесия на заданной глубине и в достаточной степени уменьшить аномалии литостатического давления на ней. Все разработанные алгоритмы реализованы в прикладных программах для современных вычислительных систем. Для исходной трехмерной плотностной модели Тимано-Печорской плиты выбором конфигурации блоков верхней мантии удалось с хорошей точностью выполнить условие изостатического равновесия на глубине 80 км.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 14-05-31083.

**Список использованной литературы**

1. Страхов В. Н. К вопросу о единственности решения плоской обратной задачи теории потенциала // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1972. № 2. С. 38-49.
2. Мартышко П. С., Дружинин В. С., Начапкин Н. И., Ладовский И. В., Бызов Д. Д., Осипов В. Ю., Цидаев А. Г. Схематическое тектоническое районирование Уральского региона на основе разработанных алгоритмов и методики создания объемной геофизической модели верхней части литосферы // Литосфера. 2012. № 4. С. 208-218.
3. Бызов Д. Д., Цидаев А. Г. Методика построения 2D плотностной модели верхней мантии с учетом условия изостатической компенсации на глубине // Уральский геофизический вестник. №1(25),2015. С. 33-36.
4. Мартышко П. С., Ладовский И. В., Колмогорова В. В., Цидаев А. Г., Бызов Д. Д. Применение сеточных функций в задачах трехмерного плотностного моделирования // Уральский геофизический вестник. № 1. (19). 2012. С. 30-34.

**METHOD FOR 3D DENSITY REFINEMENT FOR UPPER MANTLE MODEL IN CONDITIONS OF ISOSTATIC COMPENSATION AT THE DEPTH**

*Byzov D.D.*

*Tsidaev A.G.*

In this paper, the methodology for three-dimensional block-layered density models refinement is presented. Blocks below the Mohorovičić discontinuity were allocated based on the condition of the isostatic compensation at a depth of 80 km. Using this technique the model for Timan-Pechora region with homogeneous mantle was improved. Obtained results show that the method could be successfully used for mantle blocks detection.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ РАСЧЛЕНЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА И ВЫДЕЛЕНИЯ ОРГАНОГЕННЫХ ПОСТРОЕК ПО ДАННЫМ ГИС НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТИМАНО-ПЕЧОРСКОЙ ПРОВИНЦИИ**

*Васильев Н. Я.* (ФГУНПП «Геологоразведка», Санкт-Петербург, Россия)

*Маркова С. И.* (ФГУНПП «Геологоразведка», Санкт-Петербург, Россия)

*Мясникова М. А.* (ФГУНПП «Геологоразведка», Санкт-Петербург, Россия)

*Яшина В. Н.* (ФГУНПП «Геологоразведка», Санкт-Петербург, Россия)

В карбонатных породах сосредоточено более 40% мировых запасов углеводородов. По всему миру открыты многочисленные месторождения нефти и газа, связанные с карбонатными коллекторами. Однако поиски, разведка и эксплуатация таких объектов значительно затруднены из-за их фациальной неоднородности, латеральной изменчивости, многообразия литолого-петрографических типов пород и непостоянства петрофизических свойств. Особые трудности с фациальной диагностикой возникают в разрезах скважин с низким выходом керна. Использование комплекса геологических (седиментологических, биостратиграфических, литолого-петрографических, фациальных) и геофизических методов исследований при корреляции и расчленении карбонатных разрезов по данным ГИС, позволяет решать ряд этих задач. На примере силурийско-девонской терригенно-карбонатной толщи, вскрытой скважинами на месторождениях в северо-восточной части Хорейверской впадины Тимано-Печорской провинции, рассмотрены методические приемы расчленения карбонатных толщ и выделения органо-генных построек с использованием данных геофизических исследований скважин.

Изучение строения силурийско-девонской терригенно-карбонатной толщи проводилось на основании литолого-петрографических и детальных седиментологических исследований кернового материала по скважинам с использованием комплекса ГИС, а также с привлечением данных одномерного сейсмического моделирования [Енгальцев, 1989] и фильтрационно-емкостных свойств.

На исследуемой территории скважинами вскрыты карбонатные и терригенно-карбонатные отложения нижнего-верхнего силура и нижнего-верхнего девона. Детальные литолого-фациальные исследования изучаемых отложений выявили сложное строение разреза и их разнофациальный состав, а также позволили проследить этапы формирования органо-генных построек в течение силурийско-девонского времени.

Особое внимание уделялось выделению органо-генных построек, с которыми связаны улучшенные коллекторы. Определение построек производилось по керновым данным: наличию организмов, способных создавать жесткий каркас (кораллы, строматопоры, водоросли), а также по содержанию нерастворимого глинистого остатка (н.о.) в биогермных породах (менее 5%), что фиксируется на диаграммах гамма-каротажа.

В интервалах скважин, не охваченных керновым материалом, выделение литологических типов и фаций устанавливалось по анализу кривых каротажных диаграмм. Наибольшую информативность для этих целей имеют диаграммы радиоактивного каротажа (ГК и НГК). Этот комплекс ГИС был определен И. Е. Постниковой и В. Г. Постниковым [1980] при изучении карбонатных комплексов, как наиболее оптимальный, позволяющий с наибольшей достоверностью различать литологические особенности карбонатного разреза.

В первую очередь расчленение разреза производилось на более крупные литологические классы: карбонатные, глинистые и смешанного состава (карбонатно-глинистые и глинисто-карбонатные) породы. За основу для дифференциации разреза были взяты нормированные показания кривой гамма каротажа ( $\Delta$ ГК) и данные по нерастворимому остатку, которые сопоставлялись с данными полученными при исследовании керна. Переход к нормированным значениям производился с целью исключения изменчивости показаний кривой, получаемых от одного геологического тела в разных

скважинах, ввиду меньшей зависимости  $\Delta GK$  от условий измерения [Горбачев, 1990] и других факторов.

Нормирование кривой  $GK$  производилось по каждой скважине в пределах изучаемого разреза, по формуле:

$$\Delta GK = \frac{GK - GK_{\min}}{GK_{\max} - GK_{\min}},$$

где  $GK_{\max}$  – максимальное значение кривой гамма каротажа, соответствующее глинистым породам тиманского горизонта,  $GK_{\min}$  – минимальное значение кривой гамма каротажа, соответствующее наиболее чистым карбонатам в ядерных частях органогенных построек.

Полученная кривая  $\Delta GK$  имеет диапазон значений от 0 до 1, при этом нулевое значение кривой  $\Delta GK$  приравнивается к минимальному содержанию нерастворимого глинистого остатка (н.о.) в породе, а 1 – к максимальному.

Чистыми карбонатными породами считались породы с содержанием н.о. не более 5%. Анализ зависимости содержания глинистого материала от значений кривой  $\Delta GK$ , для каждой скважины, показал, что такому количеству н.о. соответствуют показания кривой  $\Delta GK < 0.2$  у.е.

Для выделения в разрезе интервалов глин, в качестве эталона принимались ар-гиллиты в подошве тиманского горизонта (D3tm), для которых по каждой скважине производилась выборка значений кривой  $\Delta GK$  и были построены гистограммы распределения. В качестве исходного значения для выделения глинистых пород принималось наиболее часто встречающееся значение (Мода) кривой  $\Delta GK$ . Так как естественная радиоактивность глин может существенно отличаться по разрезу, было введено допущение равное одному стандартному отклонению, которое позволило учесть такую изменчивость. В итоге расчет граничного значения для выделения глинистой части разреза по каждой скважине производился по следующей формуле:

$$\Delta GK_{\text{глин}} = \text{Мода}^{\Delta GK} - \sigma^{\Delta GK},$$

где  $\text{Мода}^{\Delta GK}$  – наиболее часто встречающееся значение кривой  $\Delta GK$  в эталонном интервале,  $\sigma^{\Delta GK}$  – стандартное отклонение выборки.

В результате анализа ГИС исследуемых скважин разработаны критерии выделения пород по кривой  $\Delta GK$ , преимущественно карбонатной ( $\Delta GK < 0.2$  у.е.), преимущественно глинистой ( $\Delta GK > 0,57$  у.е.) и глинисто-карбонатной ( $\Delta GK$  от 0.2 до 0,57 у.е.) части разреза.

Далее производился расчет граничных значений кривой  $\Delta GK$  для выделения в карбонатной части разреза органогенных построек.

Органогенные постройки, независимо от типа органического материала, характеризуются довольно низкими содержаниями нерастворимого глинистого остатка. Таким образом, более детальный анализ кривой  $\Delta GK$  и ее зависимость от фактических значений нерастворимого остатка, полученных лабораторным путем, позволит выделить органогенные постройки в разрезе скважин, не охваченном керновым материалом. Для анализа формировались выборки данных по интервалам органогенных построек, установленных по данным керна. В первую очередь, определялось фактическое содержание нерастворимого глинистого остатка. Анализ гистограмм распределения для интервалов органогенных построек показал, что преобладающее его значение не превышает 0,5% с редкими отклонениями до 1,5-2%, т.е. органогенные постройки в данном разрезе представлены довольно «чистыми» карбонатами. Рассмотрев зависимость содержания н.о. от показаний кривой  $\Delta GK$ , для карбонатной части разреза, удалось установить, что большая часть содержаний нерастворимого глинистого остатка менее 0,5%

соответствует значениям кривой ДГК  $< 0,15$  у.е., что также подтверждается гистограммами распределения показаний кривой ДГК для интервалов органогенных построек.

На основе данных нейтронного каротажа (НГК) и данных коэффициентов пористости полученных лабораторным путем, была сделана попытка выделить в интервалах с органогенными постройками их наиболее емкие (пористые) части. Нормирование кривой НГК осуществлялось для каждой скважины аналогично кривой ГК. При этом минимальные значения полученной кривой соответствовали интервалам глинистых пород, а максимальные – наиболее плотным карбонатным породам. Вычисленная нормированная кривая ДНГК получила диапазон значений от 0 до 1 у.е.

Анализ зависимостей кривой ДНГК от коэффициентов пористости производился по тому же принципу, что и для кривой ДГК. Были построены графики зависимостей и гистограммы распределений по интервалам органогенных построек для каждой скважины. В итоге для кривой ДНГК было установлено граничное максимальное значение равное  $0,35 \pm 0,03$ , при котором в карбонатных породах отмечались повышенные показания коэффициентов пористости. Широкий разброс полученной величины обусловлен высокой изменчивостью коэффициентов пористости как по разрезу, так и по площади.

На основе полученных граничных параметров кривых ДГК и ДНГК разрез каждой скважины, в изучаемом стратиграфическом интервале, дифференцирован на три литологических класса: глинистый, смешанный и карбонатный, с выделением в последнем интервалов развития органогенных построек, а также их наиболее пористых разностей.

Применение изложенной методики позволило уточнить строение и фациальную зональность силурийско-девонских отложений в пределах месторождений на изучаемой территории. Удалось выявить новые, а также скорректировать уже выявленные ранее тела органогенных построек и их перспективных частей.

### **Список использованной литературы**

1. Горбачев Ю. И. Геофизические исследования скважин: Учеб. для вузов/ Под ред. Е.В.Каруса. – М.: Недра, 1990. 398 с.
2. Енгальчев Э. А., Журавлева А. В., Танинская Н., В., Яковлева О. В. Создание геолого-петрофизической модели нефтеносного объекта на примере Оленьей площади Тимано-Печорской провинции // Развитие теории и методики создания геолого-петрографических моделей нефтеносных объектов различной генезиса с целью локального прогноза. Тр. ВНИГРИ, 1990. С. 98-118.
3. Постникова И. Е. Методы изучения карбонатных формаций платформенных областей.– М., Наука, 1988, 205 с.

### **INSTRUCTIONAL METHODS OF DISMEMBERMENT OF GEOLOGICAL CROSS-SECTION AND ALLOCATION OF ORGANOGENIC STRUCTURES BY WELL LOGGING ACCORDING TO THE EXAMPLE OF TIMAN-PECHORA PROVINCE'S FIELDS**

*Vasilev N. Y.*

*Markova S. I.*

*Myasnikova M. A.*

*Yashina V. N.*

The report reviews methods of dismemberment of carbonate cross-section and allocation of organogenic structures according to well log data, on the example of the Silurian-Devonian clastic-carbonate deposits in the Timan-Pechora province's fields. Carbonate rocks are characterized by facial heterogeneity, lateral variability and changeability of petrophysical properties. This fact makes difficult prospecting, exploration and exploitation of hydrocarbon

fields associated with carbonate deposits. One of the components of a successful solution of such problems is the discovery of organogenic structures and their most porous parts through the complex of geological and geophysical research methods during correlation and the dismemberment of the carbonate cross-sections by well logging.

**ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ  
ИМПАКТНЫХ ПОРОД АСТРОБЛЕМЫ ЯНИСЬЯРВИ**

*Горшкова Н. В.* (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия)

Интерес в изучении земных импактных структур (астроблем) значительно увеличился с тех пор, когда стали ясны геологические и биологические следствия импактных событий в эволюции Земли. Известно, что импактные структуры перспективны в плане содержания экономических ресурсов, таких как нефть, газ, алмазы, металлические руды, строительные материалы. Импактиты часто несут стабильную термоостаточную намагниченность, что может обеспечивать качество палеомагнитного результата.

Современная база данных по импактам Фенноскандии насчитывает около 30 достоверных импактных структур с диаметрами от 0,1 до 55 км и возрастом до 2,4 млрд. лет. Однако, многие из этих структур плохо датированы, а их морфологические характеристики изучены слабо [Abels et al., 2002].

В этой работе представлены новые данные о природе магнитных минералов-носителей естественной остаточной намагниченности образцов (зювитов и тагамитов) импактной структуры Янисьярви (РФ, Карелия) возрастом  $682 \pm 4$  млн. лет [Jourdan et al., 2008], полученные по температурным зависимостям магнитной восприимчивости (МВ).

Импактная структура (озеро) Янисьярви ( $N 61^{\circ}58'$ ,  $E 30^{\circ}58'$ ) расположена в российской Карелии в юго-восточной части Фенноскандинавского (Балтийского) щита, около 220 км севернее Санкт-Петербурга. По гравитационным данным диаметр структуры составляет около 14-16 км. Современная форма озера эллиптическая, а максимальная глубина составляет около 50 м, что нетипично для Карелии, где большинство озер вытянутые и мелкие благодаря их ледниковому происхождению. На батиметрической карте озера выделяется хребет высотой 20-30 м, простиранием СЗ-ЮВ, который проходит через центральную часть озера и образует 3 острова. На этих островах – Пиени-Селькясаари, Исо-Селькясаари и Хопесаари – находятся обнажения импактных пород (зювиты и тагамиты).

Импактное происхождение структуры было предположено в работе [Dence, 1971] на основе анализа спутниковых снимков. Обнаружение конусов разрушения и признаков плоской деформации кварца в образцах брекчий (остров Хопесаари) доказало импактное происхождение структуры. Также было показано, что химический состав пород мишени и импактных расплавленных пород (тагамитов) почти идентичен. Структура расположена на Балтийском щите близко к границе архейских и протерозойских пород. Архейский кристаллический фундамент, состоящий из гнейсового гранита и мигматитов, обнажается в 3-4 км к северу от озера и на северном берегу Ладожского озера. Импактные структуры Янисьярви расположены в протерозойских кристаллических сланцах. Основные минеральные фазы – это плагиоклаз, биотит, кварц с второстепенным мусковитом, гранатом, старволитом и кордиеритом.

Данные палеомагнитных исследований астроблемы Янисьярви представлены в работе [Salminen et al., 2006]. Были изучены тагамиты, зювиты и импактные брекчии. Показано наличие первичного многодоменного титаномагнетита и вторичных титаномагнетита и ильменогематита.

Изученная в данной работе коллекция образцов зювитов и тагамитов была отобрана сотрудниками Санкт-Петербургского государственного университета в рамках проекта СПбГУ «Экспедиция для проведения геофизических исследований на Восточно-Европейской платформе», шифр НИР 11.42.1314.2014.

Лабораторные исследования проводились на оборудовании Ресурсного центра СПбГУ «Геомодель». Использовался измеритель магнитной восприимчивости МФК1-ФА (для измерения магнитной восприимчивости и ее температурной зависимо-

сти в диапазоне от -196,5 до 700 °С). Измерения магнитной восприимчивости проводились в магнитном поле 200 А/м, чувствительность прибора при этом составляла  $3 \times 10^{-8}$  ед. СИ, температурный диапазон: от -196,5 °С (с криостатом CS-L) до 700 °С (с печью CS4). Была предложена следующая схема измерений. На первом этапе образец охлаждался до температуры жидкого азота, затем снималась кривая изменения МВ в процессе нагрева до комнатной температуры. На втором этапе восприимчивость измерялась в процессе нагрева и охлаждения образца от 20 °С до 700 °С в атмосфере аргона. В заключение повторялся цикл «охлаждение-нагрев» первого этапа (III этап). Такая методика позволяет по кривым зависимости МВ от Т анализировать не только начальные магнитные фазы образцов, но и контролировать возможные изменения магнитоминералогического состава в процессе нагревов. Всего было исследовано 28 образцов.

Абсолютная величина магнитной восприимчивости для изучаемой коллекции колеблется значительно, от 30 до  $160 \times 10^{-6}$  ед. СИ. Это говорит об очень неоднородном магнитоминералогическом составе образцов, т.к. МВ хотя и определяется, главным образом, содержанием включений ферромагнитных минералов, но на ее величину также влияет и форма и размер зёрен.

Далее, анализировались характерные особенности кривых зависимости МВ от температуры (резкий спад, рост, точки экстремумов). Кривые I этапа измерений (низкотемпературные) разделились на группы двух видов. На первых наблюдался значительный спад магнитной восприимчивости (до 80 % от начальной величины) в районе температуры -100 °С. При этом, характер таких кривых меняется при проведении измерений на III этапе на противоположный, т.е. магнитная фаза, отвечающая за спад намагниченности (предположительно гемоильменит), полностью исчезает при нагревах до 700 °С. Второй тип кривых демонстрирует рост МВ с температурой, при этом в некоторых случаях наблюдается экстремум (пик) в диапазоне температур -140 °С до -155 °С, что говорит о присутствии в образцах магнетита (пик Вервея). Следует отметить, что магнетит в процессе дальнейшего нагрева также разрушается и на кривых III этапа пик Вервея не наблюдается.

Анализ кривых зависимости МВ от температуры II этапа показал наличие нескольких характерных точек в следующих температурных интервалах: от 130 °С до 170 °С; от 280 °С до 430 °С; от 510 °С до 600 °С. Эти особенности могут указывать на присутствие в образцах нескольких магнитоминералогических фаз: гемоильменита, титаномагнетита, титаномагнетита.

### **Список использованной литературы**

1. *Abels A., Plado J., Pesonen L. J. and Lehtinen M.* 2002. The impact cratering record of Fennoscandia—A close look at the database. In *Impacts in Precambrian shields*, edited by Plado J. and Pesonen L. J. Berlin: Springer-Verlag. P. 1-58.
2. *Jourdan F., Renne P. R. and Reimold W. U.* 2008. High-precision  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age of the Jänisjärvi impact structure (Russia). *Earth Planet. Sci. Lett.*, 265:438-449.
3. *Dence M. R.* 1971. Impact melts. *Journal of Geophysical Research* 76:5552-5565.
4. *Salminen J. M., Donadini F., Pesonen L. J., Masaitis V. L. and Naumov M. V.* 2006. Paleomagnetism and petrophysics of the Janisjarvi impact structure, Russian Karelia. *Meteoritics & Planetary Science* 41:1853-1870.

### **STUDIES OF MAGNETIC SUSCEPTIBILITY OF IMPACT ROCKS FROM YANISYARVI ASTROBLEME**

*Gorshkova N. V.*

Interest in studying terrestrial impact structures has increased since geoscientists became aware of the geological and biological consequences of impact on Earth's evolution.

The impact structures have the potential to contain economic resources such as oil, gas, diamonds, metallic ores, building materials, and water reservoirs. Impactites often carry a stable thermoremanent magnetization that can ensure the quality of the paleomagnetic results.

This work provided new data about the nature of magnetic minerals that are the carriers of natural remanent magnetization (NRM) samples (suevites and tagamites) of impact structure Yanisyarvi (Russia, Karelia) age  $682 \pm 4$  million years. The data were obtained from the temperature dependence of magnetic susceptibility.

Научный руководитель: Сергиенко Е. С. (кафедра Физики Земли, Физический факультет, СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия)

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПЕРЕСОЕДИНЕНИЯ:  
ВЛИЯНИЕ ХОЛОДНОЙ ИОННОЙ КОМПОНЕНТЫ**

*Дивин А. В.* (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия)  
*Зайцев И. В.* (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия)  
*Семенов В. С.* (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия)  
*Коровинский Д.* (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия)

Типичным для космической и околоземной плазмы является присутствие в ней нескольких компонент, различных по энергиям и химическому составу. Недавнее обнаружение холодных (с энергией в несколько электронвольт) ионов в некоторых событиях, наблюдаемых на магнитопаузе и в хвосте магнитосферы, позволяют предположить широкую распространенность этой практически ненаблюдаемой компоненты в магнитосфере. В то время как процесс высвобождения накопленной магнитной энергии в ходе магнитного пересоединения изучен достаточно хорошо в присутствии атомов кислорода, влияние фоновой холодной протонной компоненты ранее практически не оценивалось. В настоящей работе проводится численное двумерное моделирование магнитного пересоединения с добавленными фоновыми холодными ионами и исследуется устойчивость конфигурации в диффузионной области и на фронтах пересоединения. Обнаружено, что холодная компонента ускоряется до скорости порядка Альвеновской, но слабо термализуется при этом. В диффузионной области появляется неустойчивость типа зеркальной моды, на фронтах пересоединения растет ионная пучковая мода. В целом, наличие холодных ионов в магнитном пересоединении делает процесс существенно более динамичным.

**NUMERICAL SIMULATIONS OF MAGNETIC RECONNECTION IN KINETIC  
APPROACH IN THE PRESENCE OF COLD IONS**

*Divin A. V.*  
*Zaitsev I. V.*  
*Semenov V. S.*  
*Korovinskiy D.*

Typically, geospace and heliospherical plasmas contain plasma with several ion components, which differ in composition and energy. A recent discovery of very cold (several eV's) ions in several events detected in the Earth's magnetotail and at the magnetopause allows us to conclude that the poorly-resolved cold ion component is abundant in the geospace and can affect such processes as e.g. magnetic reconnection. Magnetic energy release in the presence of heavy ion components (oxygen, helium, etc.) was studied thoroughly in previous papers, whereas the contribution of background cold plasma is not understood well. In the present work conventional 2D Particle-in-Cell simulations are utilized to study the general properties and stability of the reconnection front and diffusion region in such multicomponent plasmas. Cold ions are accelerated up to approximately Alfvén velocity, but are weakly thermalized. Diffusion region is unstable to a mirror-like mode due to strong cold ion pressure anisotropy (perpendicular ion pressure is larger than the parallel pressure). Reconnection jet fronts host strong pulsations of the parallel electric field due to ion beam mode excitation. The overall evolution is more dynamic than that of a standard Harris-like current sheet.

## СЕЙСМИЧЕСКАЯ ДОБРОТНОСТЬ КАК ИНДИКАТОР СОВРЕМЕННОЙ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

*Добрынина А. А.* (Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия)

*Воскресенский А. Г.* (Институт земной коры СО РАН, ИГУ, Иркутск, Россия)

Сейсмическая добротность  $Q$  является безразмерным параметром, описывающим затухание сейсмической энергии при прохождении волны в геологической среде, и необходима при расчете искусственных сейсмограмм, при изучении макросейсмических проявлений при сильных землетрясениях и т.д. В настоящей работе приведены результаты оценки сейсмической добротности по поперечным кода-волнам региональных землетрясений для литосферы Байкальской рифтовой системы (БРС).

Изучение затухания сейсмических волн базировалось на модели однократного рассеяния (Аки, Чоует, 1975), в которой кода-волны рассматриваются как суперпозицию объемных волн, отраженных от случайно распределенных в среде неоднородностей. Уменьшение амплитуды коды со временем происходит вследствие затухания энергии и геометрического расхождения. Оно не зависит от характеристик очага землетрясения, эффектов пути и усиления на сейсмостанции. Обычно добротность увеличивается с частотой согласно:

$$Q_c(f) = Q_0(f/f_0)^n,$$

где  $Q_c(f)$  – добротность среды по коде,  $Q_0$  – добротность на некоторой референтной частоте  $f_0$  (как правило, 1 Гц) и  $n$  – частотный параметр, который близок к 1 и меняется от региона к региону в зависимости от неоднородности среды (Аки, Чоует, 1975).

Для определения добротности было отобрано 274 землетрясения с энергетическими классами  $K_p=9.6-13.7$ , произошедших на территории БРС за период 2001-2007 гг. Землетрясения выбирались так, чтобы избежать предела пикового насыщения амплитуд. Эпицентральные расстояния  $\Delta$  менялись в пределах от 15 до 300 км. Покрытие региона землетрясениями соответствует пространственному распределению эпицентров землетрясений в БРС, сейсмические трассы «источник – приемник» хорошо покрывают рифтовые впадины, горные поднятия и южный выступ Сибирской платформы. При расчете параметров затухания использовалась программа *CodaQ* (входит в состав пакета программ *Seisan*) (Havskov, Ottemoller, 2006). Для расчета добротности записи фильтровались фильтром Баттерворта с центральной частотой пропускания 0.3, 0.75, 1.5, 3, 6 и 12 Гц, при этом все расчеты производились только для событий с отношением «сигнал – шум» не менее 4. Начало окна для обработки коды выбиралось равным удвоенному значению времени пробега  $S$ -волны, так как на этих временах влиянием очагового процесса можно пренебречь (Rautian, Khalturin, 1978). Длина окна для обработки коды ( $W$ ) варьировалась от 10 до 100 секунд с шагом 5 секунд. Окончательный расчет сейсмической добротности базируется на результатах обработки 2579 волновых форм землетрясений.

Полученные результаты свидетельствуют о сильной зависимости добротности от частоты:  $Q_c$  меняется от  $46 \pm 52$  (на частоте 0.75 Гц) до  $502 \pm 109$  ( $f=12$  Гц) при длине окна обработки коды  $W=10$  секунд ( $Q_c(f)=(53 \pm 4) \cdot f^{0.84 \pm 0.07}$ ) и от  $114 \pm 49$  до  $1865 \pm 679$  на тех же частотах при  $W=100$  секунд ( $Q_c(f)=(335 \pm 33) \cdot f^{0.77 \pm 0.07}$ ).

Помимо расчета эффективной добротности для всей рассматриваемой территории БРС оценки  $Q_c(f)$  и коэффициента затухания  $\delta$  выполнялись также для отдельных, составляющих ее тектонических блоков: Сибирской платформы, рифтовых впадин, горных поднятий.

Согласно (Mak et al., 2004) для тектонически активных регионов мира наблюдаются высокие значения затухания сейсмических волн ( $Q < 200$ ,  $\delta > 0,004$  км<sup>-1</sup>), низкие значения ( $Q > 600$ ,  $\delta < 0,001$  км<sup>-1</sup>) – для стабильных областей и промежуточные значения ( $Q=200-600$ ,  $\delta=0,001-0,004$  км<sup>-1</sup>) – для районов с умеренной тектонической активно-

стью. Показатель зависимости добротности от частоты  $n$  (или частотный параметр) также характеризует среду и увеличивается с интенсивностью тектонической активности региона. Его значения варьируют от  $n < 0,5$  для стабильных регионов до  $n = 0,3-0,8$  для областей с умеренной тектоникой и до  $n > 0,8$  для тектонически активных регионов (Mak et al., 2004). Результаты определения параметров затухания, полученные в настоящей работе, свидетельствуют о высокой тектонической активности исследуемого региона, что подтверждается как высокой сейсмической активностью, так и высокими скоростями современных горизонтальных тектонических движений по данным GPS-геодезии (Саньков и др., 2009).

Вместе с тем, при детальном рассмотрении соотношений параметров затухания  $Q_c$  и  $n$  для отдельных тектонических блоков отмечаются некоторые важные особенности. Одна из наблюдаемых тенденций состоит в том, что как затухание, так и частотный параметр снижаются для древних стабильных областей, то есть в целом зависят от возраста консолидации земной коры. Максимальные значения  $Q_c$  и минимальные значения  $n$  характерны для докембрийской Сибирской платформы. Несколько ниже добротность литосферы для нижнепалеозойского Хамар-Дабанского блока и докембрийской Муйской глыбы. Вместе с тем, отмечается существенное снижение добротности как докембрийских, так и палеозойских участков коры при внедрении в них процессов рифтогенеза. Так, для структур северо-восточного фланга БРС (Чарской впадина и ее окружение), которые внедряется в пределы южного выступа Сибирской платформы, характерны пониженные значения добротности и повышенные значения  $n$ . Схожая ситуация наблюдается для сейсмически активных Окинского и Восточно-Саянского блоков, относящихся к вендскому Тувино-Монгольскому микроконтиненту.

По простиранию рифтовой системы добротность  $Q_c$  меняется в пределах от 72 до 109, а показатель неоднородности среды  $n$  изменяется в пределах от 0.87 до 1.22. В целом минимумы  $Q_c$  приурочены к впадинам, в максимумы – к перемычкам и плечам рифтов. Аномально низкий уровень добротности  $Q_c$  при высоком коэффициенте неоднородности  $n$  получен для района Верхнеангарско-Муйской межвпадинной перемычки, Ципа-Баунтовской впадины и зоны Главного Саянского разлома. Эти данные хорошо коррелируют с высоким уровнем нарушенности земной коры активными разломами в пределах этих территорий. Другой аномалией является Северо-Байкальская впадина, которая характеризуется высоким значением  $Q_c = 109$  и относительно низким значением  $n = 0,88$ . При этом известно, что уровень сейсмической активности в ней низкий.

Таким образом, литосфера под структурами БРС обладает высоким уровнем затухания и неоднородности, что, по нашему мнению, связано с активно протекающими процессами современного разломообразования и высоким уровнем разогрева недр (Лысак, 1988). На фоне общей зависимости параметров затухания от возраста консолидированной коры, добротность и частотный параметр выступают как интегральные показатели современной деструкции литосферы.

### Список использованной литературы

1. Aki K., Chouet B. Origin of the coda waves: source, attenuation and scattering effects. // J. Geophys. Res. 1975. N 80. P. 3322-3342.
2. Havskov J., Ottemoller L. SEISAN: The earthquake analysis softwares for Windows, Solaris and Linux, Version 8.0. 2003. Institute of Solid Earth Physics, University of Bergen, Norway. 348 p. <http://www.geo.uib.no/seismo/software/software.html>
3. Rautian T. G., Khalurin V. I. The use of coda for determination of the earthquake source spectrum // BSSA. 1978. V. 68. P. 923-948.
4. Mak S., Chan L. S., Chandler A. M., Koo R. CodaQ estimates in the Hong Kong region // J Asian Earth Sci. 2004. V. 24. P.127-136.

5. Саныков В. А., Лухнев А. В., Мирошниченко А. И. и др. Растяжение в Байкальском рифте: современная кинематика пассивного рифтогенеза // ДАН. 2009. Т. 424. № 5. С. 664-668.

6. Лысак С. В. Тепловой режим континентальных рифтовых зон. Новосибирск: Наука, 1988. 198 с.

### THE SEISMIC QUALITY FACTOR AS A PRESENT-DAY TECTONIC ACTIVITY INDICATOR IN THE BAIKAL RIFT SYSTEM

*Dobrynina A. A.*

*Voskresensky A. G.*

The Baikal rift system is the area of the active tectonic deformations expressed the high level of seismic activity. The Earth's crust deformation leads to the transformation of physical and mechanical patterns, one of them being the effective seismic quality factor and its frequency dependence. Using a single backscattering model, both a seismic quality-factor ( $Q_C$ ), a frequency parameter ( $n$ ) and an attenuation coefficient ( $\delta$ ) have been estimated by analyzing coda waves of 274 local earthquakes of the Baikal rift system for lapse time windows from 10 to 100 s with a step of 5 s and for six central frequencies: 0.3, 0.75, 1.5, 3, 6 and 12 Hz. The average  $Q_C$  value increases with the increase in the frequency and lapse time window from  $46 \pm 52$  (at 0.75 Hz) to  $502 \pm 109$  (at 12 Hz) for  $W=10$  s ( $Q_C(f) = (53 \pm 4) f^{0.84 \pm 0.07}$ ) and from  $114 \pm 49$  (at 0.3 Hz) to  $1865 \pm 679$  (at 12 Hz) for  $W=100$  s, ( $Q_C(f) = (335 \pm 33) f^{0.77 \pm 0.07}$ ). The values of  $Q_C(f)$  and  $\delta$  were estimated for the whole the Baikal rift system and for separate tectonic blocks: the stable Siberian platform, rift basins, spurs and uplifts. Along the rift system the  $Q_0$ -value ( $Q$ -factor at the frequency  $f=1$  Hz) varies within 72–109 and the frequency parameter ranges from 0.87 to 1.22, for the stable Siberian platform they change –  $Q_0=134$ ,  $n=0.48$ . The comparison of lateral variations of seismic wave attenuation and geological and geophysical characteristics of the Baikal rift system shows that the seismic wave attenuation is correlated with both seismic activity and heat flow, and (in less degree) with the surface fault density and the age of the crust consolidation.

Научный руководитель: Добрынина Анна Александровна, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник лаборатории инженерной сейсмологии и сейсмогеологии Института земной коры СО РАН.

**КИНЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
КВАДРУПОЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ С СОЛНЕЧНЫМ ВЕТРОМ**

***Зайцев И. В.*** (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия)  
***Дивин А. В.*** (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия)  
***Семенов В. С.*** (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия)  
***Коровинский Д.*** (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия)

В большинстве исследований, посвященных изучению общих процессов взаимодействия солнечного ветра с магнитосферами, обычно предполагается наличие основной дипольной компоненты во внутреннем магнитном поле источника. Однако, определенный интерес представляет изучение отбегания солнечным ветром магнитосферы с недипольным полем. В качестве примера можно привести т.н. «палеомагнитосферу» Земли в периоды обращения основной дипольной компоненты, когда квадрупольная (и так далее) компонента становится доминирующей. В данной работе рассматривается 3D кинетическое моделирование нескольких вариантов квадрупольного поля с заданным солнечным ветром, изучается распределение нуль-точек в системе и процессы обмена энергии между частицами и магнитным полем. Перед магнитосферой формируется область сжатого солнечного ветра («гало»). Показано, что при совпадении оси квадрупольного поля и направления магнитного поля солнечного ветра, магнитосфера сочетает в себе особенности как «открытой», так и «закрытой» магнитосферы.

**KINETIC SIMULATIONS OF A SMALL-SCALE MAGNETIC QUADRUPOLE-  
SOLAR WIND INTERACTION**

***Zaitsev I. V.***  
***Divin A. V.***  
***Semenov V. S.***  
***Korovin D.***

Most of numerical models which simulate solar wind – magnetosphere interactions are typically performed under assumption that the intrinsic magnetic field is dipolar. However, it is known that quadrupole sources can also appear in space plasmas. An example of such configuration is the Earth's «paleomagnetosphere» during the main dipole reversal times, when higher non-dipolar moments start to dominate in the intrinsic geomagnetic field. In the present study the three-dimensional Particle-in-Cell kinetic simulations of several typical quadrupole configurations are performed. Distribution and evolution of null-points is considered, energy exchange between fields and particles is studied. Ahead of the mini-magnetosphere a region of compressed plasma (a «halo») is formed, in much agreement with conventional dipolar magnetosphere simulations. If the quadrupole axes is the same as the solar wind magnetic field direction, the mini-magnetosphere contains both «open» and «closed» topologies.

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПАДА ТОКОВОГО СЛОЯ НА  
МАГНИТОПАУЗЕ В ПРОЦЕССЕ МАГНИТНОГО ПЕРЕСОЕДИНЕНИЯ**

*Зайцев И. В.* (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия)  
*Дивин А. В.* (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия)  
*Семенов В. С.* (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия)

Магнитное пересоединения является ключевым процессом магнитосферы, ответственным за взаимодействие солнечного ветра и магнитного поля Земли. В результате пересоединения на магнитопаузе происходит образование открытых силовых линий, которые соединены с солнечным ветром. Магнитное пересоединение приводит к распаду начального токового слоя на последовательность разрывов и ударных волн, параметры которых определяются условиями в солнечном ветре.

Для изучения детальной структуры окрестности пересоединения в настоящей работе проводится численное моделирование распада токового слоя. В соответствии с предыдущими работами, распад сопровождается образованием быстрой и медленной ударных волн, а также волн разрежения. Расчет проводился с использованием метода Лакса-Фридрихса 2<sup>го</sup> порядка (TVDLF) как в приближении одножидкостной МГД, так и с учетом эффекта Холла и электронного давления в двухжидкостной (ионно-электронной) плазме. Результаты моделирования находятся в хорошем согласии с теоретическими моделями.

**NUMERICAL SIMULATIONS OF DECAY OF THE CURRENT SHEET AT THE  
MAGNETOPAUSE DURING MAGNETIC RECONNECTION EVENTS**

*Zaitsev I. V.*  
*Divin A. V.*  
*Semenov V. S.*

Magnetic reconnection is the process responsible for the interaction of the solar wind with the Earth's magnetosphere. Magnetic field lines tear and reconnect in near-Earth space with the formation of open magnetic field lines as a result of this phenomena. During magnetic reconnection the current sheet decays into a set of shock waves and discontinuities, with the actual configuration determined by ambient plasma and magnetic field conditions upstream of the reconnection site.

To investigate the mechanism of current sheet decay, a special computer program was elaborated to explore the detail structure of the reconnection layer. In particular, it allows us to distinguish fast and slow shock waves, rarefaction waves and to explore evolution of MHD waves in the course of magnetic reconnection. Using the Lax-Friedrichs scheme the MHD simulations based on initial Harris current sheet have been carried out for one- and two-fluid plasma models. The calculation results were compared with the similar calculations performed by other authors, as well as with the results of the analytical solutions.

Научный руководитель: стажер-исследователь кафедры физики Земли физического факультета СПбГУ, кандидат физико-математических наук Дивин Андрей Викторович.

**РЕКОНСТРУКЦИЯ ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ УЧАСТКА АРЧИНСКОГО  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ С ЦЕЛЮ ПРОГНОЗА ЗОН ПОВЫШЕННОЙ  
ТРЕЩИНОВАТОСТИ**

*Зиганшина Р. А.* (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия)

Реконструкция поля палеонапряжений является одной из основных задач в изучении тектонической эволюции региона, которая применяется, в том числе, для прогноза распространения систем открытых трещин, формирующих эффективную пористость, что в свою очередь определяет главные коллекторские свойства продуктивных пластов.

В данной работе проводится реконструкция поля напряжения северо-восточного участка Арчинского месторождения, расположенного на юго-востоке Нюрольской депрессии Томской области. Рассматриваемый район принадлежит к Западно-Сибирскому мегабассейну, в строении которого участвуют фундамент герцинского возраста и мезозой-кайнозойского осадочного чехла с двумя этапами нефтегазоносности (доюрский и юрско-кайнозойский). Большинство нефтепроявлений установлены на контакте мезозойских (юрских или меловых) и доюрских пород различного состава (в коре выветривания). [Жуковская, Главнова, Буторина, 2013].

Основным источником информации о структуре исследуемого участка Арчинского месторождения являются структурные карты сейсмических горизонтов, полученные в результате 3D сейсморазведки. Один из методов стресс-анализа, предложенный Худолеем А.К., Москаленко А.Н., состоит в том, что выделяемый по сейсмическим данным разлом и вектор перемещения рассматриваются как трещина скалывания и борозда скольжения, то есть структуры, ориентировка которых используется для расчета ориентации осей главных напряжений [Москаленко, Нилов, 2014]. Согласно данной методике на структурной карте выделяется складчатая форма, которая может быть распознана и в висячем, и в висячем, и в висячем крыле разлома. Далее определяются оси антиклинальных и синклиналиных складок. Вектор перемещения, определяется как вектор, соединяющий точки разрыва следов оси складки в плоскости разлома.

Операции по выявлению осей складок, длин и ориентировки векторов перемещения по разломам производились в ГГИС Move (© Midland Valley) и позволили получить необходимые данные для дальнейшего изучения поля напряжения района.

Для реконструкции и определения неоднородности поля напряжения изучаемого района использовалась программа Coulomb3.3, работающая в среде MATLAB R2013a (© MathWork). Программа Coulomb3.3 была разработана для расчёта статических перемещений, деформаций и напряжений в земной коре, вызванных перемещениями по разломам, расчет упругих параметров напряжений и деформации основан на теории разращения Кулона-Мора [Harris, 1998; King, Stein, Lin, 1994].

В соответствии с этой теорией разрыв происходит по плоскости, на которой критические напряжения по критерию Мора-Кулона (далее скалывающие кулоновы напряжения) превышают некоторое определенное значение, либо его изменение больше нуля [King, Stein, Lin, 1994]:  $\sigma_f = \tau_f - \mu(\sigma_\beta - p)$ , где:  $\sigma_f$  – скалывающее кулоново напряжение,  $\tau_f$  – касательное напряжение на плоскости разрыва,  $\sigma_\beta$  – нормальное напряжение на плоскости разрыва,  $p$  – давление порового флюида,  $\mu$  – коэффициент трения. Проведя ряд математических преобразований, можно переписать уравнение с учетом эффективного трения  $\mu' = \mu(1-B)$ , где  $B$  – коэффициент Скемптона, учитывающий давление порового флюида:  $\sigma_f = \tau_f - \mu' \sigma_\beta$ .

В программе Coulomb3.3 ведется расчет не абсолютного значения скалывающего кулонового напряжения, а его изменения:  $\Delta\sigma_f = \Delta\tau_f - \mu' \Delta\sigma_n$ , где  $\Delta\tau_f$  – изменение касательного напряжения,  $\Delta\sigma_n$  – изменение нормального напряжения.

Очевидно, что изменение напряжений в осадочных бассейнах в целом имеют ряд отклонений от упругой модели, реализуемой в Coulomb3.3, тем не менее, авторы программы полагают, что с помощью Coulomb3.3 можно вычислять объективные параметры напряженно-деформированного состояния в верхних частях земной коры.

Программа Coulomb3.3 позволяет учитывать такие параметры среды, как коэффициент Пуассона, модуль Юнга, коэффициент трения, изменяющийся от 0 до 1 в зависимости от типа перемещения по разломам. Нами были использованы стандартные значения для верхней части земной коры: коэффициент Пуассона ( $\nu = 0.25$ ), модуль Юнга ( $E=8 \times 10^5$  бар) и коэффициент трения ( $\mu=0,4$ ) [Ребецкий, 2007].

Учета ориентировки и величин региональных главных осей напряжения ( $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ) проводилась по следующим формулам [Ребецкий, 2007]:

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= -p + \left(1 - \frac{\mu_\sigma}{3}\right) \tau, \\ \sigma_2 &= -p + \frac{2\mu_\sigma}{3} \tau, \\ \sigma_3 &= -p - \left(1 + \frac{\mu_\sigma}{3}\right) \tau,\end{aligned}$$

где,  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  – расположены субгоризонтально,  $\sigma_3$  – субвертикально,  $\mu_\sigma$  – коэффициент Лодэ-Надаи,  $p$  – шаровая компонента тензора напряжений,  $\tau$  – значение касательного напряжения, коэффициент Лодэ-Надаи.  $\mu_\sigma = -0.351$  был задан по результатам стресс-анализа, проведенного ранее для всего района месторождения [Москаленко, 2014].

Так как в горизонтальном направлении в модели Coulomb3.3 отсутствует деформация (в программе заданы вертикальные жесткие стенки и свободная поверхность), то деформация по оси  $\sigma_2$   $\varepsilon_2 = \frac{1}{E} [\sigma_2 - \nu(\sigma_1 + \sigma_3)] = 0$ . Из этого следует  $\sigma_2 = \nu(\sigma_1 + \sigma_3)$ . Получаем систему уравнений для  $p$  и  $\tau$

$$\begin{cases} -p - 0,833 \tau = -\rho g H, \\ -p - 0,234 \tau = \nu(-p + 1,117 \tau - p - 0,833 \tau) \end{cases}$$

Решив систему уравнений и получив  $p$  и  $\tau$ , находим  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ .

Нами был исследована модель участка земной коры площадью  $6 \times 10$  км и глубиной до 6 км. В моделируемом участке были рассмотрены шесть поверхностей разломов, которые были разбиты на 28 плоскостей. Были определены элементы залегания полученных плоскостей, глубины их подошвы и кровли. Для этих разломов было определено семь векторов перемещения в пределах сейсмического горизонта  $M_1$  и найдены их кинематические характеристики (длина, азимут простирания, угол погружения).

В результате моделирования нами получены данные о горизонтальной, вертикальной и объемной деформации, распределении изменений касательных, нормальных и скальвающих кулоновых напряжений для оптимально ориентированных сбросов и сдвигов. Эти параметры представлялись в виде карт изучаемой площади на различных расчетных глубинах (основные на 3 км – граница фундамент-осадочный чехол), а также ряда разрезов на интересующих участках. Дополнительно, были получены карты горизонтальных смещений, изображенных с помощью векторов и с помощью сетки и вертикальных смещений, отображенных цветом; карты с распределением простирания главных осей напряжения для каждой расчетной ячейки, размером  $200 \times 200$  м.

Был отмечен ряд областей на исследуемой площади, с отличающимися максимальными относительными значениями скальвающих кулоновых напряжений, рассчитанными для оптимальных плоскостей, как сдвигов, так и сбросов, которые по критерию Кулона-Мора должны соответствовать зонам, где с наибольшей вероятностью ожидается новое разрывное нарушение и наибольшее разуплотнение пород. Данные области хорошо коррелировались с областями положительной объемной деформации. Таким образом, в пределах исследуемого участка, были выделено три области с наи-

большей вероятностью образования новых разрывных нарушений и повышенной трещиноватости.

Автор благодарит за помощь в работе Худoley А. К., Войтенко В. Н., Ребецкого Ю. Л., Москаленко А. Н.

**Список использованной литературы**

1. Жуковская Е. А., Главнова Е. Н., Буторина М. А. Тектоно-седиментационная модель как основа прогноза зон распространения трещинных коллекторов в карбонатных палеозойских отложениях Западно-Сибирской плиты (на примере Арчинского нефтегазоконденсатного месторождения) // Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории. Материалы VII Всероссийского литологического совещания (Новосибирск, 28-31 октября 2013 г.). Новосибирск, 2013. С. 311-314.

2. Москаленко А. Н., Нилов С. П. Реконструкция кинематических характеристик разрывных нарушений и поля палеонапряжений для Урмано-Арчинской площади (Нюрольская впадина) // Тектоника складчатых поясов Евразии: сходство, различие, характерные черты новейшего горообразования, региональные обобщения. М.: ГЕОС, 2014. Т. 2. С 22-26.

3. Harris R. A. Introduction to special section—Stress triggers, stress shadows, and implications for seismic hazard: Journal of Geophysical Research, 1998. V. 103, P. 24,347-24,358.

4. King G. C. P., Stein R. S., Lin J. Static stress changes and the triggering of earthquakes: Bulletin of the Seismological Society of America, 1994. V. 84, N 3, P. 935-953.

5. Ребецкий Ю. Л. Тектонические напряжения и прочность природных массивов. М.: Академкнига, 2007. 406 с.

**RECONSTRUCTION OF STRESS FIELD OF ARCHINSK FIELD'S SITE TO FORECAST ZONES OF FRACTURING**

*Ziganshina R. A.*

In this paper we investigate the site of Archinsk field, located in the southeast of Western Siberia. The main source of data are the structural maps of seismic horizons. Faults allocated on the cards are regarded as shear crack or slickenlines that is used to calculate the kinematic characteristics of fault's displacement vector. These transactions were conducted in the Move program (© Midland Valley).

In order to reconstruct and identify irregularities stress field of the studying area used the Coulomb3.3 program, working in MATLAB R2013a (© MathWork). The program was developed for the calculation of static displacements, strains and stresses in the earth's crust, caused by movements along the faults, the calculation of the elastic parameters of the stress and strain based on the theory of Mohr-Coulomb failure.

As a result of simulation, we obtained data on the horizontal, vertical and volumetric strain, the distribution of changes in tangent, normal and shear stresses for Coulomb optimally oriented shear and normal faults. These options were presented in the form of maps of the studying area at different depths (mainly at 3 km – the border foundation-sedimentary cover).

There were a number of areas are marked with different maximum relative values of shear Coulomb stress calculated for optimal planes for shear and normal faults, which in Mohr-Coulomb criterion must comply areas where most likely expected the new. These areas are well correlated with areas of positive volume deformation. Thus, within the studying area were allocated three areas most likely to the formation of new faults and increased fracture.

Научный руководитель: Худoley Андрей Константинович, заведующий кафедрой региональной геологии, профессор, доктор геолого-минералогических наук.

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОКСИЛА  
ВОДОРОДА С УЧЁТОМ ВСПЫШЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ**

*Карагодин А. В.* (Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия)

В данной работе были проведены исследования по влиянию на климатическую ситуацию мощной солнечной вспышки произошедшей в январе 2005-го года. Данная вспышка была одним из редчайших солнечных событий, которая привела к возрастанию потока солнечных космических лучей фиксирующихся нейтронными мониторами на Земле. Отдельно, на основе модельных данных, изучено влияние данной вспышки на химический состав атмосферы и вариации отдельных газов. Проведения этих исследований стали возможны благодаря использованию химико-климатической модели SOCOL 2.0. (Solar Climate Ozone Links) – модели, которая позволяет промоделировать реальную ситуацию в атмосфере с учетом вспышечной активности. Результаты проведённого исследования представлены в виде пространственно-временного распределения гидроксила водорода по всему земному шару и отдельно по высокоширотному распределению ОН в северном и южном полушариях.

**SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION OF HYDROXIDE DURING  
SOLAR PROTON EVENTS**

*Karagodin A. V.*

In this work, studies were conducted on the effect on the climate situation of a powerful solar eruption that occurred in January of 2005. This coronal mass ejection was one of the rare solar proton events, which led to an increase of the flux of solar cosmic rays detected by neutron monitors on the Earth. Here, a special attention was devoted to study this effect based on model simulated results that took into account ionization of atmosphere during solar proton events and variations the chemical composition of the atmosphere over investigated period of time. These studies were made possible by using the chemical and climate model SOSOL 2.0. (Solar Climate Ozone Links) - a model that allows to simulate a real situation in the atmosphere taking into account changing solar activity. The results of this study are presented in the form of spatial and temporal distribution of the hydroxide around the globe, and separately high altitudinal distribution of OH over the northern and southern hemispheres.

**СКОРОСТНАЯ СТРУКТУРА ВЕРХНЕЙ МАНТИИ ЕВРОПЫ ПО ДАННЫМ  
ШУМОВОЙ ПОВЕРХНОСТНО-ВОЛНОВОЙ ТОМОГРАФИИ**

*Королева Т. Ю.* (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия)

Шумовая поверхностно-волновая томография в настоящее время широко используется для определения скоростного строения верхних слоев Земли. Метод основан на том, что кросс-корреляционная функция шума, записанного на двух станциях, усредненная за длительный период времени, определяет функцию Грина поверхностной волны, т.е. по ней можно получить дисперсионную кривую поверхностной волны между этими станциями [1]. Далее по полученным таким образом дисперсионным кривым делается поверхностно-волновая томография: сначала от дисперсионных кривых, средних для трасс между станциями, мы переходим к дисперсионным кривым в точках сетки, затем для каждой точки сетки дисперсионная кривая обращается в вертикальный скоростной разрез для S-волны.

Однако применение метода для изучения верхней мантии имеет свою специфику. Для определения скоростной структуры верхней мантии требуется сравнительно длиннопериодный шум, источником которого, как было показано ранее, являются землетрясения [2]. Неравномерное распределение источников может приводить к искажению ККФ и, как следствие, неправильному определению дисперсионной кривой. Для минимизации такого эффекта в данной работе, во-первых, использовались записи шума за года, когда не было кластеризации землетрясений, а во-вторых, ККФ вычислялись за 3 года. Дисперсионные кривые групповой скорости волны Рэлея были построены в интервале периодов 10-100с для 368 трасс, пересекающих Европу. Тест шахматной доски показал, что наилучшее разрешение (выделялись неоднородности от 600 и более км) достигалось в центральной части Западной Европы и западной части Восточно-Европейской платформы. Именно для этой области делалась томография.

Карты групповой скорости показали существенное отличие скоростей по обе стороны от линии Торнквиста-Тессейра для всех периодов, за исключением 30-40 с, на которых дисперсионные кривые оказались очень близки. Были построены карты латеральных вариаций скорости S-волны для отдельных глубин в интервале 75-250 км. Для Восточно-Европейской платформы характерна существенно большая скорость в коре, чем для Западной Европы, и эта тенденция сохраняется для скоростей в мантии для глубин 75-250 км, однако на этих глубинах высокоскоростное вещество ВЕП проникает под Карпаты. Были построены вертикальные скоростные разрезы вдоль трех профилей, пересекающих область Карпат, также показывающие сложное строение литосферных плит в этом регионе и их разнонаправленное движение.

Работа выполнена совместно с профессором кафедры физики Земли СПбГУ Яновской Т. Б. и доцентом кафедры физики Земли СПбГУ Лысковой Е. Л.

**Список использованной литературы**

1. *Shapiro, N. M. & Campillo, M.*, 2004. Emergence of broadband Rayleigh waves from correlation of the ambient seismic noise, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L07614, doi:10.1029/2004GL019491.
2. *Яновская Т. Б., Королева Т. Ю.* О влиянии землетрясений на кросс-корреляционную функцию сейсмического шума // *Физика Земли*, 2011, № 9, С. 1-10.

**THE UPPER MANTLE VELOCITY STRUCTURE OF THE EUROPE FROM  
THE AMBIENT NOISE SURFACE WAVE TOMOGRAPHY***Koroleva T. Yu.*

Ambient noise surface wave tomography is widely used currently to determine the velocity structure of the upper layers of the Earth. The method is based on the fact that the cross-correlation function of ambient noise recorded at two stations averaged over enough long period of time gives a Green function of the surface wave, i.e. we can get a surface wave dispersion curve between these stations [1]. These dispersion curves become the input data for the surface wave tomography: 2D tomography gives us the dispersion curves in the grid points, then for the each grid point the dispersion curve is inverted in the S-wave vertical velocity section.

But the application of the ambient noise surface wave tomography for the studying of the upper mantle velocity structure has its own specific because requires the analyses of long-periodic noise. As was shown earlier the main contribution to noise at long periods is made by signals from earthquakes [2]. In some cases they may distort a cross-correlation function of the noise. This results in incorrect determination of surface wave velocity dispersion curves. To minimize such effect we firstly use records of noise for the periods when no clustering of the earthquakes occurred and, secondly, we calculate cross-correlation functions for a period of at least three years in order to achieve more or less uniformity of the earthquakes. We obtained Rayleigh wave group velocity dispersion curves for 10–100 sec along 368 interstation paths across the Europe. Checkerboard test shows that in the central part of the West Europe and in the western part of the East European Platform (EEP) the heterogeneities of 600 km size may be resolved. Tomographic reconstruction of the group velocities was carried out in this area.

Group velocity maps show a strong difference of the velocities at the opposite sides from the Tornquist-Teisseyre Line for all periods except 30–40 s, at which the dispersion curves turn out to be rather close. From locally averaged dispersion curves in grid points the vertical S-wave velocity sections were calculated. Average velocity in the crust is found to be much larger in the EEP than in the West Europe and in the northern part of the Middle East. Maps of the velocity variations in the upper mantle at the depths of 75–250 km display the similar difference, but at larger depths the high velocity material of EEP penetrates under Carpathians. Vertical velocity sections along three profiles show a complex configuration of the lithosphere plates in the Carpathian region and their movement in different directions.

The work was carried out jointly with professor of the department of the physics of the Earth Yanovskaya T. B. and the docent of the department of the physics of the Earth Lyskova E. L.

Научный руководитель: Яновская Татьяна Борисовна, доктор физико-математических наук, профессор, заведующая лабораторией сейсмологии.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ  
СЕЙСМИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА МЕТОДОМ РЕФРАГИРОВАННЫХ ВОЛН**

*Кузнецова А. В.* (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия)

В последнее время при обработке и интерпретации данных геофизических исследований все большее внимание уделяется разработке методов, позволяющих исключить влияние приповерхностных неоднородностей верхней части геологического разреза, которое отрицательно сказывается на качестве получаемых данных.

Для этой цели могут быть использованы рефрагированные волны, распространяющиеся в среде с плавно изменяющимися скоростными параметрами. Вследствие неоднородности такой среды, лучи проходящих волн искривляются и, если градиент изменения скорости положительный, возвращаются к верхней границе среды, где могут быть зарегистрированы. В англоязычной литературе для описания рефрагированных волн используется термин *diving waves*.

Рассматривается распространение рефрагированных волн в горизонтально-однородной и неоднородной двумерных средах. Дается описание годографов для вышеупомянутых моделей сред. Излагается решение обратной кинематической задачи в акустической среде – поиск параметров скоростной функции, аппроксимирующей геологический разрез, отвечающих минимуму среднеквадратичного отклонения времен пробега экспериментального годографа от теоретического годографа. Экспериментальный годограф был получен путем расчета по аналитическим формулам с добавлением гауссова шума.

Таким образом, метод рефрагированных волн может быть использован для определения вида скоростной функции, описывающей распределение скоростных параметров в среде.

**DETERMINATION VELOCITY CHARACTERISTICS OF A NEAR SURFACE  
SEISMIC SECTION BY DIVING WAVES METHOD**

*Kuznetsova A. V.*

At present the possibility of reconstructing the section upper part structure is considered to be of great importance. So the report presents a detailed description of diving waves properties. Wave propagation in horizontal homogeneous or heterogeneous media is also considered. We believe that the diving wave method can be used in solving the inverse travelttime method.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, профессор Б. М. Каштан.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ФАЗЫ  
МАГНИТОСФЕРНОЙ СУББУРИ ПО ДАННЫМ ГЛОБАЛЬНОГО  
МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

*Мачеев Г. А.* (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия)

Глобальное магнитогидродинамическое (ГМГД) моделирование позволяет воспроизводить основные структурные элементы и крупномасштабные процессы, происходящие в магнитосфере Земли. При наличии нескольких моделей, реализующих ГМГД процесс, до сих пор актуальным является вопрос о соответствии данных, полученных с помощью ГМГД моделей, с реальностью, и о том какая из моделей является наиболее точной. В данной работе определялись длительности предварительной фазы суббури, в ходе которой энергия солнечного ветра (СВ) аккумулируется в хвосте магнитосферы, для четырёх ГМГД моделей: BATSRUS, OpenGGCM, LFM, GUMICS, для чего использовались значения электрических потенциалов поперёк хвоста и поперёк полярных шапок. Затем данные, полученные с помощью моделей, сравнивались со статистическими данными и между собой. В результате были получены представления об особенностях, присущих каждой модели, а также их степени соответствия действительности. Согласно полученным данным, наиболее достоверной является модель LFM.

**MAGNETOSPHERIC SUBSTORM GROWTH PHASE TIMING USING  
GLOBAL MAGNETOHYDRODYNAMIC MODELING**

*Macheev G. A.*

Global magnetohydrodynamic (GMHD) modeling allows us to recreate main structural elements and large-scale processes in the Earth's magnetosphere. With several GMHD models, it is important to compare GMHD data with actual and to define which one is more correct. In this research substorm growth times, during which solar wind (SW) energy accumulates in the magnetotail, were determined for four GMHD models: BATSRUS, OpenGGCM, LFM, GUMICS, using electric potentials across the magnetotail and polar caps. GMHD data sets then were compared with statistical and each other. As a result, insight into some intrinsic features of each model was gained, along with their degrees of accuracy. According to the received information, the most reliable model is LFM.

Научный руководитель: Сергеев В. А., профессор кафедры физики Земли СПбГУ.

**АНАЛИЗ ВАРИАЦИЙ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА  
СРЕДНЕШИРОТНЫХ ОБСЕРВАТОРИЯХ***Рябова С. А. (Институт динамики геосфер РАН, Москва, Россия)*

Изучение локальных геомагнитных вариаций имеет фундаментальное значение с точки зрения установления изменчивости электропроводности, структуры и напряженного состояния верхних участков земной коры в результате возмущений естественного и техногенного происхождения. Также, представляется естественным, что геомагнитные вариации на земной поверхности могут содержать информацию о ходе геодинамических процессов как на приповерхностных участках земной коры, так и в верхних слоях литосферы.

Все геомагнитные вариации являются суммой магнитных полей от различных источников, таких как медленно меняющееся главное поле; регулярные суточные вариации поля, магнитные поля вихревых токов, наведенных в океане, проводящей земле; быстро меняющиеся поля магнитных бурь.

В настоящей работе изучались геомагнитные вариации в широком диапазоне периодов в условиях среднеширотных обсерваторий. В качестве исходных были использованы данные регистрации трех компонент геомагнитного поля на среднеширотных обсерваториях: ГФО «Михнево» ИДГ РАН и ГО «Борок» ИФЗ РАН. Регистрация локальных геомагнитных вариаций на ГФО «Михнево» выполняется с помощью феррозондового магнитометра LEM1-018 (диапазон измерений  $\pm 68000$  нТл, разрешающая способность 10 пТл), который обеспечивает соответствующее преобразование данных, получаемых с феррозондового датчика, их обработку и накопление. Передача данных в компьютер, и в дальнейшем с помощью линии связи на основной сервер ИДГ РАН, осуществляется с помощью интерфейса RS-32. Регистрация локальных геомагнитных вариаций на ГФО «Борок» выполняется с помощью высокочувствительного индукционного fluxgate-магнитометра сети субавторальных магнитных станций SAMNET. Магнитометр позволяет измерять три компоненты геомагнитного поля с интервалом 1 с и разрешением 0,1 нТл.

Первичная обработка временных рядов компонент магнитного поля на обеих обсерваториях сводилась к редакции данных, выявлению технических сбоев, восстановлению пропусков методом линейной интерполяции и методом с использованием пары преобразований Фурье, исследованию цифровых рядов на стационарность, однородность [Статистика, 2002]. В результате обработки были сформированы банки данных, которые содержит временные ряды с дискретизацией 1 минута.

Анализ периодичностей геомагнитных вариаций на обеих обсерваториях проводился с помощью Фурье анализа [Kotter, 1988] и вейвлет-анализа [Meuer, 1993] цифровых рядов записи компонент магнитного поля Земли. В ходе работы были определены основные периодичности в геомагнитных вариациях. Полученные результаты указывают на то, что основная особенность геомагнитных вариаций связана с мерцательным характером периодичностей.

Кроме того, в настоящей работе для обсерватории «Михнево» проводился анализ одного из параметров, который характеризует вариации магнитного поля на земной поверхности, – магнитного типпера (передаточная функция, зависящая от свойств среды, в том числе от ее электрической проводимости). В настоящей работе для проведения оценки компонент магнитного типпера были разработаны программные коды, основанные на робастном гладком методе Ларсена [Larsen, 1989]. Метод представляет собой итерационную процедуру, которая сходна с наименьшими квадратами с изменением весов для робастного регрессионного анализа. Итерационная процедура начинается с одномерной передаточной функции (в нашем случае она бралась равной единице) и с оценок робастным методом наименьших квадратов или робастным методом удаленной ссылки коррекции к одномерной передаточной функции. Все большие спай-

ки в магнитных данных на время заменяются, чтобы защита от смещения обеспечивала первоначальную робастную оценку гладкой передаточной функции. Для последующих итераций, оригинальные данные заново корректируются для пропущенных значений магнитных выбросов, а частотные и временные веса пересчитываются.

В ходе анализа динамики магнитного типпера было установлено, что магнитные типперы определяются более устойчиво на временном интервале не менее 5 суток. При этом когерентность между вертикальной составляющей и горизонтальными составляющими должна быть не менее 0,8. Структура вариаций мнимых стрелок указывает на наличие годовой периодичности на разных периодах. Это свидетельствует о том, что годовым изменениям электропроводности в той или иной степени подвержены различные толщи литосферы.

В связи с этим представляет интерес рассмотрение корреляционных соотношений между уровнем подземных вод и величиной магнитного типпера на поверхности земной коры. Измерения вариаций уровня подземных вод выполнялись в скважине глубиной около 30 м с использованием стандартных электроуровнемеров. В качестве исходных данных привлекались ряды среднесуточных значений уровня верхнего безнапорного водоносного горизонта.

Оценка тесноты (силы) связи между двумя временными рядами (магнитный типпер и уровень подземных вод) проводилась в настоящей работе с использованием критериев линейной корреляции Пирсона и ранговых корреляций Спирмена и Кендалла [Статистика, 2002], для подтверждения статистической значимости был применен тест с суррогатными рядами данных. Полученные данные свидетельствуют о значимой корреляции между сезонными вариациями одного из основных параметров магнитного поля – магнитного типпера, и изменением уровня подземных вод в безнапорном горизонте.

#### Список использованной литературы

1. Статистика. Учебник. Под ред. проф. И. И. Елисейевой. М.: ВИТРЭМ. 2002. 448 с.
2. *Korner T. W.* Fourier Analysis, Cambridge University Press, Cambridge. 1988. 608 p.
3. *Meyer Y.* Wavelets: Algorithms and Applications, SIAM, Philadelphia. 1993. 226 p.
4. *Larsen J. C.* Transfer functions: smooth robust estimates by least-squares and remote reference methods // Geophys. J. 1989. V. 99, P. 645-663.

#### ANALYSIS OF VARIATION OF GEOMAGNETIC FIELD AT THE MID-LATITUDE OBSERVATORIES

*Riabova S. A.*

The data of instrumental observations for local variations of geomagnetic field at the earth surface at the mid-latitude observatories “Mikhnevo” of the Institute of Geospheres Dynamics RAS and “Borok” of Institute of Earth's physics RAS are analyzed. The main periodicities are revealed in the background local variations of the magnetic field of the Earth. It is shown that the periodicities in the background variations are both regular and sporadic. Structure of imaginary arrow's variations demonstrates presence of annual periodicity on different periods. It is shown the presence of correlation between local long period variations of the magnetic tipper on the one hand and season variations of the underground water level on the other hand.

Научный руководитель: Спивак Александр Александрович заведующий лабораторией «Приповерхностная геофизика», доктор физико-математических наук, профессор.

**УСТАНОВЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ СЕЙСМИЧЕСКИМ ФОНОМ И ГЕОМАГНИТНЫМИ ВАРИАЦИЯМИ НА СРЕДНЕШИРОТНОЙ ОБСЕРВАТОРИИ «МИХНЕВО»**

*Рябова С. А.* (Институт динамики геосфер РАН, Москва, Россия)

Одним из наиболее важных для повседневной деятельности человека является поле фоновых сейсмических колебаний, отражающее свойства конкретного участка земной коры (например, наличие активных разломных зон, подвижность или стабильность блоковой системы) [Спивак, 2010; Спивак, Кишкина, 2004]. Сейсмический фон представляет собой малые фоновые колебания твердой поверхности Земли и является суперпозицией несвязанных между собой колебательных процессов от различных, как по положению, так и по природе, сейсмических источников. Представляется весьма важным установление возможных связей между микросейсмическим полем и другими геофизическими полями.

В настоящей работе исследуется возможная связь между геомагнитными возмущениями на земной поверхности и полем микросейсмических колебаний.

В качестве исходных данных при анализе использовались результаты синхронной регистрации геомагнитных вариаций и сейсмических колебаний на среднеширотной Геофизической обсерватории «Михнево» ИДГ РАН. Следует отметить, что район расположения ГФО «Михнево» характеризуется наличием глубинной тектонической структуры, которая представлена Нелидово-Рязанской шовной зоной (НРШЗ).

Анализ геомагнитных наблюдений показал, что на ГФО «Михнево» значительное количество суток (примерно 30 %) характеризуется повышенной геомагнитной активностью.

Геомагнитные вариации на приповерхностных участках могут возникать в результате распространения сейсмического сигнала [Адушкин и др., 2006; Лукишов, Спивак, Тер-Семенов, 2012]. Инструментальные наблюдения, выполненные в зонах тектонических разломов, где все эффекты усиливаются [Спивак, 2010], позволяют оценить характер и амплитуду геомагнитных вариаций в результате сейсмического воздействия на твердую среду. В частности, получено, что вызываемые даже значительными по амплитуде сейсмическими волнами (мм/с) геомагнитные вариации не превышают 4 нТл и имеют характер квазипериодических колебаний [Лукишов, Спивак, Тер-Семенов, 2012].

Характер анализируемых в настоящей работе геомагнитных вариаций имеет другой характер и существенно отличается от квазигармонических колебаний. При анализе данных в настоящей работе амплитуда сейсмических фоновых вариаций не превышала 0,3 мкм/с, а диапазон изменения амплитуды геомагнитных импульсных вариаций составил 10-300 нТл.

Это служит основанием для того, чтобы утверждать, что природа привлекаемых для анализа геомагнитных вариаций не имеет сейсмического происхождения.

С целью подтверждения эндогенного характера очага исследуемых геомагнитных вариаций были выполнены расчеты эквивалентных токов, вызывающих наблюдаемые вариации магнитного поля в районе ГФО «Михнево».

Полученные данные в настоящей работе демонстрируют наличие связи между амплитудой геомагнитных вариаций и вероятным откликом сейсмического фона в конкретных условиях ГФО «Михнево».

**Список использованной литературы**

1. *Спивак А. А.* Особенности геофизических полей в разломных зонах // Физика Земли. 2010. № 4. С. 55-66.

2. Спивак А. А., Кишкина С. Б. Исследование микросейсмического фона с целью определения активных тектонических структур и геодинамических характеристик среды / Физика Земли. 2004. № 7. С. 35-49.

3. Адушкин В. В., Спивак А. А., Кишкина С. Б., Локтев Д. Н., Соловьев С. П. Динамические процессы в системе взаимодействующих геосфер на границе земная кора-атмосфера // Физика Земли. 2006. № 7. С. 34-51.

4. Лукишов Б. Г., Спивак А. А., Тер-Семенов А. А. Вариации геомагнитного поля при распространении сейсмических волн через разлом // Доклады академии наук. 2012. Т. 442. № 2. С. 259-262.

**ESTABLISHING THE POSSIBLE RELATIONSHIP BETWEEN SEISMIC  
BACKGROUND AND GEOMAGNETIC VARIATIONS AT THE MID-LATITUDE  
OBSERVATORY “MIKHNEVO”**

*Riabova S. A.*

The data of instrumental observations for local variations of geomagnetic field and seismic vibrations at the earth surface at the mid-latitude Geophysical observatory “Mikhnevo” of the Institute of Geospheres Dynamics are analyzed. Analysis of geomagnetic observations showed that at the observatory “Mikhnevo” the significant number of days (about 30 %) is characterized by increased geomagnetic activity. Nature of geomagnetic variations considered for the analysis has no seismic origin. The correlation analysis confirms the significant correlation between maximum of amplitude of variation of mean-square velocity oscillations in seismic background and amplitude of geomagnetic variation.

Научный руководитель: Спивак Александр Александрович заведующий лабораторией «Приповерхностная геофизика», доктор физико-математических наук, профессор.

**АНИЗОТРОПНЫЕ СВОЙСТВА ВЕРХНЕЙ МАНТИИ АЗИИ ПО  
ДАНЫМ О ДИСПЕРСИИ ВОЛН РЭЛЕЯ И ЛЯВА***Середкина А. И. (Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия)*

Изучение горизонтальных неоднородностей коры и верхней мантии Азии выполнено с помощью метода поверхностно-волновой томографии по групповым скоростям волн Рэлея и Лява. Область исследования включает в себя Сибирскую платформу, Западно-Сибирскую плиту, структуры Монголо-Охотского складчатого пояса, платформы Восточного и Юго-Восточного Китая, бассейны окраинных морей (Охотского и Японского), высокогорные сооружения Тянь-Шаня, Памира и Гиндукуша, а также плато Тибет с его горным обрамлением.

Материалом для исследования строения земной коры и верхней мантии служили записи поверхностных волн от сильных ( $M \geq 5.5$ ) удаленных землетрясений на каналах LHZ цифровых широкополосных сейсмических станций сетей IRIS. Всего было использовано 145 землетрясений, зарегистрированных в период с 1991 по 2009 г. Диапазон расстояний от эпицентров выбранных для анализа землетрясений до регистрирующих станций составил 1500-16000 км, что в большинстве случаев позволило выделить основную моду поверхностных волн в пределах диапазона периодов колебаний от 10 до 250 с. В результате с помощью процедуры спектрально-временного анализа [1] были получены дисперсионные кривые групповых скоростей волн Рэлея и Лява для более чем 3200 сейсмических трасс, пересекающих Азиатский континент в различных направлениях.

Карты распределений групповых скоростей были рассчитаны методом двумерной томографии для случая сферической поверхности [2, 3]. Всего было построено 18 карт вариаций групповых скоростей основной моды волн Рэлея и 16 карт вариаций групповых скоростей волн Лява относительно средних для исследуемой области дисперсионных кривых.

Разрешение результатов картирования оценивалось путем вычисления эффективного радиуса осреднения. При этом наилучшее разрешение (~300 км) получено для центральной части области исследования, на периферии значения эффективного радиуса осреднения несколько выше. Кроме того необходимо отметить закономерное ухудшение разрешения с увеличением периода.

Анализ распределений групповых скоростей для отдельных периодов позволяет получить общие представления о крупномасштабных горизонтальных неоднородностях глубинного строения. На полученных картах для обоих типов поверхностных волн прослеживаются общие закономерности: хорошо выражены низкоскоростные аномалии под Тибетом, а также в районах высокогорных сооружений Южной Сибири и Западной Монголии, в то время как платформенные регионы характеризуются более высокими значениями групповых скоростей. Различия в распределениях групповых скоростей волн Рэлея и Лява на одних и тех же периодах могут быть обусловлены различной разрешающей способностью исходных данных, разной глубиной проникновения поверхностных волн, а также вертикальной анизотропией, проявляющейся в различии скоростей волн  $SV$  и  $SH$ .

Для установления глубин залегания выявленных неоднородностей и расчета коэффициента анизотропии, на основании полученных распределений групповых скоростей поверхностных волн вычислялись локальные дисперсионные кривые, и проводилось их обращение в скоростные разрезы волн  $SV$  и  $SH$ . Сначала по локальным дисперсионным кривым волн Рэлея вычислялись скоростные разрезы волн  $SV$ , которые далее использовались в качестве начальных приближений при построении скоростных разрезов волн  $SH$ , удовлетворяющих локальным дисперсионным кривым волн Лява. Для проверки устойчивости полученных результатов строился усредненный по этим двум

решениям разрез, от которого снова проводились расчеты скоростных разрезов по дисперсионным кривым обоих типов поверхностных волн. И, наконец, по полученным скоростным разрезам волн *SV* и *SH* оценивался коэффициент анизотропии.

Совместный анализ карт распределений коэффициента анизотропии и карт распределений скоростей поперечных волн на различных глубинах позволяет заключить, что анизотропные свойства в верхней мантии наблюдаются до глубин ~250 км, что приблизительно соответствует нижней границе астеносферы. Максимальные значения коэффициента анизотропии приурочены к интервалу глубин от подошвы коры до 150 км. Наименьшие значения коэффициента анизотропии на всем интервале исследуемых глубин характерны для Сибирской платформы, а наибольшие – в районе побережья Японского моря. Кроме того, в интервале глубин 70-125 км прослеживается локальный максимум коэффициента анизотропии на северо-восточном фланге Байкальского рифта.

Полученные данные хорошо согласуются с результатами предыдущих исследований [4, 5], первое из которых основано на данных только групповых скоростей, второе – групповых и фазовых скоростей. Максимальные вариации коэффициента анизотропии во всех работах составляют около 6 %. Прослеживается максимум коэффициента для Хангайского сводового поднятия, а также высокогорных сооружений Южной Сибири и Западной Монголии, минимальные значения получены для Сибирской платформы. Преимуществом результатов, полученных в данной работе, является лучшее разрешение исходных данных и, соответственно, большая детальность рассчитанных карт.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 14-05-31173) и интеграционного проекта ОНЗ № 7.7.

#### Список использованной литературы

1. Левшин А. Л., Яновская Т. Б., Ландер А. В. и др. Поверхностные сейсмические волны в горизонтально-неоднородной Земле. М.: Наука, 1986. 278 с.
2. Яновская Т. Б. Развитие способов решения задач поверхностно-волновой томографии на основе метода Бэйкуса-Гильберта. – Вычислительная сейсмология. – Вып. 32. 2001. – С. 11-26.
3. Yanovskaya T. B., Antonova L. M., Kozhevnikov V. M. Lateral variations of the upper mantle structure in Eurasia from group velocities of surface waves // Phys. Earth Planet. Int. – 2000. – V. 122. – P. 19-32.
4. Яновская Т. Б., Кожевников В. М. Анизотропия верхней мантии Азиатского континента по групповым скоростям волн Рэлея и Лява // Геология и геофизика. 2006. Т. 47. № 5. С. 622-629.
5. Яновская Т. Б., Акчурун К. Р. Анизотропия верхней мантии Азиатского континента по данным фазовых и групповых скоростей волн Рэлея и Лява // Вопросы геофизики. Выпуск 42. СПб, 2009. Учебные записки СПбГУ; № 442. С. 3-11.

#### UPPER MANTLE ANISOTROPY IN ASIA FROM THE DISPERSION OF RALEIGH AND LOVE WAVES

*Seredkina A. I.*

The mantle structure of the continent of Asia was investigated by surface-wave tomography from dispersion of the fundamental mode of the Rayleigh and Love wave group velocities along more than 3200 earthquake-station paths. The dispersion curves were processed by a frequency-time analysis procedure at periods from 10 to 250 s. The group velocity maps were computed separately for each period, at different sampling intervals. We used a tomography method developed for spherical surface. Resolution was estimated according to the effective averaging radius (R) and presented likewise in the form of maps. To estimate the

depths of the inhomogeneities and to calculate the anisotropy coefficient, locally averaged dispersion curves were calculated using the group velocity maps, with reference to the radius  $R$ , and were then inverted to  $SV$ - and  $SH$ -wave velocity-depth profiles. Anisotropy is observed in the upper mantle up to the depths of  $\sim 250$  km (i.e. in the asthenosphere) and it is the most prominent in the depth interval from the Moho to 150 km. The upper mantle under the Siberian platform is characterized by the minimum anisotropy coefficient. Maximum anisotropy is seen in the area of the Japan sea coast. The local maximum of the coefficient values is observed under the north-eastern flank of the Baikal rift at the depths from 70 to 125 km.

## ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

*Султангалеев Р. Р.* (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия)

Генетический алгоритм – это способ решения глобальных нелинейных задач оптимизации. В основе лежит использование эволюционных принципов для поиска оптимального решения. По аналогии с эволюционными процессами в природе, генетический алгоритм производит отбор наилучших моделей. Интерес к этому методу неуклонно растет, он находит все новые применения в различных областях физики, математики и других естественных наук, где требуется решать задачи оптимизации. Основные этапы алгоритма:

- Кодирование
- Отбор
- Скрещивание
- Мутация
- Выбор

Отбор наилучших моделей, скрещивание и мутация так же используются в генетике, поэтому алгоритм называется генетическим.

Рассматривается следующая скоростная модель среды: скорость меняется по линейному закону до границы раздела сред ( $V_0 + \alpha Z$ ), где происходит скачок скорости, далее скорость остается постоянной. В работе алгоритм используется для оценивания параметра  $\alpha$ . Модель, при значении углового коэффициента  $\alpha$  равного 0.3, считается экспериментальной. Общей чертой всех ГА является двоичная кодировка параметров модели. Задается интервал изменения параметра  $\alpha$  от 0 до 1.4 с шагом 0.05. Таким образом, для подобного кодирования достаточно пяти бит. На этапе кодирования алгоритм определяет пригодность модели, т.е. синтетические данные сравниваются с экспериментальными при помощи целевой функции. При выборе функции наряду с физическим обоснованием необходимо учитывать вычислительную сложность и практическую реализуемость выбранного подхода. В работе используется среднеквадратическая функция ошибок:

$$F(\alpha) = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N (u_{ik0} - u_{ik}(\alpha))^2,$$

где  $u_{i0}$  соответствует наблюдаемым данным, а  $u(\alpha)$  соответствует модельным данным.

На следующем шаге необходимо оценить величину согласия моделей. Оценку предлагается провести методом, основанным на отношении функций согласия индивидуальных моделей к сумме согласий для всех моделей из рассматриваемого набора:

$$p_i(\alpha) = \frac{F(\alpha)}{\sum_{j=1}^I F(\alpha)}$$

Подбираем пары близкие по величине  $p_i(\alpha)$ . Отбор будет продолжаться до тех пор, пока модели не будут разбиты на пары. Далее при помощи генетических операций скрещивания и мутации каждая пара моделей порождает две вторичные пары. В результате образуется новая популяция. Скрещивание позволяет произвести обмен информацией между моделями. Обмен информацией происходит ниже точки скрещивания, которая выбирается при помощи генератора случайных чисел. Целью мутации является изменение двоичного состояния. Процедура мутации выполняется, если некая величина, полученная генератором случайных чисел, меньше порогового значения вероятности выполнения мутации. Заключительным этапом работы алгоритма является

выбор. Выбор осуществляется для каждой  $L/2$  пар моделей, которые имеют наименьшие функции согласия. В результате получаем набор из  $L/2$  моделей. Далее мы снова возвращаемся к этапу скрещивания и мутации. Эти  $L/2$  моделей аналогично формируют  $L/4$  пары и т.д. Эта процедура повторяется до тех пор, пока не будет получена оптимальная модель, т.е. до тех пор пока алгоритм не достигнет глобального минимума.

В работе рассматривается волновое уравнение, которое решается методом конечных разностей. Для этого вводится прямоугольная сетка типа крест. Задается шаг по одной координате, а по другой шаг определяется из условия Куранта. Выполнение условия Куранта так же гарантирует устойчивость поля. Таким образом, заменяя первые и вторые производные в волновом уравнении их конечно-разностными соотношениями, мы можем определять значения полей в строках, если известны значения полей в двух предыдущих строках. Самые первые строки в сетке полагаются равными нулю. Для того, чтобы поле в третьей строке было отлично от нуля, надо привлечь источник  $f$ . В данной работе моделируется в роле сигнала от источника импульс Рикера. Этот сигнал выбран из тех соображений, что он более или менее соответствует реальному сигналу и может быть описана математически. Таким образом, устанавливая на дневной поверхности источник и ряд приемников, мы получаем синтетическую сейсмограмму. Сейсмограмма состоит из нескольких трасс, каждая из которых соответствует отдельному приемнику. На каждой трассе изображено два сигнала: прямой, идущий от источника и отраженный, пришедший от границы раздела двух сред. Сейсмограмма, отвечающая реальной модели, всегда содержит компоненту шума. К шуму можно отнести влияние метеословий и микросейсм. Учитывая физическую природу шума предположим, что он соответствует нормальному распределению. В реальности такое распределение выполняется далеко не всегда, но в рамках нашей задачи наложение «белого» шума вполне достаточно. Используем для моделирования компоненты шума генератор случайных нормально распределенных чисел. Математическое ожидание принимается равным нулю, а среднеквадратическое отклонение выбирается из заданного отношения сигнал/помеха. В работе рассматривается три случая отношения сигнала/помеха: 1, 0.75 и 0.5.

График целевой функции для случая отношения сигнала/помеха, равного 0.5, содержит глобальный минимум, соответствующий значению углового коэффициента  $\alpha$ , равного 0.3, и один явно выраженный локальный минимум. ГА, в отличие от градиентных методов, не требует задания начального значения и всегда приходит к глобальному экстремуму.

Результаты проведенных численных экспериментов показали высокую эффективность генетического алгоритма при определении скорости распространения сейсмических волн в случае градиентного слоя.

### **ESTIMATION OF SEISMIC WAVES PARAMETERS WITH APPLICATION OF A GENETIC ALGORITHM**

*Sultangaleev R. R.*

A Genetic algorithm (GA) is an optimization technique that arrives at a solution using a method that simulates the process of evolution in biological systems. GA are very important methods for the solution of non-linear problems. The basic steps in GA are: coding, selection, crossover, mutation and choice. Coding is a way of representing data in binary notation. It is important to be able to record any valid option that could more or less claim to be the solution to the problem. When choosing the number of digits in the parameter note that when a large number of bits improves the accuracy of the solution, but increases the search time of the decision. To encode any parameter can seismic waves, for example, velocity. The algorithm must now determine the fitness of the individual models. This means that the binary information is decoded into the physical model parameters and the forward problem is solved. The re-

sulting synthetic data is estimated, then compared with the actual observed data using the specific fitness criteria. Next step is selection. The selection of pairs of the individual models for the reproduction is based on their fitness values. Models with the higher fitness values are more likely to get the selection than models with low fitness values. A crossover caused the exchange of some information between the paired models thereby generating new models. The last genetic operation is a mutation. The mutation is a random change of binary state. The condition of the procedure of mutation: if a value obtained by a random number generator is less than a certain threshold value, the mutation procedure is performed. The last basic step in GA is choice. We choose from each pairs a model, which has the less fitness function. Then we produce the procedures: the crossover, the mutation and the choice. This procedure is continued until we obtain the optimal model.

In this paper we have used the GA for the estimation of the velocity for the gradient layer. The synthetic seismogram was calculated by the finite-difference method. The obtained results showed higher effectiveness GA for the velocity estimation.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук Троян Владимир Николаевич, профессор СПбГУ.

**II СЕКЦИЯ**

**РЕГИОНАЛЬНАЯ, ПОИСКОВО-КАРТИРОВОЧНАЯ И  
РАЗВЕДОЧНАЯ ГЕОФИЗИКА  
(УГЛЕВОДОРОДЫ И ТВЕРДЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ)**

**II SECTION**

**REGIONAL, PROSPECTING AND EXPLORATION GEOPHYSICS  
(HYDROCARBONS AND MINERAL RESOURCES)**

**ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДА АМТЗ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ ПРИЗНАКОВ  
ЛОКАЛИЗАЦИИ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В УГЛЕРОДИСТО-  
ТЕРРИГЕННЫХ ТОЛЩАХ**

*Горбунов А. А.* (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия)

Показаны возможности метода аудиоманнитотеллурического зондирования (АМТЗ) при выявлении признаков локализации месторождений золота в углеродисто-терригенных толщах по данным, полученным по региональным профилям в Байкало-Патомской и Верхояно-Колымской металлогенических провинциях. Рассмотрены основные особенности геологического строения районов работ. По результатам инверсии данных АМТЗ построены геоэлектрические разрезы вдоль изученных профилей и установлены особенности разрезов, которые могут рассматриваться как признаки локализации золоторудных месторождений.

**Введение**

В настоящее время при поисковых работах на золото значительное внимание уделяется золото-сульфидно-кварцевому типу месторождений. Это вызвано стабильной концентрацией золота в руде данного типа и большими его объемами в выявленных месторождениях [1]. Формированию месторождений этого типа способствует наличие в разрезе высокоуглеродистых терригенных толщ. Ввиду большой контрастности рудных тел и рудовмещающих толщ по электрическим свойствам наиболее перспективными при решении поисковых задач являются методы электроразведки. Рассматриваются возможности метода аудиоманнитотеллурического зондирования (АМТЗ) при изучении высокоуглеродистых терригенных толщ и выявлении признаков локализации золоторудных месторождений.

**Краткая характеристика районов работ**

Работы методом АМТЗ были выполнены на Бодайбинском участке, расположенном в пределах Байкало-Патомской провинции (Бодайбинский район Иркутской области), и на Сусуманском участке, расположенном в пределах Верхояно-Колымской провинции (Сусуманский район Магаданской области). В ходе работ решались задачи изучения строения территорий вдоль региональных профилей, разделения углеродисто-терригенных толщ по геоэлектрическим параметрам и выявления геоэлектрических признаков локализации известных золоторудных месторождений.

В геологическом строении Бодайбинского участка принимают участие метаморфизованные и терригенно-карбонатные породы верхнепротерозойского возраста ( $R_2-V$ ) [2]. Эти породы сжаты в линейные складки северо-западного простирания. Главной структурой района работ является запрокинутая на юго-восток Сухоложская антикли-

наль, сложенная рифейскими породами имняхской и хомолхинской свит. В ядре складки локализовано известное золоторудное месторождение Сухой Лог [3].

На Сусуманском участке распространены дислоцированные и метаморфизованные породы пермско-юрского возраста. Складки преимущественно брахиформные, северо-западного простирания. Линии региональных профилей пересекают северо-западную часть Аян-Юрхского антиклинория. Ядро антиклинория слагают рудовмещающие породы атканской свиты, сложенные карбонатизированными и хлоритизированными углисто-глинистыми сланцами [1,4]. В этой толще локализованы известные золоторудные месторождения Петух и Олботское.

### **Аппаратура и программные средства АМТЗ**

Метод АМТЗ основан на измерениях естественных электромагнитных полей грозовой природы в диапазоне частот от 1 до 10 000 Гц. Измеряются горизонтальные компоненты электрического и магнитного полей. По данным измерений рассчитываются частотные кривые кажущегося сопротивления  $\rho_k$  и фазы импеданса  $\varphi_z$ . Их инверсия позволяет построить геоэлектрический разрез в точке зондирования.

При проведении полевых работ использовалась аппаратура АКФ-4М [5]. В состав аппаратурного комплекса входят четырёхканальный регистратор, предусилитель электрических каналов, две приёмные электрические линии и два индукционных магнитных датчика.

Обработка полевых данных выполнена в программе SM+, реализующей фильтрацию сигналов и робастную обработку данных, что позволяет уменьшить влияние помех. Полученные кривые зондирования в дальнейшем использовались для анализа и инверсии данных в программе ZondMT2D ([www.zond-geo.ru](http://www.zond-geo.ru)).

### **Результаты**

**Бодайбинский участок.** Зондирования выполнялись по двум профилям, ориентированным вкrest структур района. Шаг между точками зондирования составлял 200 м, а на участке детализации в районе месторождения Сухой – 100 м.

В результате двумерной инверсии данных АМТЗ построены геоэлектрические разрезы, на которых прослеживаются складчатые структуры. Отчётливо выделяется антиклинальная складка, в ядре которой залегают проводящие высокоуглеродистые сланцы хомолхинской свиты, а крылья сложены высокоомными карбонатными породами и песчаниками имняхской свиты. По полученному геоэлектрическому разрезу можно оценить элементы залегания складки. Таким образом, наличие в разрезе проводящих высокоуглеродистых толщ позволяет уверенно характеризовать структурные особенности участка.

На геоэлектрическом разрезе выделяются разрывные нарушения по контактам блоков пород с различными удельными сопротивлениями. Следует отметить, что разрывные нарушения района на разрезе выделяются недостаточно уверенно. По-видимому, это связано с малой контрастностью пород в зонах разломов относительно вмещающих пород по геоэлектрическим свойствам и редким шагом между точками зондирования.

**Сусуманский участок.** Работы выполнялись по двум региональным профилям общей протяженностью 34 км, ориентированным вкrest структур района. Расстояние между точками зондирования составляло 250 м. На профиле, пересекающем известное месторождение Петух, была выполнена детализация с шагом 125 м.

В результате обработки и последующей двумерной инверсии данных АМТЗ были получены геоэлектрические разрезы. По полученным данным можно судить об особенностях складчатых структур. Например, контрастно проявлена антиклинальная

складка, в ядре которой, по-видимому, залегают проводящие углистые аргиллиты пионерской свиты (не выходящие на поверхность). Крылья складки сложены высокоомными (первые сотни Ом·м) диамиктитами атканской свиты, первой-второй подсвиты, высокоомными (сотни – тысячи Ом·м) песчаниками, аргиллитами, гравелитами и конгломератами третьей – четвертой подсвит атканской свиты и омчакской свиты нижней подсвиты. По геоэлектрическим разрезам также можно оценить элементы залегания пород.

На изученной территории широко развиты разрывные нарушения преимущественно северо-западной ориентировки. На геоэлектрических разрезах можно выделить несколько разрывных нарушений, проявленных перерывами в залегании высокоомных толщ. Следует отметить, что другие разрывные нарушения, вероятно, не проявились вследствие их слабой контрастности, а также выбранной детальности работ (шаг между точками зондирования составлял 250 м).

### Выводы

На основе результатов, полученных по региональным профилям в Байкало-Патомской и Верхояно-Колымской металлогенических провинциях, показана высокая эффективность метода АМТЗ при разделении углеродисто-терригенных толщ по геоэлектрическим параметрам и выявлении геоэлектрических признаков локализации зон возможного расположения золоторудных месторождений. По данным АМТЗ также удалось оценить элементы залегания Сухоложской и Аян-Юряхской структур, в пределах которых расположены известные золоторудные месторождения.

Работа выполнена при поддержке ресурсного центра «Геомодель» СПбГУ.

### Список использованной литературы

1. *Михалицына Т. И.* Роль литолого-стратиграфического пермского уровня в формировании большеобъемного золотого оруденения Аян-Юряхского антиклинария (Южный фланг Яно-Колымского комплекса) / Михалицына Т.И. // Диссертация на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук. – Магадан, 2011 г. – 163 с.
2. *Иванов А. И.* Металлоносность Байкало-Патомской металлогенической провинции / Иванов А.И. // Диссертация на соискание учёной степени доктора геолого-минералогических наук. – Москва, 2010 г. – 348 с.
3. *Вуд Б. Л.* Гигантское месторождение золота Сухой Лог (Сибирь) / Б.Л. Вуд, Н.П. Попов // Сибирское отделение РАН. Геология и геофизика. – 2006 г. – Т. 47, № 3. – С. 315-341.
4. *Астахов А. С.* Об условиях формирования обогащенных золотом горизонтов рудовмещающих черносланцевых толщ (на примере пермских отложений и современных морских отложений северо-востока Азии) / Астахов А.С. // Доклады Академии наук, 2010. – Т. 430, № 2, – С. 212-217.
5. *Сараев А. К.* Аппаратурно-программный комплекс аудиоманнитотеллурических зондирований АКФ-4М / Сараев А.К. [и др.] // Материалы Пятой всероссийской школы-семинара имени М.Н. Бердичевского и Л. Л. Ваньяна по электромагнитным зондированию Земли – ЭМЗ-2011. В двух книгах. – СПб.: СПбГУ, 2011. - Книга 2.– С. 475-478.

**POSSIBILITIES OF THE AMT SOUNDING METHOD AT THE ALLOCATION  
OF GOLD DEPOSITS ATTRIBUTES IN CARBON-TERRIGENOUS ROCKS**

*Gorbunov A. A.*

Possibilities of the audiomagnetotelluric (AMT) sounding method for the allocation of gold deposits attributes in carbon-terrigenous rocks are considered. Features of geological structure of investigated areas have been analyzed. Data obtained along regional profiles at the Baikal-Patom and Verkchoyansk-Kolyma metallogenic provinces have been used. According to results of AMT data inversion geoelectric cross-sections along the studied profiles were obtained. Features of cross-sections which could be considered as attributes of gold deposits localization have been determined.

Научные руководители: Сараев Александр Карпович – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геофизики Института наук о Земле СПбГУ, Антащук Ксения Михайловна – главный специалист Института наук о Земле СПбГУ.

**КОРРЕКЦИЯ КИНЕМАТИКИ ВОЛНОВОГО ПОЛЯ В ЗАДАЧЕ  
КОМПЕНСАЦИИ ПЕРЕМЕННОГО РЕЛЬЕФА ДНЕВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

*Горелик Г. Д.* (Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия)

При обработке сейсмических данных МОГТ наблюдаемое временное поле представляется суммой двух составляющих: нормального поля отраженных волн, определенного от линии приведения (ЛП) и статических поправок – временных задержек, определенных для каждой трассы в пунктах взрыва и приема. Пересчет поля на линию приведения выполняется сдвигом трасс по времени на величину статических поправок.

Если неоднородность ВЧР включает переменный рельеф дневной поверхности, то интервал разреза между дневной поверхностью и линией приведения, кроме ЗМС, представлен отложениями, скорость в которых сопоставима со скоростью подстилающих отложений. В этом случае «статическая» и «лучевая» временные задержки существенно различаются и при пересчете волнового поля на линию приведения необходимо учитывать преломление лучей на линии приведения.

Модель среды, описывающая задачу компенсации рельефа, представим двумя слоями. Первый слой ограничен линиями наблюдения и приведения, нижняя граница второго определяется отражающей границей. Введем параметры модели:

$v_1$ ,  $\tau$  – скорость и двойное вертикальное время слоя, ограниченного ЛП и линией наблюдения (ЛН). Параметр  $\tau$  представляет величину суммарной статической поправки. Эти два параметра считаем заданными априори;

$t_0$ ,  $v_0$  – вертикальное время и эффективная скорость отраженной волны в предположении, что наблюдения выполнены на линии приведения;

$(t_0 - \tau)$ ,  $v_r$  – вертикальное время и эффективная скорость отраженной волны в предположении, что регистрация выполнена на линии наблюдения;

Эффективные скорости многослойной среды для удаления источник-приемник менее 0.8 глубины отражающего горизонта удовлетворительно описываются уравнением среднеквадратичной скорости [1]. Используем это уравнение для связи параметров двухслойной модели:

$$v_r^2(t_0 - \tau) = v_0^2 t_0 + v_1^2 \tau. \quad (1)$$

Уравнение (1) является основой для скоростного анализа и суммирования отраженных волн для модели среды, в которой неоднородность ВЧР описана определенной скоростью и временной мощностью [2, 3].

При компенсации рельефа статическими поправками значения эффективных скоростей отраженных волн имеют недопустимые с практической точки зрения искажения. Тем не менее, по результатам стандартной обработки получен скоростной разрез, известны статические поправки и, соответственно известна скорость слоя, которая использовались для расчета поправок. Покажем, что этих данных достаточно для решения задачи коррекции кинематики волнового поля.

Пусть дано волновое поле с введенными статическими поправками и определены кинематические параметры, полученные по результатам стандартной обработки, где  $v_c(t_0)$  – скорости суммирования;

После ввода статических поправок время наступления сейсмического события (отражения) на линии приведения определяется уравнением годографа:

$$t_c(l) = \sqrt{t_0^2 + (l/v_c)^2} \quad (2)$$

При заданных значениях  $t_0$ ,  $v_c$  можно рассчитать параметры годографа от линии наблюдения:

$$t_r = t_0 - \tau; \quad v_r^2 = v_c^2 t_0 / (t_0 - \tau).$$

В этом преобразовании выполнен пересчет скорости на линию наблюдения с нулевым значением скорости первого слоя ( $v_1 = 0$ ). Далее, используя уравнение среднеквадратичной скорости (1), выполняем обратный пересчет на ЛП, но уже с истинным значением скорости первого слоя:

$$v_0^2 = (v_r^2(t_0 - \tau) - v_1^2 \tau) / t_0 = v_c^2 - v_1^2 \tau / t_0.$$

Время сейсмического события после пересчета определяется двумя параметрами годографа  $t_0, v_0$ :

$$t(l) = \sqrt{t_0^2 + (l/v_0)^2} = \sqrt{t_0^2 + l^2 t_0 / (v_c^2 t_0 - v_1^2 \tau)}. \quad (3)$$

В результате выполненных преобразований для любого значения вертикального времени  $t_0$ , измеряемого от линии приведения, определены два значения скорости:  $v_c$  – измеренное после ввода статических поправок и редуцированное –  $v_0$ . Последнее значение описывает результат пересчета на линию наблюдения с использованием уравнения среднеквадратичной скорости.

Разность времен годографов (2) и (3) определяет величину корректирующей поправки

$$d_t(l) = t_c(l) - t(l),$$

которой реализуется пересчет волнового поля от статической к кинематической модели компенсации неоднородности ВЧР.

Опробование предложенного алгоритма на модели многослойной среды с переменным рельефом дневной поверхности показывает, что сравнительно со способом статических поправок погрешность оценивания скорости суммирования и эффективной глубины отраженных волн снижается не менее, чем в 5 раз.

### Заключение

Показано, что компенсация неоднородности ВЧР статическими поправками представляет собой вариант решения задачи с условием равенства нулю скорости первого слоя, описывающего верхнюю часть разреза.

Рассмотрен алгоритм компенсации переменного рельефа дневной поверхности с реальным значением скорости первого слоя, который обладает двумя практически важными свойствами: а) использует кинематические и статические параметры волнового поля, полученные при стандартной обработке сейсмических данных; б) в результате коррекции кинематики волнового поля резко сокращаются искажения скоростей суммирования.

### Список использованной литературы

1. Бляс Э. А. Новый взгляд на скорости ОГТ в слоистых латерально неоднородных средах: аналитическое и численное исследование // Технологии сейсморазведки. 2005. № 3. – С. 7-25.
2. Сысов А. П., Янивец Р. Б. Влияние рельефа на оценки кинематических параметров отраженных волн // Геофизический вестник. 2004. № 12. – С. 10-15.
3. Сысов А. П. Прикладные задачи компенсации неоднородности верхней части разреза при обработке и интерпретации сейсмических данных /А.П. Сысов; Новосибирск: ИНГТ им. А.А.Трофимчука СО РАН, 2011. – 90 с.

**CORRECTION OF WAVE FIELD IN THE PROBLEM OF  
COMPENSATION OF VARIABLE SURFACE**

*Gorelik G. D.*

In processing surface seismic observations of seismic reflection method near-surface section is described as a layer, which is bounded of daylight survey and datum level. If near-surface section is compensated by static is supposed that the velocity of layer equal zero and influence of this feature on kinematic of reflection waves is described by time thickness of layer only. Such simplification of model lead to distortion of stacking velocity with subsequent influence on solve of inverse kinematic task. The solution of the problem of near-surface compensation with the true value of velocity of near-surface layer is described here. The effectiveness of the research is illustrated in the results of mathematical modeling.

Научный руководитель: Сысоев Анатолий Петрович, доктор технических наук, профессор кафедры геофизических и геохимических методов поисков и разведки месторождения полезных ископаемых Национального минерально-сырьевого университета «Горный», Санкт-Петербург.

**НОВЫЕ ДАННЫЕ О СТРОЕНИИ ШЕЛЬФА  
ПРЯМАЛЬСКОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ***Жолондз А. С. (ФГУП «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург, Россия)*

В настоящее время шельфовая часть северных морей представляет наибольший интерес для поиска и разведки новых месторождений углеводородов. Одним из перспективных мест является приямальский шельф Карского моря. Это объясняется большим количеством ранее разведанных запасов на полуострове Ямал и в море, а также уже созданной инфраструктурой.

В 2012-2014 гг. ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга» и ОАО «МАГЭ» провели совместные комплексные геофизические работы на приямальской части южнокарского шельфа. По сети профилей были проведены сейсмические исследования МОВ-ОГТ, сеймопрофилирование, гравиметрическая съемка, геохимические и электрохимические опробования. Всего было выполнено 19 профилей общей протяженностью более 1400 пог. км. Особенность данных исследований заключается в том, что впервые в этом регионе было проведено систематическое исследование зоны перехода суша-море (транзитной зоны). Также для увеличения достоверности интерпретации полученных данных был выполнен профиль суша-море от Восточно-Бованенковского месторождения через транзитную зону. Это позволило провести непрерывную корреляцию опорных сейсмических горизонтов на суше и на море и увязать их с данными по скважине.

Техническое исполнение сейсморазведочных работ позволяет иметь сопоставимую глубинность разрезов вне зависимости от типа проводимых работ – на море, на суше или в транзитной зоне. Разрешенность сейсмической записи позволило выделить отражающие поверхности до 5 с – до подошвы мезозойских отложений. Таким образом, результаты сейсмических работ представляют собой уникальные материалы о строении осадочного чехла региона.

Полученные сейсмические данные были увязаны также с результатами ранее проведенных работ – региональными сейсморазведочными профилями в Карском море, площадными работами на Обручевском валу. Это позволило провести структурный анализ приямальской части Карского моря. В результате была построена актуализированная схема структурного строения, согласованная со структурными и тектоническими построениями, выполненными М. Л. Вербой [1], В. А. Верниковским [2] и др. В рамках разведочной части работ были выделены 6 участков, перспективных на углеводороды. Четыре из них совпадают с ранее выявленными структурами, одно удалось расширить за счет обнаруженной в транзитной зоне новой локальной структуры. Еще одна структура является новой, ранее не обозначенной на картах. Перспективность вновь открытых структур подтверждена данными геохимии.

**Список использованной литературы**

1. *Верба М. Л., Иванов Г. И.* Тектоническая карта Баренцево-Карского региона масштаба 1:2500 000: нефтегеологический и геоэкологический прогноз // Труды 9-й Международной конференции и выставки по освоению ресурсов нефти и газа Российской Арктики и континентального шельфа стран СНГ (RAO/CIS Offshore 2009) 13 – 16 сентября 2009 года. – СПб: ХИМИЗДАТ.– 2009.

2. *Верниковский В. А., Добрецов Н. Л., Метелкин Д. В., Матушкин Н. Ю., Кулаков И. Ю.* Проблемы тектоники и тектонической эволюции Арктики // Геология и геофизика.– 2013.– Т. 54.– № 8. – С. 1083-1107.

**NEW FINDINGS ABOUT STRUCTURE OF THE  
NEAR-YAMAL PART OF THE KARA SEA**

*Zholondz A. S.*

Replenishment of the hydrocarbon resources is the strategic objective at the present day. One of the most promising places to solve the problem is located in the Yamal Peninsula and the adjacent area of the Kara Sea shelf. During 2012-2014 FSUE “VNIIOkeangeologia named after I.S. Gramberg” in cooperation with JSC “MAGE” carried out the regional investigations, which allow to clarify the geological structure of the Yamal offshore zone in the Kara Sea taking into account the previously unexplored area of land-sea transition area (transition zone). Complex geophysical works were carried out to give an opportunity to clarify the position of promising hydrocarbon zones. The revision of several previously known structures was carried out, and discovered a new structure, located in the transit area. Hydrocarbon prospectivity of the structure is confirmed by the complex of seismic, geochemistry and electrical exploration.

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук А. Д. Павленкин, главный научный сотрудник ФГУП «ВНИИОкеангеология».

**ПРИМЕНЕНИЕ 1D И 2D БАСЕЙНОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ  
ИССЛЕДОВАНИИ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЮЖНО-КАРСКОЙ ВПАДИНЫ**  
*Кишанков А. В* (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,  
Россия)

В настоящее время действенным и поэтому востребованным инструментом прогнозирования нефтегазоносности различных регионов является бассейновое моделирование. Современное программное обеспечение позволяет на основе исходных геологических, геофизических, геохимических, термодинамических данных по тому или иному осадочному бассейну рассчитать его эволюционную модель. Такая модель включает в себя историю накопления осадков, прогрева и созревания пород, обогащенных органическим веществом, миграции углеводородов и их аккумуляции в различных структурах. Основными данными, используемыми в ходе бассейнового моделирования, являются результаты геофизических, главным образом, сейсмических исследований. На их основе проводится расчленение осадочного чехла на отдельные пласты, исследуется геометрия их залегания, выделяются разрывные нарушения, стратиграфические несогласия.

Особенно актуально бассейновое моделирование для районов, в которых проведение геологоразведочных работ осложнено в связи с неблагоприятными климатическими условиями. К таким районам относятся шельфы арктических морей. Объектом исследования в работе являлась Южно-Карская впадина – крупная отрицательная структура, относящаяся к Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (Обьяснительная..., 1996). В работе было проведено одномерное и двухмерное бассейновое моделирование в программном обеспечении PetroMod компании Schlumberger.

Одномерное моделирование проводится по данным скважин и позволяет установить, в каких толщах могла происходить генерация углеводородов. Для построения исходной модели необходима информация о глубине залегания, возрасте, литологическом составе каждой свиты, вскрытой скважиной. Нефтегазоматеринские толщи должны быть дополнительно охарактеризованы геохимическими параметрами, включающими среднее содержание органического углерода, водородный индекс, тип органического вещества. В Южно-Карской впадине выделены следующие материнские толщи: танопчинская (готерив-апт) и баженовская (титон-берриас) свиты, большехетская серия (нижняя-средняя юра). Для модели необходимо задать граничные условия, характеризующие развитие участка земной коры, на котором формировался бассейн. Они включают изменение со временем теплового потока, глубины бассейна осадконакопления, температуры поверхности осадков (Al-Hajeri, Al-Saeed, 2009).

Одномерное моделирование было выполнено по скважине № 1 Ленинградского месторождения, расположенного в Южно-Карской впадине, и скважине № 116 Бованенковского месторождения, расположенного на полуострове Ямал (Обобщение..., 1999). Первая скважина вскрывает отложения до глубины аптского яруса, соответствующего танопчинской свите, вторая вскрывает осадочный чехол полностью. Модели были откалиброваны по современным скважинным значениям температуры и отражательной способности витринита путем корректировки исходных данных теплового потока. Полученные в результате калибровки значения теплового потока были использованы для двухмерного моделирования.

Двухмерное моделирование проводится на основе сейсмического разреза и позволяет выявить структуры, в которых могли образоваться скопления нефти и газа. Для построения двухмерной модели необходимы те же исходные данные, что и для одномерной. Однако в этом случае требуется определение вариации геологических и геохимических характеристик не только по глубине, но и по латерали – в направлении простирания исследуемого профиля. Моделирование было выполнено по двум последовательно сшитым сейсмическим профилям 86431 и 110F, пересекающим соответственно

Южно-Карскую впадину и полуостров Ямал с северо-запада на юго-восток и проходящим вблизи вышеупомянутых скважин. Интерпретация сейсмических разрезов была произведена в ПО Kingdom, разработанном компанией IHS Energy. В ходе моделирования выделенные на разрезе толщи были охарактеризованы литологическими и геохимическими параметрами на основе скважинных данных и карты распространения органического углерода основной нефтегазоматеринской толщи региона – баженовской свиты (Оценка..., 2008).

В результате двухмерного моделирования были получены скопления углеводородов в юрском и меловом нефтегазоносных комплексах как в континентальной, так и в акваториальной частях изучаемого разреза. Залежи на Ямале оказались приурочены к известным месторождениям, находящимся на линии исследуемого профиля – Харасавейскому, Крузенштернскому, Бованенковскому, Нейтинскому, Средне-Ямальскому. Строение и продуктивность данных месторождений описаны в работах по исследованию нефтегазоносности Карского шельфа и Ямала (Никитин, Ровнин, 2000; Брехунцов и др., 2008). На основе данного результата, был сделан вывод о корректности заданных в модели условий осадконакопления и образования, миграции и аккумуляции углеводородов. Поэтому наличие залежей в Южно-Карской впадине, пересекаемых указанным сейсмическим профилем, полученных в результате двухмерного моделирования, также весьма вероятно.

При наложении исследуемых профилей на карту нефтегазогеологического районирования шельфа Карского моря, было установлено, что рассчитанные залежи приурочены к двум известным структурам, выявленным ранее в результате сейсморазведочных работ – Воронинской-1 и безымянной структуре, расположенной в окрестностях Ленинградского месторождения (Фонды ФГУП ВНИИОкеангеология, 2002).

Таким образом, в результате проведенного бассейнового моделирования были выявлены перспективные в нефтегазоносном отношении структуры. Безусловно, полученные результаты носят предварительный характер, так как моделирование выполнено на основе весьма ограниченного количества данных. Для более полной характеристики нефтегазоносного потенциала Южно-Карской впадины необходимы дальнейшие исследования, включающие двухмерное и трехмерное бассейновое моделирование – для получения пространственного представления об особенностях осадконакопления и образования залежей углеводородов в пределах изучаемого региона.

### Список использованной литературы

1. Объяснительная записка к тектонической карте Баренцева моря и северной части Европейской России под ред. Н. А. Богданова и В. Е. Хаина. М.: Институт литосферы РАН, 1996. 94 с.
2. *Al-Hajeri M. M., Al Saeed M.* Basin and Petroleum System Modeling // Oilfield Review, Summer 2009: 21, № 2.
3. Обобщение материалов бурения скважины 1 Ленинградской площади. Мурманск, ГУП «Арктикморнефтегазразведка», 1999.
4. Оценка ресурсного потенциала осадочных бассейнов севера Евразии на основе литогеохимического анализа. Отчет о результатах работ по Государственному контракту от 13.04.2006 г. № К-41.13.04.06.003. Книга 5. Санкт-Петербург, ФГУП «ВСЕГЕИ», 2008.
5. *Никитин Б. А., Ровнин Л. И.* Перспективы открытия новых месторождений и залежей газа и нефти на шельфе Карского моря // Геология нефти и газа. 2000. № 5.
6. *Брехунцов А. М., Плесовских И. А., Нестеров И. И. (мл.), Бочкарев В. С.* Задачи региональных сейсморазведочных работ на современном этапе освоения нефтегазоносного потенциала ЯНАО // Горные Ведомости, 2008. № 9-10, С. 24-36.
7. Фонды ФГУП ВНИИОкеангеология, 2002.

**1D AND 2D BASIN MODELING IN STUDYING THE  
PETROLEUM POTENTIAL OF THE SOUTH KARA BASIN**

*Kishankov A. V.*

Basin modeling is widely used in petroleum industry nowadays. The concept of basin modeling consists in reconstruction of the processes of sediment deposition, heating, maturation of organic-rich rocks, migration and accumulation of hydrocarbons on the basis of geological, geophysical, geochemical, thermodynamical data. The significant sources of information for basin modeling are seismic data which are to clarify distribution and structure of particular layers that compose the sedimentary cover.

The object of the study was the South Kara Basin which is considered to be the northern extension of the Western Siberian oil and gas province. The study included 1D modeling for the wells of the Leningrad petroleum field in the Kara Sea, the Bovanenkovo field on the Yamal Peninsula and 2D modeling on the base of seismic section obtained in the vicinity of the mentioned wells. The 1D models were calibrated with the parameters of present day temperature and vitrinite reflectance measured in respective wells and thus, appropriate heat flow values for the region were obtained. These values were used for 2D modeling. The sedimentary layers distinguished in the 2D model were assigned with lithological and geochemical parameters on the base of well data and the map of organic carbon distribution for the Bazhenov formation.

As a result of 2D modeling, several accumulations were obtained both for the South Kara Basin and the Yamal Peninsula. Taking into consideration the fact that accumulations, which had occurred on the continent, referred to the existing petroleum fields of Yamal, a conclusion was made, that the model was adequate and accumulations which had appeared in the South Kara Basin could also be real.

Научные руководители: Черных А. А., кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геофизики ИНЗ СПбГУ; Карабанов П.В., ФГУП «ВНИИОкеангеология».

**ОДНОМЕРНОЕ И ДВУМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ  
МНОГОЭЛЕКТРОДНОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ С УСТАНОВКОЙ МВСК**

*Колесников В. Е. (Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия)*

Моделирование является важным этапом подготовки к полевым геофизическим исследованиям. Работа проводится для выявления преимуществ и недостатков той или иной схемы расположения электродов многоэлектродной установки МВСК (Методика электроразведки по схеме Внутреннего Скользящего Контакта) применительно к конкретной геологической среде.

Электроразведочные работы с многоэлектродными установками позволяют проводить изучение электрических свойств верхней части земной коры вдоль профиля наблюдений и проследивать изменение свойств с глубиной. Таким образом, в одном цикле проводится исследование среды методами зондирования и профилирования, что позволяет выполнять построение двумерных геоэлектрических разрезов [1].

Численное моделирование проводится при помощи программных средств, которые позволяют создать математическую модель геоэлектрического разреза, рассчитать значения кажущегося сопротивления для заданной электроразведочной установки (решить прямую задачу), и по рассчитанным значениям кажущегося сопротивления восстановить исходный геоэлектрический разрез в пределах допустимой погрешности.

С целью сравнения одномерного и двумерного способов инверсии, сопоставления их результатов, установления условий применения каждого из них проведено численное моделирование. Под условиями применения подразумеваются параметры исходного разреза сопротивлений, а также соответствующее им решение прямой задачи, при использовании которого в качестве экспериментальных данных, достигается необходимая точность решения обратной задачи.

Моделирование выполнено с использованием программного комплекса Zond [2]. Создан набор моделей разрезов сопротивления. В качестве исходных выбраны одномерные трёхслойные разрезы типа Н и К с различными контрастами сопротивлений и мощностями слоёв. Одномерные разрезы дополнены вертикальными слоями различной мощности и контраста сопротивления. Над каждым разрезом рассчитаны значения кажущегося сопротивления для многоэлектродной установки, применяемой в методике внутреннего скользящего контакта, разработанной А. А. Жамалетдиновым [3].

По вычисленным значениям кажущегося сопротивления для каждого разреза выполняется решение обратной задачи способами одномерной и двумерной инверсии. Сопоставление результатов инверсии для множества разрезов позволяет установить пределы применимости одномерной инверсии при исследованиях двумерной среды с многоэлектродной установкой МВСК, оценить искажающее влияние горизонтальных неоднородностей на кривую зондирования по сравнению с кривой, рассчитанной для трёхслойного разреза, и, как следствие, на восстановленную слоистую модель. Кроме того, работа способствует выявлению и наглядному представлению преимуществ и ограничений двумерной инверсии (по сравнению с одномерной) при изучении двумерно-неоднородных сред.

Результаты моделирования впоследствии будут применены при анализе экспериментального материала, полученного в ходе полевых электроразведочных работ с применением методики внутреннего скользящего контакта (МВСК).

**Список использованной литературы**

1. Глазнев В. Н. Геофизические методы (учебное пособие по полевой геофизической практике) / Глазнев В. Н., Дьяков С. Н., Раевский А. Б., Токарев А. Д. –Мурманск: Изд. МГТУ, 2004. – 66 с.

2. Каминский А. Е. ZondRes2D. Программа двумерной интерпретации данных метода сопротивлений и вызванной поляризации / Каминский А. Е. – СПб: Zond Geophysical Software, 2010. – 139 с.

3. Zhamaletdinov A. A. Electrical profiling by the MISC and Slingram methods in the Pechenga-Pasvik area / Zhamaletdinov A.A., Ronning J.S., Vinogradov Yu.A. // Norges Geologiske Undersokelse, Special publication 7. 1995. P. 333-338.

### **1D AND 2D MODELING OF RESULTS OF MISC MULTI-ELECTRODE ARRAY DC RESISTIVITY INVESTIGATIONS**

*Kolesnikov V. E.*

Modeling is an important stage of preparation for field geophysical research. It is carried out for testing of new techniques of Earth crust subsurface investigations, for example, for detection of merits and drawbacks of MISC technique (Method of Internal Sliding Contact) in the context of particular geoelectric section. Multi-electrode electrical prospecting allows to conduct two-dimensional investigations of geological media and to construct two-dimensional sections of electrical properties of these media. Two-dimensional investigation data can be presented both as a 2D pseudosection and as a set of sounding curves. Thus, there are two methods for interpretation the data – 1D and 2D inversion. Numerical modeling is carried on for comparison of results of these methods of inversion, and for detection of the using conditions. The modeling is done by software for solution of forward and inverse geophysical problems Zond for multi-electrode array of method of internal sliding contact. The investigation permits to establish limits of using of 1D inversion in 2D geophysical research.

Научные руководители: доктор геолого-минералогических наук, профессор А. А. Жамалетдинов, кандидат физико-математических наук, доцент А. Н. Шевцов.

**УТОЧНЕНИЕ МОДЕЛИ СТРОЕНИЯ ВЕРХНЕДЕВОНСКОГО  
ПРИРОДНОГО РЕЗЕРВУАРА НА МАДАГАШОРСКОЙ ПЛОЩАДИ  
(ТИМАНО-ПЕЧОРСКАЯ ПРОВИНЦИЯ)**

*Мартынов Э. А. (ФГУП «ВНИГРИ», Санкт-Петербург, Россия)*

**Введение**

В настоящее время практически все крупные нефтяные месторождения Тимано-Печорского нефтегазоносного бассейна характеризуются заметной выработанностью запасов, либо вступают в фазу активной добычи. В последние годы открываются в основном средние и мелкие по запасам и сложные по строению скопления углеводородов. Проведение геолого-разведочных работ (ГРП) на таких объектах связано с высокими рисками и требует специальных исследований, что зачастую отпугивает недропользователей. Одним из таких объектов является Сандивейская карбонатная банка (постройка), расположенная в Хорейверской впадине Тимано-Печорской провинции (ТПП). Она представляет собой кольцевую рифовую постройку атолловидной формы фран-фаменского возраста, сложенную органогенными известняками и вторичными доломитами. В палеогеографическом плане с середины франского века (доманиковое время) центральная и южная части Хорейверской впадины представляли собой глубоководную впадину с некомпенсированным кремнисто-карбонатным осадконакоплением [1]. В процессе роста постройка ограничивала циркуляцию воды во внутреннюю часть атолла, формируя внутреннюю лагуну. По скважинным данным лагунные отложения представлены слоистыми известняками с прослоями сульфатов и хемогенных доломитов [2].

Активное изучение Сандивейской карбонатной банки началось еще в 80-х годах прошлого века. Был выполнен большой объем геологоразведочных работ (ГРП) – в основном сейсморазведочные профильные исследования и поисково-разведочное бурение. Вслед за полевыми работами проводились тематические исследования по обобщению результатов сейсморазведки и скважинных данных. Было пробурено 35 скважин, и только в шести получены промышленные притоки углеводородов (УВ), открыто 3 залежи нефти (успешность бурения менее 16 %). В связи с низкими показателями эффективности ГРП, а также существенным сокращением финансирования в 1990 годах, поисково-разведочные работы на нефть и газ в пределах Сандивейской постройки полностью прекратились.

Целью настоящих исследований является уточнение и актуализация структурно-фациальной модели Сандивейской карбонатной постройки и установление критериев для прослеживания и оконтуривания зон коллекторов с улучшенными фильтрационно-емкостными свойствами. Это позволит значительно уменьшить риски при проведении ГРП и повысить инвестиционную привлекательность поисковых объектов в этом районе.

Рассмотрена западная часть Сандивейской карбонатной постройки, включающая Мадагашорскую (в том числе её южный купол) и Западно-Лыдушорскую структуры. Площадь исследования изучена поисковыми сейсморазведочными работами МОГТ-2D (кратность 12), выполненными в 1979-1987 годах. Изученность бурением невысока. Всего пробурено 3 поисковых скважины вблизи Мадагашорской структуры. С 2008 по 2012 год в пределах участка действовала лицензия на геологическое изучение, разведку и добычу УВ. Были выполнены работы по переинтерпретации сейсмического материала, затем пробурена одна поисково-оценочная скважина 531-Р. В 2012 году участок был досрочно сдан и переведен в нераспределенный фонд недр.

С учетом всех имеющихся данных была проведена геологическая переинтерпретация временных разрезов разных лет для уточнения зоны распространения франского рифа и детализации смежных с ним фациальных зон. Во временном

интервале выделена область нерегулярной записи или аномалия волнового поля, отождествляемая с зоной развития рифовой постройки франского возраста. С глубоководной стороны постройки выделяется шлейф органогенно-обломочных пород, которые по мере отдаления от постройки постепенно замещаются глубоководными фациями доманикового типа. Граница между рифовым обрамлением и внутренней частью карбонатной банки следует менее уверенно, что связано с близкими акустическими свойствами геологической среды.

На границе франа и фамена произошли глобальные изменения в органическом мире девонского периода. Повсеместно вымирали многие виды живых организмов [3]. Главную роль в карбонатном осадконакоплении стали играть водорослевые образования. Основание франского атолла послужило цоколем для формирования фаменских биогермов. Гумидизация климата и периодические поступления в бассейн глинистого материала в фаменский век существенно влияли на производительность рифостроителей и интенсивность роста построек. Формировались отдельные холмообразные биогермы, имеющие гораздо меньшую площадь распространения и мощность по сравнению с франскими рифовыми массивами. Межбиогермное пространство заполнялось остатками жизнедеятельности организмов и растений, органогенно-обломочным и глинистым материалом. Кровля фаменских отложений в значительной степени срезана предвизейским перерывом с выпадением из разреза средне- и верхнефаменских образований.

Фаменский интервал нерегулярной записи, расположенный между отражающим горизонтом (ОГ), приуроченным к кровле верхнего девона и ОГ Шfм имеет, по сравнению с франским, более пластовый характер записи. Во временном интервале выделены области нерегулярной записи, отождествляемые с зонами развития холмообразных биогермов фаменского возраста. В результате в пределах Сандивейской карбонатной постройки были прослежены и закартированы биогермные постройки, с которыми связаны основные перспективы нефтегазоносности.

В пределах исследуемой территории расположена Мадагашорская структура. Она выявлена в 1980 году. В 1986 г. была пробурена первая поисковая скв. 32-Мадагашорская. При опробовании получен приток пластовой воды с пленкой нефти. В 1993 г. была пробурена вторая поисковая скв. 108-Мадагашорская. Скважиной установлена нефтеносность отложений фаменского яруса. При испытании в колонне получен приток нефти дебитом 5,75 м<sup>3</sup>/сут. Затем поисковые работы в пределах структуры были прекращены.

В рамках данного исследования была проведена переинтерпретации всего имеющегося геолого-геофизического материала с использованием специализированных программных пакетов. Пересмотрены и значительно уточнены структурные карты по отражающим горизонтам Iv, Шfм, а также структурная поверхность кровли верхнего девона. В результате проведения сейсмофациального анализа, в пределах Мадагашорской структуры выделены три биогермных холма, разделенных межбиогермными каналами. Именно с биогермами связаны зоны развития высокочастотных коллекторов, которые вскрыла только скв. 108-Мадагашорская. Следует отметить, что по результатам переинтерпретации сейсмических материалов, скважина вскрыла биогермный холм в краевой части карбонатной постройки, где фильтрационно-емкостные параметры как правило, невысокие, с чем и связан небольшой приток нефти. Сква. 32-Мадагашорская попала в область глубоководного склона карбонатной постройки, а скв. 5-Садивейская вскрыла межбиогермные отложения.

На следующем этапе исследований был выполнен детальный анализ каротажных кривых ГИС и кернового материала, подтверждающий зоны развития водорослевых биогермов фаменского возраста. Так, скв. 108-Мадагашорская он вскрыт на глубине

3066-3198 м. При испытании из кровли биогерма (испытан интервал мощностью 21 метр) получен приток нефти из продуктивного пропластка с эффективной мощностью около 1 метра. По керновому материалу отложения представлены известняками светло-серыми густовато-комковатыми и доломитами. Породы выщелоченные, неравномерно пористо-каверзные, трещиноватые. Образование пустотного пространства связано с гипергенными процессами во время предвизейского перерыва. Наличие межбиогермных отложений предполагается в скв. 5-Сандивейская. Керн из данного интервала не был отобран. По аналогии со скв. 42-Сандивейская, пробуренной в юго-восточной части постройки, межбиогермное пространство представлено известняками серыми, скрытокристаллическими, на отдельных участках с неясным густоватым строением, плотными, очень крепкими. Трещины залечены белым кальцитом. Данные породы не являются коллекторами и выполняют роль литологических экранов.

Таким образом, в результате комплексного анализа была актуализирована и уточнена структурно-фациальная модель Мадагашорской структуры с использованием современного программного обеспечения. Коллекторы приурочены к биогермным постройкам фаменского возраста. Межбиогермные породы выполняют роль литологических экранов. В разрезе продуктивные коллекторы приурочены к кровельной части водорослевых биогермов елецкого горизонта верхнего девона. Предполагаемая залежь сложного строения, неантиклинальная, литологически экранированная. Межбиогермные каналы делят её на 3 отдельных части. Покрышкой являются отложения тульского горизонта визейского яруса нижнего карбона. В керне породы представлены чередованием известняка темно-серого, глинистого, органогенно-обломочного и аргиллита темно-серого. Мощность покрышки варьирует от 17 до 23 м. Обновленная модель строения залежи учитывает резкие изменения фильтрационно-емкостных параметров коллекторов в разрезе и по площади. Можно сделать вывод, что все скважины, пробуренные в пределах Мадагашорской структуры, были заложены не в оптимальных условиях.

К югу от Мадагашорской структуры расположен её южный купол и Западно-Лыдушорская структура. По сейсмическим данным в пределах структур выделены биогермные холмы. На южной периклинали южного купола Мадагашорской структуры недропользователем в 2011 году была пробурена скв. 531-Р-Мадагашорская. Она вскрыла край одного из биогермов, что и послужило причиной её непродуктивности. Очевидно, что обосновывать места заложения поисково-оценочных скважин только по структурному фактору, заведомо неправильно, что и приводит к отрицательным результатам и финансовым потерям. По аналогии с Мадагашорской структурой, в пределах южного купола Мадагашорской и Западно-Лыдушорской структур прогнозируются зоны высокочемких коллекторов, приуроченные к зонам развития фаменских биогермов.

### **Выводы**

Перспективы нефтегазоносности юго-западной части Сандивейской карбонатной постройки достаточно высоки, о чем свидетельствуют результаты выполненной работы, по итогам которой была уточнена и существенно детализирована структурно-фациальная модель верхнедевонского природного резервуара. Выявлены и обоснованы критерии распространения зон высокочемких коллекторов в фаменских биогермных образованиях. Новая модель позволяет провести переоценку ресурсов перспективных структур, рационально определить места заложения новых поисково-оценочных и разведочных скважин.

**Список использованной литературы**

1. *Боровинских А. П., Пармузина Л. В.* Типизация и характеристика карбонатных и терригенно-карбонатных массивов с целью прогнозирования их нефтегазоносности // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2012. –Т.7. –№ 2. –[http://www.ngtp.ru/rub/2/20\\_2012/pdf](http://www.ngtp.ru/rub/2/20_2012/pdf)

2. *Москаленко К. А., Мельникова Л. И., Москаленко М. Н., Юдина Ю. А.* Новые данные по строению доманиково-гурнейского нефтегазоносного комплекса юга Хорейверской впадины // Материалы Второго Всероссийского литологического совещания и Восьмого симпозиума по ископаемым кораллам и рифам. – Сыктывкар, 2001. – С. 218-221.

3. *Walliser O. H.* Global Events and Event Stratigraphy Events in the Phanerozoic Germany. Springer – Verlag Berlin Heidelberg, 1996.

**REFINING OF THE STRUCTURAL MODEL OF THE UPPER DEVONIAN RESERVOIR IN MADAGASHOR ARIA (TIMAN-PECHORA)**

*Martynov E. A.*

The oil bearing reef deposits of the Famennian stage differ by complex structure the void space, sharp change of reservoir properties laterally and vertically, which leads to an increase in percentage of dry wells. The structural and facial model of the Upper Devonian reservoir of the western part of Sandivey carbonate structure was refined to improve the efficiency of exploration. The zones of high-capacity reservoirs in the studied area are localized and new objects for search are identified on the basis of a comprehensive analysis of CDP-2D seismic surveys results and drilling exploratory wells.

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук Прищепа Олег Михайлович, генеральный директор ФГУП «ВНИГРИ», Санкт-Петербург, Россия.

## ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТАНГЕНСА СДВИГА ФАЗ ВЫЗВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ОТ ЧАСТОТЫ

Мельников В. Н. (Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия)

Исследование частотных характеристик вызванной поляризации, с целью получения дополнительной информации о природе поляризующихся объектов, имеет высокий приоритет в современной электроразведке.

При фазовых измерениях на переменном токе информацию о поляризуемости несет величина фазы напряжения на приемных электродах, относительно тока в питающей линии[1]. В этом случае измеряемым параметром является угол сдвига фазы, который выражается в градусах. Можно также использовать безразмерную величину тангенс сдвига фазы(1):

$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{ВП}} = - \frac{\operatorname{Im}(U_{MN})}{\operatorname{Re}(U_{MN})} \quad (1)$$

где  $\operatorname{Im}(U_{MN})$  – мнимая составляющая напряжения;  $\operatorname{Re}(U_{MN})$  – реальная составляющая напряжения ВП. Знак «минус» указывает, что сдвиг фазы электрохимической природы характеризуется запаздыванием относительно тока в питающей линии[2].

Существует метод прямого измерения реальной и мнимой составляющей напряжения – синхронное детектирование. Синхронное детектирование – это детектирование, при котором используется опорное колебание с частотой, равной частоте несущего колебания. Свойством и основным достоинством синхронного детектора является сохранение отношения сигнал-помеха на выходе детектора. Это объясняется тем, что данный прибор представляет собой преобразователь частоты, который переносит спектр сигнала в область низких частот без изменения формы сигнала и соотношений между составляющими спектра. Это свойство позволяет применять последетекторную обработку сигнала. Таким образом, после фильтрации с помощью фильтра низкой частоты легко получить сигнал с хорошим отношением сигнал/шум для широкого диапазона частот. Кроме этого, используя опорный сигнал без сдвига и со сдвигом фазы на 90 градусов, можно получить реальную и мнимую компоненты измеряемого сигнала. Поэтому появилась идея изучить связь тангенса сдвига фаз и частоты.

В начале мы смоделировали ситуацию в баке размером 50×80×20см. В ходе исследования была использована следующая аппаратура: осциллограф, генератор частот, синхронный детектор, компьютер, а так же симметричная четырех электродная установка (AMNB). Образцы горных пород погружались в заполненный электролитом бак и располагались между измерительными электродами. Электролитом служила вода из петербургского водопровода. В ряде опытов в воду просачивался медный купорос, сквозь пористую структуру неполяризующихся электродов. Во время экспериментов применялись различные варианты питающих и измеряющих электродов:

1. А, В, М, N – медные электроды;
2. А, В – медные; М, N – неполяризующиеся электроды конструкции ВИРГ;
3. А, В – медные; М, N – неполяризующиеся электроды канадской компании AGCOS (ACE-84);
4. А, В – неполяризующиеся электроды конструкции ВИРГ; М, N – неполяризующиеся электроды канадской компании AGCOS (ACE-84).

Объектами изучения являлись поляризующиеся и не поляризующиеся тела: сульфидная руда, углеродосодержащая порода (шунгит), магнетит, кимберлит и сам электролит, без образцов.

В итоге проделанной работы были построены графики зависимости тангенса сдвига фаз от частоты в диапазоне от 5000 Гц до 0,002 Гц.

**Результаты опытов**

1. Когда в качестве М, N использовались медные электроды, значение тангенса для различных пород варьировалось от -0,06 до 0,15. Но форма кривых для одних и тех же тел, сильно различалась, поэтому дальнейшие измерения проводились с неполяризуемыми электродами.

2. В случае использования неполяризующихся электродов в качестве принимающих значение тангенса для образцов изменялось в диапазоне от -0,03 до 0,08. А формы графиков, при повторном измерении над одной и той же породой, были схожи.

3. Этот метод позволил отделить неполяризующиеся тела от поляризующихся. А именно это видно по амплитуде и кривизне графиков. То есть кривые неполяризующихся тел находились в интервале значений тангенса от -0,03 до 0,01. А по форме графики «условно» прямые.

4. У поляризующихся значения менялись от 0,01 до 0,08. Причем для каждой породы была своя форма кривой. Так для шунгита значение тангенса плавно понижается от 0,076 до 0,025 на частотах выше 1 герца, ниже оно стабилизируется в районе 0,012-0,014. А для сульфидной руды на высоких частотах до 2,5 герца график понижается от 0,062 до 0,020. На низких частотах значения плавно растут от 0,020 до 0,044. Для магнетита до 1 герца кривая растет от 0,021 до 0,073, затем в диапазоне от 0,02 до 1 Гц значения изменяются от 0,073 до 0,08.

### Выводы

Показана возможность прямого аппаратного получения реальной и мнимой компоненты процесса ВП в зависимости от частоты. Для набора исследованных образцов кривые отношения мнимой и реальной компоненты в зависимости от частоты над рудами и углеродосодержащей породой имеют принципиальные отличия.

### Список использованной литературы

1. *Комаров В. А.* Электроразведка методом вызванной поляризации. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Недра, 1980. – 391 с.
2. *Лемец В. И.* Фазовые измерения в методе вызванной поляризации, КазВИРГ, Изд-во МинГео СССР, Алма-Аты, 1986г. – 41 с.

## A STUDY OF ANGLE SHIFT TANGENT OF IP IN DEPENDENCE OF FREQUENCY

*Melnikov V. N.*

Research in experiment of IP angle shift dependence tangent on frequency for several samples of ore and rocks is presented. IP angle shift dependence tangent is ratio of imaginary and real components. We can directly make measuring of this components by means of synchronous detector.

Experiments was made in water tank 80×50×20 cm size. Copper and non-polarize electrodes was used in Slumberger set. Polarized samples, such as sulphide ore, shungit (similar to carbonic shale), magnetite, and non-polarized samples, such as just water and kimberlite was explored.

Opportunity of getting additional parameters of IP process is shown, such as dependence of ratio imaginary and real parts on frequency curve form.

Научный руководитель: Миллер А. А. кандидат технических наук, доцент, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия.

**ОБЩЕЗЕМНЫЕ ВЫСОТНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ  
ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

*Муравьев Л. А. (Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия)*

Данные дистанционного зондирования Земли, в том числе спутниковые снимки, все более активно используются для решения широкого спектра задач геодезии, мониторинга, экологии и хозяйства. Сейчас общедоступными являются данные глобальных цифровых моделей рельефа Земли (ЦМР), среди которых – построенные на основе топографических данных, а также на основе зондирования земли из космоса.

ГТОРО (или GTOPO30) – это цифровая модель рельефа с детальностью 30 угловых секунд, что соответствует примерно 1 километру. Она представляет собой свод информации о рельефе земли со всех имеющихся топографических карт разных стран по нескольким растровым и векторным источникам информации. Работа над моделью выполнялась в течение 3 лет геологической службой США и завершена в конце 1996 года. Данные GTOPO30 распространяются в виде 33 фрагментов в специальном формате USGS DEM.

SRTM (Shuttle radar topographic mission) – осуществленная в феврале 2000 г. с борта космического корабля многоразового использования «Шаттл» радарная интерферометрическая съемка поверхности земного шара [1]. Съемка проведена над почти всей территорией Земли между 60° северной широты и 54° южной широты. Результатом ее обработки стала цифровая модель рельефа 85 % поверхности Земли. Данные SRTM существуют в нескольких версиях: предварительная (версия 1, 2003 г) и окончательная (версия 2, февраль 2005 г). Окончательная версия прошла обработку, включающую выделение береговых линий и водных объектов, фильтрацию ошибочных значений. Данные распространяются в нескольких вариантах – сетка с размером ячейки 1 угловая секунда и 3 угловые секунды. Более точные односекундные данные (SRTM1) доступны на территорию США, а на остальную поверхность земли свободно распространяются только специально загруппированные данные с разрешением 3 угловые секунды (SRTM3).

Организацией CIAT выпущена версия 3, которая получена путем обработки для получения гладких топографических поверхностей, и интерполяции областей, в которых были пропуски в данных [2]. Следующая версия 4 представляет собой данные с полностью покрытыми пустотами с максимальным разрешением, обработанные по алгоритмам CGIAR-CSI. Данные доступны для свободного скачивания в Интернете, в виде фрагментов 5×5 градусов.

ASTER GDEM. Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER, усовершенствованный спутниковый радиометр теплового излучения и отражения) – один из пяти сенсоров дистанционного зондирования, установленных на спутнике Terra, запущенном NASA в 1999 году и действующем до сих пор. Сенсор собирает данные дистанционного зондирования земли на нескольких диапазонах, от видимого до инфракрасного. В 2009 году NASA и Японское министерство экономики, торговли и промышленности (METI) представили результат обработки всего накопленного объема данных, полученного этим сенсором. Путем проведения стереоскопической корреляции 1,3 миллиона снимков получена цифровая модель рельефа поверхности суши между 83° с.ш. и 83° ю.ш. [3] Таким образом, съемкой высокой детальности покрыты приполярные области. Разрешение модели составило 1 угловая секунда. Однако существующие в настоящий момент данные обладают рядом недостатков. Недостаточно точно выделяются водные объекты (на их месте присутствует интенсивный шум), имеются сдвиги в плане, артефакты, а на некоторых области данные отсутствуют вовсе. При этом каждому фрагменту цифровой модели соответствует файл с информацией о качестве высотной информации в каждой точке. Для замены аномальных и отсутствующих значений в некоторых местах использованы значения высот SRTM и

цифровых моделей США, Канады, Аляски. В октябре 2011 года выполнена доработка данных до версии 2, увеличена точность и горизонтальное разрешение, однако многие недостатки, в частности артефакты, оставались [4].

Геофизическая служба и управление космической разведки и картографии ВС США создали усовершенствованную цифровую модель рельефа, названную Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010 (GMTED2010) которая заменила GTOPO30 [5]. Этот продукт содержит семь растровых слоев данных для каждого из трех пространственных разрешений: 30, 15, 7,5 угловых секунд.

Новое поколение глобальных цифровых моделей рельефа – SRTM PLUS, – представлено в ноябре 2014 года [6]. Эта модель является комбинацией данных SRTM30, GMTED2010 для приполярных регионов и глобальной батиметрии.

К настоящему времени на основании различных обработок перечисленных выше фактических данных получено множество специализированных моделей, а также более детальных баз данных на конкретные территории.

Анализ точности матриц высотных данных проводился как разработчиками каждой модели, так и несколькими коллективами ученых разных стран мира [7-11].

В настоящем исследовании мы проанализировали применимость глобальных цифровых высотных данных для определения высоты точки наблюдения при моделировании и интерпретации потенциальных полей. Анализ выполнен на примере участок приарктической части Уральского региона (48-72° в.д., 60-68° с.ш.).

Вопрос применимости глобальных цифровых высотных данных в качестве альтернативы стандартным методам построения модели рельефа местности, на мой взгляд, должен решаться в каждом случае индивидуально, в зависимости от поставленной задачи, характеристик рельефа и требуемой точности высотной привязки.

Данные GTOPO обладают максимальным покрытием, наименьшим разрешением, но подходят для решения региональных задач. Также они применимы в качестве предварительной оценки рельефа для работ масштаба до 1:100 000.

Данные SRTM могут применяться для оценки сложности предстоящих топографо-геодезических работ, планирования их проведения, а также могут оказать помощь при проектировании расположения профилей и других объектов еще до проведения топосъемки. Это наиболее достоверная на настоящий момент глобальная цифровая модель рельефа. Наибольший ее недостаток – отсутствие покрытия областей севернее 60° по широте.

Несмотря на вдвое большую детальность, матрица ASTER DGEM обладает рядом недостатков и перед ее применением для решения практических задач на конкретном участке необходимо выполнять анализ и сопоставление с данными других моделей на ту же территорию.

Работа частично поддержана грантом РФФИ №14-27-00059, руководитель чл.-к. ПАН П. С. Мартышко. ASTER GDEM is a product of METI and NASA. GTOPO and GMTED2010 data available from the U.S. Geological Survey.

### Список использованной литературы

1. *Farr Tom G., Hensley Scott, Rodriguez Ernesto, Martin Jan, Kobrick Mike.* The shuttle radar topography mission. /CEOS SAR Workshop. Toulouse 26-29 Oct. 1999. Noordwijk. 2000 P. 361-363.
2. *Jarvis A., Reuter H. I., Nelson A., Guevara E.* 2006, Hole-filled seamless SRTM data V3, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), <http://srtm.csi.cgiar.org/PDF/Jarvis4.pdf>
3. ASTER GDEM Validation Team, 2009. ASTER global DEM validation summary report. METI & NASA, 28pp.
4. *Carabajal C.* ASTER Global DEM Version 2.0 Evaluation using ICESat Geodetic

Ground Control. NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt Maryland, 2011.

5. *Danielson J. J. and Gesch D. B.* Global multi-resolution terrain elevation data 2010 (GMTED2010): U.S. Geological Survey Open-File Report 2011-1073, 2011. 26 p.

6. *Becker J. J., Sandwell D. T., Smith W. H. F., Braud J., Binder B., Depner J., Fabre D., Factor J., Ingalls S., Kim S-H., Ladner R., Marks K., Nelson S., Pharaoh A., Trimmer R., Von Rosenberg J., Wallace G., Weatherall P.* Global Bathymetry and Elevation Data at 30 Arc Seconds Resolution: SRTM30\_PLUS. *Marine Geodesy*, 32:4, 2009 P. 355-371.

7. *Nikolakopoulos K. G., Kamaratakis E. K.; Chrysoulakis N.* SRTM vs ASTER elevation products. Comparison for two regions in Crete, Greece. *International Journal of Remote Sensing* 27 (21), 2009. P. 4819-4838.

8. *Rexer M.; Hirt C.* Comparison of free high-resolution digital elevation data sets (ASTER GDEM2, SRTM v2.1/v4.1) and validation against accurate heights from the Australian National Gravity Database. *Australian Journal of Earth Sciences* 61 (2), 2014.

9. *Hirt C.; Filmer M. S.; Featherstone W. E.* Comparison and validation of recent freely-available ASTER-GDEM ver1, SRTM ver4.1 and GEODATA DEM-9S ver3 digital elevation models over Australia. *Australian Journal of Earth Sciences* 57 (3), 2010. P. 337-347.

10. *Муравьев Л. А.* Высотные данные SRTM против топографической съемки. Современные проблемы геофизики Восьмая молодежная школа по геофизике. Сборник научных материалов. Пермь. 2007.

11. *Муравьев Л. А.* О применении общеземных баз высотных данных в геофизических исследованиях. Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. Шестые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Материалы конференции. Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2011. – 434 с.

## **GLOBAL DIGITAL ELEVATION DATA FOR REGIONAL GEOPHYSICAL MODELLING**

*Muravyev L. A.*

Earth's remote sensing data including satellite imagery are increasingly being used to solve a wide range of geological, exploration and environmental tasks including surveying, monitoring, ecology and economy. A number of global digital elevation model of the Earth (DEM) are publicly available now. Among them – a datasets, built on the topographic data basis as well as on the sensing from space. In the present study, we analyzed the global digital elevation data applicability for determining the observation point height for potential fields modeling and interpretation. The analysis is performed on the Ural region's Arctic section (48-72° E, 60-68° N) example.

A global digital elevation data applicability as an alternative to the standard methods of constructing terrain models should be decided in individually each case, depending on the task, the characteristics of the relief and the required vertical positioning accuracy. GTOPO and ensuing GMTED2010 databases have maximum coverage, but lowest resolution, and is ideal for solving regional problems. SRTM data can be used in detailed geophysical work and is the most reliable global digital elevation model now. It's greatest drawback – lack of areas coverage northerly 60° latitude. ASTER GDEM is much more detailed database, but a number of shortcomings and artifacts make it impossible to use for regional problems. It is necessary to perform the analysis and comparison with data from other models. The newest combined database SRTM plus is a DEM of choice for large territory modelling.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, член. корр. РАН Мартышко Петр Сергеевич, Институт Геофизики УрО РАН, Екатеринбург.

**МЕТОДИКА НАЗЕМНОЙ МАГНИТОРАЗВЕДКИ ПРИ ПОИСКАХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА НА ТОХТИНСКОЙ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ, МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ**

*Муравьев Л. А.* (Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия)

*Терновский В. А.* (ООО «Золотодобывающая корпорация», пгт. Ягодное,

Магаданская обл., Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН, Магадан, Россия)

*Редькин И. А.* (Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН, Магадан, Россия)

*Нургалиев Р. Р.* (Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия)

Территория Магаданской области входит в число крупнейших золотосеребряных провинций мира [1]. За 80 лет из ее недр добыто около 3 тысяч тонн золота, в основном из россыпных месторождений, которые составляют около 90% от общего количества. Начиная с 1975 года, добыча золота из россыпей неуклонно уменьшается из-за снижения сырьевой базы этого типа месторождений. Перспективы добычи драгоценных металлов из рудных месторождений значительно выше, несмотря на то, что технологии извлечения сложнее. Добыча драгметаллов из рудных месторождений ведется с 1940-х годов и за весь период освоения территории составила: золота – около 290 т, серебра – около 8 тыс. т. Поэтому поиск и разведка новых рудных месторождений – чрезвычайно актуальная задача.

В 1983-1984 гг. на площади листов Р-56-65-А, Б; Р-66-А под руководством В. Н. Егорова проводились геолого-съёмочные и поисковые работы масштаба 1:50 000. Были выявлены многочисленные проявления рудного золота, серебра, олова, полиметаллов; уточнены параметры и проведена переоценка известных рудопроявлений. По результатам литохимической съёмки по вторичным ореолам рассеяния выделены четыре аномальные площади (Левая- и Правая-Тохтинская, Безымьянная, Голоднинская) [2]. На Тохтинской перспективной площади, включающей в себя эти участки, с 2012 по 2014 г. ООО «Золотодобывающая корпорация» проведены поисковые работы с целью выделения зон, наиболее перспективных на золотое оруденение, уточнения геологического строения, определения положения рудоконтролирующих структур, выявления возможной золотой минерализации в межжильном пространстве с последующей оценкой прогнозных ресурсов золота.

Для решения этих задач предусмотрен комплекс геофизических методов, включающий электроразведку методами СГ-ЧД, ВЭЗ-ВП, ЗСБ и магниторазведку. Геофизические работы проводились по заранее подготовленной топосети, единой для всех методов в соответствии с действующими инструктивными требованиями и рекомендациями для работ данного масштаба (1:25 000) и точности.

Магниторазведочные работы проводились для разделения геологических разностей пород по магнитным свойствам; выделения зон тектонических нарушений; оценки элементов залегания магнитовозмущающих объектов; выявления и прослеживания ареалов и зон гидротермально измененных пород, отдельных маломощных тел гидротермалитов и кварцевых жил.

Для выполнения магнитной съёмки использовалось два комплекта пешеходных сверхаузеровских магнитометров ММРОС-1 [3]. Съёмка выполнялась по сети наблюдений 20×100 м на высоте 2 м над земной поверхностью. Определение координат точек измерения осуществлялось с помощью приемника GPS, конструктивно связанного с магнитометром. Вариация магнитного поля земли регистрировалась в течение всего времени съёмки с помощью аналогичного магнитометра, стационарно установленного вблизи лагеря полевого отряда.

Первичная камеральная обработка была выполнена непосредственно в процессе

полевых работ, в полевом лагере, и включала следующие этапы: передача результатов измерения с накопителей данных магнитометров в компьютер (ПО DLPOS Explorer); учет вариации земного магнитного поля (ПО Surv); объединение данных, вычисление координат пикетов, их перевод в местную систему, удаление дублирующийся записей о результатах измерений и т.д. (MS Excel). В Golden Software Surfer строились карты аномального магнитного поля, его региональной и локальной составляющей. Высотная отметка точек измерения определена по базе высот ASTER версии 2.

Наблюденное в пределах исследованного участка аномальное магнитное поле изменяется в пределах от  $-130$  до  $380$  нТл. Структурно-морфологический анализ магнитного поля участка позволяет выделить его особенности.

Спокойное слабо отрицательное поле напряженностью от  $-5$  до  $-35$  нТл отмечает выходы на дневную поверхность гранитоидов Верхнеоротуканского массива. Области, характеризующиеся относительно повышенным магнитным полем, от  $50$  до  $150$  нТл интерпретируются как участки распространения умеренно контактово-измененных осадочных пород в надынтрузивной зоне. Мощность контактово-измененных пород, по-видимому, значительна, составляет не менее  $200$  метров. Наиболее интенсивные магнитные аномалии, свыше  $300$  нТл, сконцентрированы в основном в северо-западной части участка (зона Кинжал), которая по радиометрии характеризуется калиевой специализацией и соответствуют областям развития сульфидизированных, в том числе пирротинизированных пород, вмещающих преимущественно оловополиметаллическую рудную минерализацию.

Области и зоны, для которых типичны сопряженные знакопеременные локальные аномалии магнитного поля интенсивностью от  $-130$  до  $250$  нТл, фиксируют положение гидротермально-метасоматически измененных пород в зоне экзоконтактового влияния интрузивного массива. К известным золотым рудопроявлениям приурочены локальные отрицательные магнитные аномалии, либо линейные зоны градиентов. Указанные характеристики могут являться критерием к оценке перспективности данной площади и определять контуры потенциально рудонесущих структурных элементов. Данный тип поля контролируется разрывными нарушениями, имеющими восточ-, северо-восточное простирание. Он развит в пределах восточной и юго-восточной (зона Крохалиная) части участка, пространственно совпадает с уран-калиевой радиогеохимической доминантой и, очевидно, вмещает установленную на этой территории, золоторудную минерализацию. Не исключено, что отрицательные аномалии с интенсивностью свыше  $-300$  нТл могут быть связаны с магнитными (пирротинизированными) породами, которые обладают обратным намагничением. Пространственное совпадение выявленных проявлений золота и отрицательных магнитных аномалий дает возможность предположить, что формирование оруденения произошло в определенный интервал времени, совпадающий с инверсией магнитного поля Земли. Исходя из изложенного, можно предположить, что интенсивные отрицательные магнитные аномалии могут являться одним из важнейших признаков диагностики процессов рудообразования на исследуемой территории.

Совместно с результатами электроразведочных работ предполагается следующая интерпретация выделенных геофизических аномалий:

- ровное слабо отрицательное (от  $-5$  до  $-35$  нТл) магнитное поле, повышенное удельное сопротивление ( $> 5000$  Ом·м) – гранитоиды Верхнеоротуканского массива;
- дифференцированные (от  $-100$  до  $150$  нТл) магнитное поле, а также дифференцированное, но в целом пониженное (менее  $4000$  Ом·м) кажущееся удельное сопротивление – контактово измененные осадочные породы в надынтрузивной зоне;
- локальные линейные аномалии низкого кажущегося удельного сопротивления (менее  $2000$  Ом·м) – зоны дробления и трещиноватости;
- локальные положительные магнитные аномалии интенсивностью свыше

300 нТл – зоны пирротиновой минерализации;

– локальные отрицательные аномалии магнитного поля (от –100 до –380 нТл) отождествляются с зонами интенсивных метаморфических и гидротермально-метасоматических изменений (несущих золоторудную минерализацию);

– локальные аномалии повышенных значений коэффициента частотной дисперсии по электроразведке – области и зоны сульфидной минерализации;

– локальные аномалии пониженных значений коэффициента частотной дисперсии – области и зоны площадной кварцевой минерализации.

Комплексный анализ в пакете программ «КОСКАД 3D» [4] электрических и магнитных данных в совокупности с геолого-геохимическими материалами дает возможность определить средние физические величины и геометрические параметры наиболее перспективных интервалов зоны Крохалиная.

На основании комплекса данных зона Крохалиная выбрана как наиболее перспективная для детального углубленного изучения. Однако, выявлено, что добыча рудного золота по данному участку не рентабельна. Это связано с трудной извлекаемостью рудного золота, достаточно малым его содержанием в коренных породах и в кварцевых жилах, что доказано бурением скважин и опробованием коренных пород. Дальнейшее изучение участка на данный момент приостановлено.

Авторы благодарны руководителю данной работы кандидату геолого-минералогических наук Хасанову И. М., СВКНИИ ДВО РАН (Магадан), и коллективу ООО «Золотодобывающая корпорация».

#### **Список использованной литературы**

1. Шило Н. А., Гончаров В. И., Альшевский А. В. и др. Условия формирования золотого оруденения в структурах Северо-востока СССР. М. Наука, 1988, 182 с.

2. Егоров В. Н. и др. Отчет о геологическом доизучении масштаба 1:50000 в бассейне ручьев Золотистый-Ревком на площади листов Р-56-65-А, Б, -65-А. (Ревкомовский отряд). Пос. Сеймчан, 1985.

3. Муравьев Л. А. Возможности высокочувствительных магнитометров POS при проведении геомагнитных съемок / Л.А. Муравьев // Уральский геофизический вестник. – 2007. – №1(10). – Екатеринбург: УрО РАН. – С. 56-60.

4. Петров А. В., Трусов А. А. Компьютерная технология статистического и спектрально-корреляционного анализа трехмерной геоинформации КОСКАД 3D//Геофизика. 2000. № 4. С. 29-33.

#### **GROUND MAGNETIC SURVEY IN SEARCH OF ORE GOLD DEPOSITS ON TOHTO PROSPECTIVE AREA, MAGADAN REGION**

Muravyev L. A.

Ternovsky V. A.

Red'kin I. A.

Nurgaliev R. R.

The methodology, results and interpretation of magnetometric survey carried out in the integrated geophysical work on Tohto prospective area in Magadan region. Prospecting work carried out for searching areas of the most promising gold mineralization, for identification of geological structures, determine of the ore-controlling structures position, identifying possible gold mineralization in between-vien space, and for evaluation of forecast gold resources. For magnetic survey pedestrian Overhauser magnetometers MMPOS were used in complex with electrical methods.

## **МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНКУРС-КОНФЕРЕНЦИЯ**

---

Научный руководитель: кандидат геолого-минералогических наук Хасанов Ибрагим Мубаракевич, заведующий сектором геофизики, гидрогеологии и геоэкологии СВКНИИ (Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН, Магадан).

**РЕШЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ МАГНИТОРАЗВЕДКИ  
МОНТАЖНЫМ МЕТОДОМ***Новикова П. Н. (Горный институт УрО РАН, ИГНИУ, Пермь, Россия)*

Решение количественных обратных задач представляет одну из центральных проблем при интерпретации геопотенциальных полей. Основной тенденцией в этой области является создание автоматизированных программных комплексов, способных воссоздать трехмерную цифровую модель исследуемого геологического объекта, которая в дальнейшем будет основой для более детальных геологических расчетов. Перспективным направлением является конечноэлементный подход, в частности, монтажный метод [1, 2], базирующийся на дискретизации геологической среды конечным множеством ячеек, представляющих из себя плотно прилегающие правильные геометрические фигуры (например, куб). Такие ячейки будут аппроксимировать как геометрию искомого объекта, так и его петрофизические свойства, а сам объект «собирается» из ячеек в итерационном процессе по определенно заданному алгоритму.

В данной статье представлен разработанный автором трехмерный алгоритм решения смешанных обратных задач магниторазведки для слабомагнитных изолированных объектов.

Смешанная постановка решения обратных задач представляет из себя одновременный подбор как геометрических, так и петрофизических характеристик геологического объекта, т.е. уход от традиционного для гравиразведки и магниторазведки разделения на линейные и нелинейные обратные задачи. Такой подход был опробован еще в 2D-варианте алгоритма [3, 4] и на ряде модельных и практических примеров показал свою эффективность. Возникающая в такой постановке двухпараметрическая неоднозначность преодолевается за счет интервального задания трех пространственных компонент эффективной намагниченности  $J_{эф}$ . Более того, компонентное определение вектора эффективной намагниченности несет дополнительную петрофизическую информацию об объекте исследования – как минимум, отклонение вектора  $J_{эф}$  от вектора нормального магнитного поля региона исследования. Определение вектора  $J_{эф}$  реализовано при помощи случайного поиска посредством алгоритма Монте-Карло.

Геометрические характеристики также подвергаются ряду ограничений с учетом имеющейся априорной информации, например, ограничения на вертикальную и горизонтальную мощности. Особенно стоит отметить тополого-геометрические ограничения: на односвязность, предотвращающие появление пустот в объекте, и на гладкость конфигурации, устраняющие так называемые «отростки».

Алгоритм тестировался на ряде имитационных моделей. Покажем работу алгоритма на расчетной модели типичной трубки взрыва. Объект был составлен из набора однородно намагниченных призм ( $> 1000$ ) с глубиной залегания нижней кромки 1100 метров, с суммарной намагниченностью 7.2 А/м в немагнитной вмещающей средес преобладающей вертикальной компонентой, в 484 точках рассчитано аномальное магнитное поле  $\Delta T_a$  (нормальное магнитное поле региона было принято с наклоном  $10^\circ$  и наклоном  $64^\circ$ ), что отвечает по условиям задачи высокоточной съемке масштаба 1:50 000.

В качестве начального приближения использовались 9 вертикально эшелонированных элементов. Оценка вектора эффективной намагниченности велась в следующих пределах: 2 А/м для компонент  $J_x$  и  $J_y$ , для  $J_z$  – в пределах 7 А/м. Также вводились ограничения на вертикальную и горизонтальную мощности по трем координатам. Сторона элемента сборки была равна шагу сети съемки.

Результаты трехмерного моделирования описаны для одной из эквивалентных моделей, отвечающей условию наименьшей среднеквадратической невязки между исходным и модельным магнитными полями (в данном случае невязка составила менее 1 нТл). Полученную модель можно считать адекватной, в особенности, учитывая слож-

ную форму объекта. Удалось подобрать конфигурацию, повторяющую не только приповерхностную воронку, но и проследить объект на глубину более 1 км. Была произведена оценка угла намагниченности: подобранная суммарная намагниченность отличается от истинной на  $5.4^\circ$ , по скалярной величине – на  $\approx 0.6$  А/м.

Также имитационное моделирование было проведено для моделей рудных объектов. В качестве практического примера была взята изучение глубинного строения подводного вулкана Макарова. Также получены хорошие результаты как при определении формы геологического объекта (подводящего канала), так и оценке вектора эффективной намагниченности.

Таким образом, можно с уверенностью сказать, что трехмерный монтажный метод – эффективный инструмент решения количественных задач магниторазведки, способный давать достоверные результаты и извлекать новую геологическую информацию из данных полевых съемок.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-05-01823А)

### **Список использованной литературы**

1. Балк П. И., Долгаль А. С., Христенко Л. А. Теория и опыт применения монтажного подхода к решению трехмерных обратных задач гравиметрии // Геофизический журнал. 2009. № 5. Т. 31. – С. 128-140.

2. Долгаль А. С., Костицын В. И., Новикова П. Н., Рашидов В. А. Совместная оценка геометрических параметров и намагниченности геологических объектов монтажным методом. //Геофизика. 2013. № 5. – С. 36-41.

3. *PhD Polina Novikova. 2D-FITTING METHOD OF GEOVAGNETIC DATA AT CONSISTENT DEFINITION GEOMETTRICAL AND PETROMAGNETIC PROPETIES // 14<sup>th</sup> GeoConference on SIENCE AND TECHNOLOGIES IN GEOLOGY, EXPLORATION AND MINING. Conference Proceedings. Volume 1. 2014. ISBN 978-619-7105-07-0. ISSN 1314-2704. P. 391-397.*

4. Новикова П. Н. Трехмерные монтажные технологии решения обратных задач магнитометрии. Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: материалы 42-й сессии Междунар. науч. семинара им. Д.Г. Успенского (г. Пермь, 26–30 января 2015 г.); Горный ин-т УрО РАН, Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2015. – С. 156-158.

### **DIMENSIONAL INVERSE PROBLEM SOLUTION OF MAGNETIC EXPLORATION BY FITTING METHOD**

*Novikova P. N.*

Presented by finite element approach for solving inverse problems in geophysics. Three-dimensional fitting algorithm for solving mixed inverse problems for weakly magnetic prospecting objects. Presents the test results of the magnetic data interpretation to explosion tube model with the definition of the form and the effective magnetization vector of the object.

Научный руководитель и консультант: доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник ГИ УрО РАН Долгаль Александр Сергеевич.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ФИЗИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СТРОЕНИЯ  
КОНСОЛИДИРОВАННОЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ**

*Попов Д.А.* (ООО «Сейсмо-Шельф», ООО «ГЦ-СПбГУ», Санкт-Петербург, Россия)

*Половков В.В.* (ООО «Сейсмо-Шельф»; СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия)

*Мусин М.В.* (ООО «Сейсмо-Шельф», Санкт-Петербург, Россия)

Качество и надежность интерпретации результатов сейсмической разведки в первую очередь зависит от детального и точного понимания механизмов распространения сейсмических волн в исследуемой среде, возможностей и ограничений метода, а также влияния на финальный результат параметров полевых работ и обработки данных. И если в случае нефтяной сейсморазведки эти проблемы частично решены, то в сейсморазведке глубинной они не теряют своей актуальности. Это связано с несколькими факторами, важнейшие из которых следующие:

- Гораздо более скудная, либо полностью отсутствующая априорная информация о геологическом строении глубинных частей разреза;
- Невозможность адекватной аппроксимации среды слоистыми моделями, затрудняющая обработку материалов с использованием стандартных подходов;
- В целом меньшая финансовая обеспеченность глубинных сейсмических исследований.

Эффективное преодоление данных ограничений возможно, прежде всего, путем скрупулезного анализа большого объема данных, полученных решением прямой сейсмической задачи на физических и математических моделях известного строения. Конечно, подобный метод не может заменить качественных априорных данных (например, бурения), на данный момент, принципиальной невозможностью их получения для больших глубин, он остается единственным доступным нам инструментом.

Для решения прямой сейсмической задачи возможно использование математического либо физического моделирования волновых полей. Математическое моделирование – это сугубо численный процесс, заключающийся в решении уравнений распространения упругих колебаний в каждой точке модели с заданными свойствами. Это определяет как преимущества, так и недостатки метода - с одной стороны математическое моделирование обеспечивает качественный результат вычисления для относительно простых структурных моделей (как 2D, так и 3D), удобство и скорость вычисления объясняют его очень широкое распространение. С другой стороны результат математического моделирования несет в себе все ошибки заложенных алгоритмов (с их упрощениям, допущениям, аппроксимациями конечной точности), причем эти ограничения проявляются преимущественно при работе со сложнопостроенными моделями, представляющими на данный момент наибольший интерес.

В основе же физического моделирования лежит совершенно другой принцип – излучение и регистрация различных типов колебаний происходит на поверхности (либо в объеме) реально существующей физической модели. Жестко заданные критерии подобия [Ивакин, 1969] позволяют масштабировать изучаемую среду с характерными размерами порядка единиц – десятков километров до модели с размерами десятки сантиметров - первые метры. При этом корректное определение соотношений линейных размеров и времен регистрации для реальной и модельной среды (обычно составляющее от 1:5000 до 1:20 000), учет не идеальности используемой аппаратуры и различия некоторых свойств реальных пород / используемых материалов (дисперсия скоростей, декремент затухания), позволяет получать в высшей степени надежные результаты. Технологическая сложность как самого процесса моделирования, так и создания исследуемых моделей определяет основную область применения метода – исследование сред и ситуаций, на данный момент недоступных численному моделированию. Результаты

физического моделирования ценны не только для непосредственного анализа полученных сейсмических данных, но и для разработки новых и улучшения существующих математических моделей.

Рассмотрение истории изучения строения земной коры сейсмическими методами позволяет сделать вывод о планомерном усложнении используемых моделей сред - если на ранних этапах исследования производились только при помощи методов ГСЗ и КМПВ, с аппроксимацией среды слоистыми и слоисто-блоковыми моделями, то начавшееся в 50-60-е годы использование для этих целей технологий МОВ-ОГТ привело к появлению более сложных гетерогенных моделей [Караев, 1991]. Данный класс моделей характеризуется рассмотрением исследуемой среды как композиции неоднородностей, по своему размеру находящихся в различных соотношениях с радиусом первой зоны Френеля. При этом отклик среды на сейсмический сигнал источника представляет собой сложную интерференционную картину, для анализа которой необходимо внедрение и использование совершенно новых подходов.

Методы и задачи физического моделирования также претерпевают постоянное изменение и усложнение - если первоначально целью исследований было установление зависимостей распространения волн в относительно простых слоистых моделях, то затем, с развитием численных методов, область интересов метода стала смещаться в сторону задач исследования отклика трещиноватых, анизотропных, флюидонасыщенных и гетерогенных сред [Evans et al. 2007].

Планомерное использование метода для моделирования подобных сред началось в конце 70-х - начале 80-х годов. В нашей стране прежде всего известны работы таких исследователей, как О. Г. Шамина, Н. А. Караев и Л. Д. Гик [Шамина, 2005; Караев, 1991; Гик, 1997]. На данный момент можно выделить два направления использования физического сейсмического моделирования для изучения строения земной коры:

- Проведение исследований на максимально-упрощенных моделях для изучения частных эффектов вклада в сейсмическое поле отдельных объектов либо их групп, а также уточнения существующих математических моделей подобных сред;
- Физическое моделирование более реалистичных моделей с целью тестирования существующих и разработки новых способов обработки и анализа данных.

Также интересной областью применения физического моделирования является исследование вопросов комплексирования различных геофизических методов, с целью последующей совместной обработки (например, сейсморазведки и магнитотеллурического зондирования). Проведение подобных работ на современном уровне требует высококачественной регистрации данных для большого числа измерений, что приводит к необходимости создания современной лаборатории физического моделирования волновых полей, укомплектованной не только всей необходимой аппаратурой для измерения, оборудованием для создания моделей сред, но и автоматической системой позиционирования преобразователей.

В рамках базового проекта № 7.4-11/13 «Создать электронный Атлас волновых полей типовых геологических моделей консолидированной земной коры (по результатам физического моделирования) как основу для интерпретации данных глубинных сейсмических исследований на опорных профилях» (заказчик – «Роснедра»), коллективом ООО «Сейсмо-шельф» совместно с коллективом ООО «Геологический Центр СПбГУ» в 2014 году создана лаборатория физического сейсмического моделирования волновых полей и проведены исследования, направленные на изучение строения земной коры. Также в рамках НИР № 01201369201 сотрудниками ООО «Геологический Центр СПбГУ» создается установка для совместного физического моделирования сейсмических и электромагнитных данных.

**Список использованной литературы**

1. Гук Л. Д. Физическое моделирование распространения сейсмических волн в пористых и трещиноватых средах // Геология и геофизика. – 1997. – Т. 38. – №. 4. – С. 804-815.
2. Ивакин Б. Н. Методы моделирования сейсмических волновых явлений. – Москва: Издательство «Наука», 1969. – 287 с.
3. Караев Н. А. Физическое моделирование в задачах сейсмоки гетерогенных сред // Физика Земли. – 1991 г. – № 9. С. 110-123.
4. Шамина О. Г. Сейсмоакустические методы в геофизических исследованиях Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта. – М. : ИФЗ РАН, 2005.
5. Evans B., McDonald J., French W. Seismic physical modelling of reservoirs, its past, present and future // ASEG 2007 - 19th International Geophysical Conference & Exhibition. – 2007.

**SEISMIC PHYSICAL MODELING FOR CONSOLIDATED CRUST STUDIES**

**Popov D. A.**

**Polovkov V. V.**

**Musin M. V.**

The paper presents review of some problems of consolidated crust seismic research and place of physical modeling technology in a big range of methods (such as numerical modeling). Laboratory of seismic physical modeling was developed in 2014 year by “Seismo-Shelf” LLC and “Geology Center of SPbU”. New equipment for joint seismic-electromagnetic physical modeling developing now in “Geology Center of SPbU”.

**ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕРА ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В МЕТОДЕ ЗСБ ДЛЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ**

*Семинский И. К.* (ЗАО «ИЭРП», ИрННТУ, Иркутск, Россия)

*Емельянов В. С.* (ЗАО «ИЭРП», ИрННТУ, Иркутск, Россия)

*Гусейнов Р. Г.* (ЗАО «ИЭРП», ИрННТУ, Иркутск, Россия)

*Буддо И. В.* (ЗАО «ИЭРП», Иркутск, Россия)

**Введение**

Одним из наиболее распространенных методов электроразведки при изучении осадочного чехла юга Сибирской платформы является метод *зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ)*.

Основой метода ЗСБ является изучение характера установления электромагнитного поля в земле при резком изменении тока в источнике. Резкое выключение тока в генераторной петле вызывает появление индукционных токов, которые, с уменьшением плотности токовых линий, распространяются от дневной поверхности на глубину.

**Задача и методика моделирования сигналов ЗСБ**

Одним из важных методических аспектов при постановке метода ЗСБ является правильный выбор площади источника электромагнитного (э/м) поля, а точнее стороны генераторной петли (ГП). Площадь ГП напрямую влияет на мощность сигнала, качество данных и, соответственно, на глубинность исследований [1].

С помощью трехмерного моделирования сигналов ЗСБ (3D-моделирования), на основе априорной информации о строении осадочного чехла исследуемой территории, геологии, приблизительной глубине залегания продуктивного горизонта и фундамента, можно получить кривые, характерные для конкретной площади исследования. На основе результата анализа кривых возможно выбрать оптимальный размер источника э/м поля для конкретных геологических условий.

Для моделирования электромагнитных откликов от заданных эталонных моделей использовался программный комплекс «GeoEM», основанный на математическом алгоритме конечных элементов [2]. Комплекс «GeoEM» позволяет получить синтетические электромагнитные отклики от заданной среды, сопротивление и мощность слоев которой известны.

Задачей исследования было получение и анализ степени чувствительности сигналов ЗСБ, полученных от фоновой модели с учетом влияния геологического объекта, залегающего на глубинах – 450 и – 1700 м. Расчеты производились в двух вариантах для того, чтобы оценить чувствительность сигналов, зарегистрированных от источников с разной длиной стороны ГП (500, 600, 800 и 1000 м), к верхней и нижней частям разреза.

Стартовая геоэлектрическая модель (фоновая) составлена на основе типичных для юга Сибирской платформы геологических условий, состоит из 10 слоев с сопротивлением от 20 до 2000 Ом·м. В фоновую модель помещен трехмерный объект (для расчета № 1 – залегание – 450 м, для расчета № 2 – залегание – 1700 м), эквивалентный тонкому водонасыщенному пласту-коллектору сопротивлением 15 Ом·м. Математическое моделирование проводилось для профильной системы наблюдений ЗСБ. Профиль наблюдений проходит через центр объекта, шаг между приемниками э/м поля составляет 200 м (всего 28 пикетов).

Необходимо учитывать, что расчетные 3D-сигналы полностью лишены влияния электромагнитных помех, поэтому выбирать оптимальный размер источника э/м поля на основе «чистых» модельных данных некорректно.

Сигналы становления, как правило, осложнены помехами различного происхождения (геологическими, природными негеологическими, техногенными, инструмен-

тальными). Выбор уровня ЭМ шума при проведении математического моделирования выполнен на основе анализа практических данных. Для расчета верхних границ стандартного отклонения ЭДС помехи выполнен анализ полевых записей, зарегистрированных при выключенном источнике ЭМ поля. Объем данных для территории Иркутской области составил более 54 000 серий измерений (использованы материалы хранилища данных ЗАО «ИЭРП») [3]. Значение стандартного отклонения ЭДС нормировано на площадь приемного контура и усиление канала. Величина стандартного отклонения шума, определенного в рамках данного исследования, больше либо равна соответствующему значению для 95% наблюдений ЭМ помех.

Одной из особенностей современных телеметрических систем наблюдений [4;6] является регистрация сигналов становления с арифметическим шагом дискретизации по времени. Инверсия, как правило, выполняется на основе кривых с геометрическим шагом. Таким образом, на этапе первичной обработки производится интерполяция данных. Следствием этого, является нестационарность дисперсии ЭДС на каждом отсчете итоговой кривой. Для получения синтетических кривых величина дисперсии  $\sigma_0^2$  изменялась пропорционально силе тока в источнике, эффективной площади генераторной петли, объему накоплений. Для моделирования кривых близких к практическим, с учетом влияния процедуры интерполяции, применялась следующая функция [5]:

$$f_{\sigma}(t) = \frac{\sigma(t)}{\sigma_0} \approx 1.027 \frac{1}{\sqrt{t}}, \quad (1)$$

где  $t$  – время становления в мс,  $\sigma(t)$  – стандартное отклонение ЭДС на временном отсчете  $t$  итоговой кривой ЗСБ.

Таким образом, зашумление сигналов выполняется путем добавления случайных чисел с нормальным распределением ( $\mu = 0$ ;  $\sigma = f_{\sigma}(t)$ ) на каждом отсчете итоговой кривой ЗСБ.

Следующим этапом в выборе длины стороны ГП, после зашумления модельных сигналов ЗСБ является их интерпретация и визуализация результата. Процесс определения геометрических и физических параметров объектов по наблюдаемым аномалиям от этих объектов носит название обратной задачи (инверсии данных). Для реализации обратной задачи был использован инструмент автоматической инверсии, реализованный как модуль программы количественной интерпретации Model3 из комплекса программ SGS-TEM [4]. Аппарат автоматической инверсии данных ЗСБ для описываемых научно исследовательских работ был настроен следующим образом:

- Использовалась одномерная прямая задача электроразведки;
- За меру оценки точности инверсии была взята невязка между теоретической кривой и практической кривыми, где: теоретическая – синтезированная от предполагаемой геоэлектрической модели кривая становления поля, практическая – зашумленная модельная кривая ЗСБ;
- Расчет невязки производился на диапазоне времен становления поля от 10 до 300 мс;
- За стартовую модель была взята фоновая модель типичная геологическим условиям Восточной Сибири;
- Для решения проблемы поиска глобального минимума невязки использовался алгоритм «Имитации отжига» [7] в многомерной модификации;
- Диапазон поиска сопротивлений для каждого слоя задавался индивидуально.

### Результат

Для неоднородности, залегающей в верхней части разреза (-450 м), были получены значения амплитуды аномалии, выявленной по данным от источников с различной длиной стороны ГП (таблица 1). Геоэлектрический разрез, построенный по резуль-

татам инверсии кривых, искаженных влиянием неоднородности в верхней части разреза, не позволяет корректно оценить ошибку инверсии данных в силу недипольности установок с большей длиной стороны ГП.

Таблица 1  
**Сравнение величин амплитуд аномалий, зарегистрированных от различных источников**

Размер стороны ГП (м)	500	600	800	1000
Величина амплитуды аномалии, (%)	20.33	13.25	12.2	12.17

Для неоднородности, залегающей в нижней части разреза (–1700 м), значения ошибки восстановления модели, выявленной по данным от источников с различной длиной стороны ГП, представлены в таблице 2.

Таблица 2  
**Сравнение ошибки инверсии в результате инверсии данных, зарегистрированных от различных источников.**

Размер стороны ГП (м)	500	600	800	1000
Ошибка восстановления модели, (%)	11.2	9.1	7.7	6.9

### **Вывод**

В ходе анализа полученных геоэлектрических разрезов можно сделать вывод, что наиболее восприимчивы к неоднородности в нижней части разреза сигналы, полученные с использованием источника э/м поля со стороной 1000 м. Это объясняется тем, что сигнал от такого источника наиболее мощный и отношение сигнал/помеха больше, что подтверждает низкий уровень дисперсии. Однако сигналы от источника со стороной 1000 м имеют наихудшие показатели при картировании верхней части разреза. Поскольку мощность и момент сигнала высоки, на ранних временах сигнал неинформативен в силу недипольности. Причем, чем источник больше, тем недипольность значительнее, следовательно, с большей глубины начинается полезный сигнал.

В плане чувствительности к неоднородностям в верхней части разреза отличается источник э/м поля со стороной 500 м. Данный факт объясняется, опять же, недипольностью (у источников с большей стороной ГП картирование разреза начинается на десятки метров ниже). Но на поздних временах сигналы от источника с длиной стороны 500 м подвержены сильной дисперсии, что значительно снижает информативность кривых ЗСБ.

При сравнении значений величин аномалий, выявленных по сигналам от источников с длиной стороны 600 и 800 м, можно сделать вывод, что источник со стороной 600 м наиболее подходит для картирования осадочного чехла Восточной Сибири в силу высокой детальности и чувствительности к верхней и нижней частям разреза и высокой устойчивости к воздействию э/м помех. Также, немаловажно отметить тот факт, что использование источника с длиной стороны 600 м, с производственной точки зрения, наиболее удобно и менее трудозатратно, чем источника с большей длиной стороны.

### **Список использованной литературы**

1. Введение в теорию геофизических методов. А. А. Кауфман // Москва, 2000.
2. Компьютерное моделирование геоэлектромагнитных полей в трехмерных средах методом конечных элементов. Персова М. Г., Соловейчик Ю. Г., Тригубович Г. М. // Физика земли, 2011, № 2, С. 3-14.

3. Гусейнов Р. Г., Петров А. В., Шарлов М. В. Интеграция оперативной системы обработки и хранилища данных электромагнитных зондирований // Вестник ИрГТУ, 2014. – № 4(87). – С. 18-23.

4. Шарлов М. В., Агафонов Ю. А., Стефаненко С. М. Современные телеметрические электроразведочные станции SGS-ТЕМ и FastSnap // ПРИБОРЫ и СИСТЕМЫ РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ, 2010, №1, С.27-31.

5. Гусейнов Р. Г., Петров А. В., Агафонов Ю. А., Шарлов М. В., Буддо И. В., Гомельский В. В. Система оценки качества сигналов нестационарных электромагнитных зондирований // Вестник ИрГТУ, 2015. – № 5(100). – С. 53-60.

6. Секачев М. Ю. и др. Аппаратурный электроразведочный комплекс «Цикл-7» // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2006. – Т. 1. – С. 44-46.

7. Metropolis N. THE BEGINNING of the MONTE CARLO METHOD // LOS ALAMOS SCIENCE NO. 15, 1987. P. 125-130.

### SELECTING THE OPTIMAL SIZE OF TEM METHOD FOR GEOLOGICAL CONDITIONS IN EASTERN SIBERIA

Seminsky I. K.

*Emelyanov V. S.*

*Guseinov R. G.*

*Buddo I. D.*

Increasingly popular in the mapping of the upper part of the geological section has a TEM method. However, of great importance during the TEM has the choice of the size of the source of the electromagnetic field. In this paper, using a 3D-mathematical modeling of signal TEM tools noisy signals and automatic inversion is justified that the source with a side of 600 m in the optimal geological conditions of Eastern Siberia.

Научный руководитель: Агафонов Юрий Александрович, кандидат технических наук, генеральный директор ЗАО «ИЭРП».

**РОЛЬ ГРАВИРАЗВЕДКИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ВУЛКАНОГЕННЫХ  
СТРУКТУР, СОПРЯЖЕННЫХ С ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНЫМ  
ЭПИТЕРМАЛЬНЫМ ОРУДЕНЕНИЕМ**

*Сенчина Н. П.* (ФГУНПП «Геологоразведка», Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия)

*Ермолин Е. Ю.* (Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия)

**Введение**

Поиск эпитермальных золотоносных кварцевых жил (ЗКЖ) является сложной геолого-геофизической задачей ввиду малой мощности изучаемых объектов. В прошлых исследованиях авторы показали эффективность методов аудиомагнитотеллурического зондирования в пятикомпонентном варианте (АМТ-МВП) и наземной магнитной съёмки при поисках ЗКЖ на небольшом лицензионном участке в пределах Охотско-Чукотского вулканического пояса [1, 4]. В данной работе авторы продемонстрируют роль современной наземной гравиметрической съёмки в комплексе геофизических методов, при изучении грабенообразной структуры, в пределах обрамления которой обнаружены маломощные слепые эпитермальные ЗКЖ.

**Геологическая позиция объекта и постановка задачи исследования**

Исследуемая площадь расположена в позднемиоценовых вулканитах Охотско-Чукотского вулканического пояса [2]. Мощность рудовмещающей толщи составляет до 1300 м. Она состоит из лав порфировых андезитов и их туфов. Их перекрывают фельзиты (риолит, дацит-риолит лапиллиевые туфы) и более поздние порфировые микродиориты. Объекты поисков – маломощные (до 3-5 м) малосульфидные кварцевые жилы, имеющие высокие (10-30 г/т) содержания золота и Ag/Au ~ 12:1. Промышленные жилы в основном слепые (глубина верхней кромки от 50 до 120 м) имеют крутое (около 85-70°) падение, протяженность от 100 до более 1000 м; их мощность варьирует от 1 до 16 м. По простиранию жилы часто контролируются дайками порфировых дацит-андезитов, реже – дацитов. Зачастую дайки пересекают жилы и «съедают» или разубоживают их.

Найденные ранее жилы в основном локализируются в пределах границ грабенообразной структуры, заполненной кислыми эффузивами (менее плотными). Вмещающими для грабена породами являются андезибазальты (более плотные). Морфология границ грабена различна: от резких сбросов до клавишно-блоковой структуры.

Учитывая известную особенность локализации ЗКЖ в пределах тектонически ослабленных зон, применение гравиразведки - метода, направленного на выделение структурных особенностей участка, - представляется эффективным не только для определения морфологии грабенообразной структуры в целом, но и для поиска зон, перспективных на наличие эпитермальных ЗКЖ.

**Методика полевых работ и интерпретации данных гравиразведки**

Работы выполнены с помощью высокоточного гравиметра CG-5 Autograv. Основными особенностями примененной аппаратуры являются: автоматическая компенсация и коррекция; отсутствие воздействий температуры, давления и магнитного поля; автоматическое шумоподавление; система подавления сейсмических шумов; низкий остаточный дрейф. Топогеодезическое обеспечение (привязка точек наблюдений) осуществлено при помощи дифференциальной спутниковой системы.

Съемка произведена по сети 125 м × 250 м. Количество рядовых пунктов гравиметрической съёмки превышает 500. Условия съемки осложнены наличием заболоченных участков и изрезанным рельефом местности с наличием крутых склонов. Методика съемки обеспечивает привязку начальной и конечной точки каждого звена к ОГП, а

также регулярные контрольные наблюдения. Для сокращения погрешности наблюдений, применялась дополнительная защита от ветра, дождя, неустойчивости болотистого грунта и т.д., в зависимости от условий на точке наблюдений. Доля контрольных наблюдений составляет около 15%, среднеквадратические погрешности определения наблюдённых значений силы тяжести составили 0.013 мГал.

Для получения результирующей карты гравитационного поля в редукции Буге была произведена обработка по стандартной схеме (учтены поправки за: дрейф нуля, лунно-суточные вариации, свободный воздух, промежуточный слой и рельеф). В качестве дополнения к стандартной методике обработки, при расчете поправки за рельеф, учитывался угол наклона местности в окрестности каждой точки наблюдения и была введена поправка за влияние атмосферы.

Выполнен анализ трансформаций гравитационного поля, произведена качественная и количественная интерпретация данных гравиразведки. Результаты интерпретации проанализированы в сравнении с данными других методов. Оценена глубина грабена и уточнены его границы путем применения комплексного подхода к интерпретации – от методов экспресс-интерпретации по характерным точкам, до современных программных средств – КОСКАД 3D, GM-SYS, библиотека макросов Median Tomo (автор – М. Б. Штокаленко).

### Результаты и выводы

Несмотря на значительное перекрытие в плотностях пород, слагающих различные пакки эффузивов, карта гравитационного поля в редукции Буге позволяет выделить границы грабена. По данным различных вариантов интерпретации, средняя глубина грабена составляет 300-400 м (с глубиной на отдельных участках около 100 м и более 500 м). Границы его с запада пространственно совпадают с выделенным ранее вдоль водотока разломом. Восточная граница грабена отчетливо выделяется на картах трансформант гравитационного поля и демонстрирует существенное смещение от выделяемой ранее границы и более сложное ее клавишное строение.

При комплексировании результатов геофизических методов надёжность решения геологической задачи увеличивается, если имеется пространственное совпадение результатов различных съёмок. Кроме того, методы, ориентированные на различные физические свойства пород, призваны дополнять друг друга. Здесь авторы поставили задачу проанализировать результаты гравиметрической съёмки совместно с результатами магниторазведки, магнитотеллурического зондирования и магнитовариационного профилирования в аудио – диапазоне (АМТ-МВП). Метод АМТ-МВП позволяет разделить в разрезе зоны пород с низким сопротивлением (туфы, зоны изменения горных пород) от пород с более высоким (лавовые потоки, интрузивные образования, кварцевые жилы) [3, 4]. Результаты магнитной съёмки позволяют выделить разломы и потенциально-рудноносные зоны по идущим из глубины аномалиям пониженной эффективной намагниченности, связываемым с флюидоподводящими каналами [5]. Гравиразведка выделяет блоки пород с различными плотностными свойствами, а также разуплотнённые зоны тектонических нарушений.

В целом, характеризуя изучаемую площадь с точки зрения указанных методов, можно отметить ряд особенностей:

– В гравитационном поле: контрастное выделение преимущественно риолитовой формации в андезибазальтовой, с глубиной расположения подошвы заполняющей грабен толщи 300-400 м. Дайки и интрузии выделяются слабо. В центральной части грабена обнаружен аномальный объект пониженной плотности, который может быть как рудогенерирующим очагом кислого состава, так и локальной депрессией в грабене.

– В магнитном поле: разломы и жильная зона проявляются как слабоконтрастные зоны пониженных значений эффективной намагниченности, имеющие глубинный крутопадающий канал. Выделяются некоторые интрузии.

– По данным электромагнитного зондирования АМТ: проявляется слоистость толщи перекрывающих эффузивов, известные погребённые жильные зоны выделяются, как области повышенных значений удельного электрического сопротивления. По подобному признаку намечено несколько перспективных зон в обрамлении грабена.

Авторы выражают глубокую благодарность С. Г. Алексееву и М. Б. Штокаленко за поддержку в выполнении работы.

Авторы благодарят заказчика за возможность публикации материалов.

### Список использованной литературы

1. Integration of Ground Audio-Magnetotelluric (AMT) and Airborne Magnetic Surveys for Exploration of Gold-Bearing Quartz Veins, 3rd EAGE International GeoBaikal conference 2014 - Exploration and Field Development in East Siberia, N. Senchina, E. Ermolin and O. Ingerov.

2. *Котляр И. Н.* Золото-серебряная рудоносность вулканоструктур Охотско-Чукотского пояса. – М.: Наука, 1986. – 264 с.

3. *Ingerov, O. and Ermolin, E.*, The results of AMT survey at Patomsky crater. 73rd European Association of Geoscientists and Engineers Conference and Exhibition 2011 – Incorporating SPE EUROPEC 2011. 6. P. 4325-4329.

4. *Ermolin E., Ingerov O., Savichev A.* Gold exploration in Chucotka region by using audiomagnetotellurics. 22-th EM Induction Workshop Weimar, Germany, 24-30 Aug. 2014.

5. *Штокаленко М. Б., Алексеев С. Г., Сенчина Н. П.* Итерационная или медианная полосовая фильтрация как средство фокусирования потенциального поля в томографии. Материалы конференции «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей». 41-я сессия Международного семинара им. Д. Г. Успенского, Екатеринбург, 2014, С. 286-288.

### THE ROLE OF GRAVITY SURVEY IN VOLCANIC STRUCTURES WITH GOLD-SILVER EPITHERMAL MINERALIZATION PROSPECTING

*Senchina N. P.*  
*Ermolin E. Y.*

Paper is devoted to the solving of the structural geological task by gravity geophysical method. Work was carried-out on the territory of volcanic belt, connected with gold-silver mineralization. As a result of work, the terrain corrected Bouguer Gravity data is presented. This data helps to allocate buried faults and different local structures with noted density contrast. In complex with magnetic prospecting and AMT, this information can show well-known faults and veins and can make effective prediction of unknown before structures.

## ПРИМЕНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ИНВЕРСИИ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ЗОН УЛУЧШЕННЫХ КОЛЛЕКТОРСКИХ СВОЙСТВ В НИЖНЕМЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ PENOBSCOT, НОВАЯ ШОТЛАНДИЯ

Суханов Р. А. (ФГУП «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург, Россия)

Целью исследования было выделение зон улучшенных коллекторских свойств в нижнемеловых отложениях формации Missisauga. Данная формация представляет собой песчано-глинистую толщу, где объектами поисков являются породы песчаников. Для этого была проведена интерпретация каротажных кривых и сейсмического материала. По данным каротажа были выделены пласты песчаников, по сейсмическим данным – рассчитана акустическая инверсия, позволяющая по значениям акустического импеданса можно отделить коллектор от неколлектора на исследуемой площади.

Исследуемая территория Penobscot находится в новошотландском нефтегазоносном бассейне вблизи острова Sable, где открыты несколько нефтегазовых и газовых месторождений, входящие в проект по разработке месторождений на шельфе (Sable Project) в новошотландском нефтегазоносном бассейне (Атлантический океан). Осадочный чехол представлен мезозойскими и кайнозойскими отложениями, где коллекторскими свойствами обладают такие формации как Abenaki (Kimmerldgian, верхняя юра), Missisauga (Aptian, Barremlan, Hauterlvian, Berriasian – нижний мел), Logan Canyon (Cenomanian, Albain – нижний мел), Wyandot (Campnlan – верхний мел). Из них карбонатными являются Abenaki и Wyandot, а терригенными – Missisauga и Logan Canyon.

В районе исследования выполнена сейсморазведка МОВ ОГТ 3D площадью 90 км<sup>2</sup> и пробурены 2 скважины, в которых выполнен значительный объем каротажа разными методами. Для достоверного выделения коллекторов использовались следующие виды каротажа ГК, ПС, для контроля использовались КВ, ГГКп, КС.

На рис. 1 показан график значений каротажных кривых ГК и ПС по скважине В41, где показано разделение толщи на песчаник и глину. Интервалы со значениями по ГК в диапазоне от 10 до 60 у.е. и ПС в диапазоне от –70 до –40 мВ соответствуют песчаникам. По значениям ГК в диапазоне от 50 до 110 у.е. и ПС в диапазоне от –40 до 40 мВ – глинам.

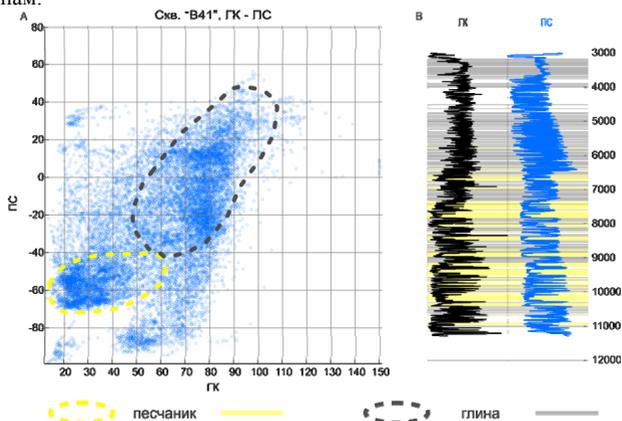


Рис. 1. График с данными каротажей ГК и ПС для скважины В41 (глубины указаны в футах). А – график, где выделены эллипсами песчаник от глин; В – кривые каротажей ГК и ПС, цветом обозначены значения, попавшие в выделенные области на рис. 1А. Значения на рис. 1А, попадающие в выделенную область, обозначенную песчаником или глиной, выделяются и на каротажных кривых (рис. 1В). Как видно на каро-

тажных диаграммах (рис. 1В) песчано-глинистое чередование характерно для глубин от 6800 до 10300 футов (от 2070 до 3130 метров).

При более детальном изучении каротажных кривых было выделено 5 терригенных коллекторов в нижней части формации Missisauga (рис. 2) между отражающими горизонтами Base 'O'-Marker и L. Missisauga. Мощности слоев песчаников варьируют от 20 до 70 метров.

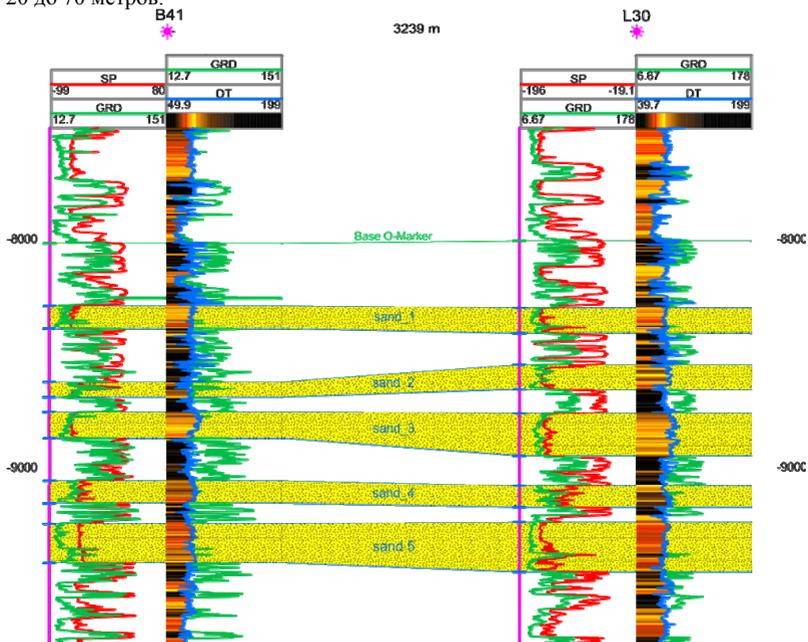


Рис. 2. Межскважинный профиль с выделенными терригенными коллекторами (глубины указаны в футах)

Скважинная информация была привязана к сейсморазведочным данным с помощью одномерного волнового моделирования. Коэффициенты корреляции между синтетическими трассами и реальными достигли 59.7% (B41) и 60.8 % (L30). Прослежены основные отражающие горизонты, такие как Wyandot, Dawson Canyon, Logan Canyon, Upper Missisauga, Base 'O'-Marker, Lower Missisauga, Abenaki, а так же - дополнительные горизонты (кровля, подошва) для терригенных коллекторов в пределах нижнего мела формации Missisauga.

Для определения акустических свойств была проведена акустическая инверсия. Инверсия базируется на основе каротажных, сейсмических данных и структурной модели. В результате был рассчитан куб значений акустического импеданса, на рис.3А показан вертикальный разрез амплитуд и разрез акустического импеданса (рис.3В). Области с пониженными значениями акустического импеданса наиболее интересны, так как эти области характерны песчаникам.

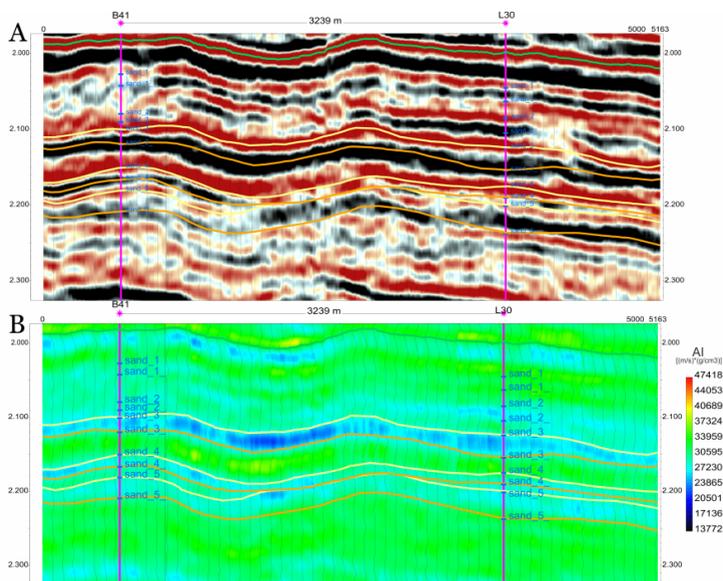


Рис. 3. Сравнение вертикальных разрезов амплитуд и акустического импеданса в межскважинном пространстве (А – разрез амплитуд, В – разрез акустического импеданса,  $[(\text{м/с}) \cdot (\text{г/см}^3)]$ ).

Анализ полученных данных позволил сделать следующие выводы:

1. Использование акустической инверсии помогает проследить контрастные толщи (песчаник-глина) в межскважинном пространстве более уверенно, а так же даёт дополнительную информацию об акустической жёсткости разреза.

2. В кубе акустического импеданса отчётливо выделяются пласты мощностью от 32 м и больше. Например, терригенный пласт “sand\_5” мощностью 52,5 м, выделяется уверенно (рис.3В). Пласт “sand\_3” (имеет самые низкие значения акустического импеданса на представленном вертикальном разрезе – рис.3В) выделяется наилучшим образом. Мощности верхних пластов невелики, поэтому выделить их на разрезе акустического импеданса сложнее. Пласт “sand\_1” имеет мощность 30,5 м, его выделение затруднительно. Для уверенного выделения тонкослоистых коллекторов требуется более высокоразрешающие данные сейсморазведки.

За консультации по техническим вопросам автор выражает признательность президенту компании dGB Earth Sciences Paul de Groot, а за предоставленные материалы – компаниям Nova Scotia Department of Energy, Canada Nova Scotia Offshore Petroleum Board и dGB Earth Sciences.

#### Список использованной литературы

1. *Высоцкий И. В., Высоцкий В. И., Оленин В. Б* Нефтегазоносные бассейны зарубежных стран: Учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1990. – 405 с.
2. *Ahmad Q.* // *Geology & Geosciences*, 2013, V 2.
3. *Veeken PCH, Da Silva M.* // *First Break*, 2004, V 22, P 47-70.

**APPLYING ACOUSTIC INVERSION FOR DETERMINING OF ZONES WITH  
IMPROVED RESERVOIR PROPERTIES IN THE LOWER CRETACEOUS  
SEDIMENTS ON PENOBSCOT TERRITORY, NOVA SCOTIA**

*Sukhanov R. A.*

The aim of the study was selection of zones of improved reservoir properties in the Lower Cretaceous formations Missisauga. This formation is a sand-shale sequence in which objects are searching sandstone rocks. For this purpose we interpret well logs and seismic data. According to the logs were isolated sandstone formations, seismic data – estimated acoustic inversion, allowing the values of the acoustic impedance can be separated from the non-reservoir reservoir in the study area.

**ВЫЯВЛЕНИЕ НЕСТАНДАРТНЫХ ЛОВУШЕК УВ В СЛОЖНЫХ СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ С ПОМОЩЬЮ ПЛАСТОВОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ИНВЕРСИИ**

*Тарасенко Е. М. (ФГУП «ВНИГНИ», Москва, Россия)*

В данном докладе рассматривается пример выявления органогенных построек (ОП) в условиях низкого качества сейсмического материала, полученного на южном склоне Анабарской антеклизы Восточной Сибири. В этом районе распространены обширные рифогенные толщи, сложенные карбонатными и карбонатообломочными отложениями с прослоями глинистых карбонатов и аргиллитов. В пределах этих толщ на сейсмических временных разрезах по морфологическим и динамическим признакам иногда удается выделить аморфные тела с крутопадающими границами - органогенные постройки (ОП), с которыми связываются большие перспективы открытия крупных месторождений УВ. Применение сейсмических инверсий, активно используемых в других регионах для поисков ОП [1, 2], ранее считалось в этом районе невозможным не только из-за низкого качества сейсмических материалов, что связано, в основном, с плохими поверхностными условиями, а также и из-за слабой разбуренности территории. Скважины с имеющимися данными АК обычно находились в десятках, или даже в сотнях километров от перспективных участков, изучаемых сейсморазведкой, что не позволило получить исходные геоакустические модели для выполнения сейсмических инверсий.

Оптимальная система ОТДИ (Оптимальная Технология Динамической Интерпретации), в которую входит оригинальная программа пластовой акустической инверсии ПАИ, обладает рядом особенностей, которые позволяют эффективно использовать ее даже в подобных сложных условиях. Это объясняется специфическими особенностями системы ОТДИ и программы ПАИ [3], а именно:

- наличие дополнительных процедур обработки сейсмических временных разрезов, таких как: НВФ (направленная веерная фильтрация) и ДЕКСТР (стратиграфическая деконволюция), позволяющих повысить отношение сигнал/помеха без снижения временной разрешенности и привести сейсмические сигналы к нульфазовому виду;
- результатом ПАИ являются сейсмические разрезы импедансов  $I_p(t, x)$ , содержащие пласты, минимальная временная мощность которых  $\tau_{\min}$  соответствует реальной разрашающей способности сейсморазведки;
- регуляризация ПАИ осуществляется путем задания диапазонов  $I_p$  в регионально выдержанных реперных пластах и межреперном пространстве, что позволяет передавать на исследуемую площадь геоакустические модели скважин, находящихся от нее в десятках и даже сотнях километрах.

В данной работе показано, что применение ПАИ позволяет повысить эффективность выявления ОП на региональных профилях, проходящих через опорные скважины, вскрывающие рифогенные толщи. Кроме того, на поисковых профилях Экспериментальной площади с помощью ПАИ изучается внутреннее строение рифогенной толщи, выделяются и оконтуриваются ОП, границы которых никак не проявлялись на исходных сейсмических временных разрезах. При этом опорная геоакустическая модель для этих поисковых профилей была передана путем получения системой ОТДИ пластовых сейсмоакустических разрезов по системе региональных профилей длиной более 300 км, соединяющих опорную скважину с Экспериментальной площадью.

**Список использованной литературы**

1. *Губанова Я. Е.* Выделение карбонатных построек по сейсмическим и скважинным данным с помощью акустической инверсии, Extended abstract of session 4 EAGE Geophysics, 2009.

2. *Кондратьев И. К., Бондаренко М. Т., Киссин Ю. М.* «Оптимизационная пластовая инверсия – эффективный способ прогнозирования коллекторов нефтегазоперспективных комплексов в сложных сейсмогеологических условиях», тезисы конференции ВНИГНИ: «Приоритетные направления геологоразведочных работ на нефть и газ по воспроизводству сырьевой базы углеводородов», 2011.

3. *Кондратьев И. К., Бондаренко М. Т., Каменев С. П.* Динамическая интерпретация данных сейсморазведки при решении задач нефтегазовой геологии. Геофизика, 1996, № 5-6. С.41-47.

**IDENTIFYING OF UNCONVENTIONAL HYDROCARBON TRAPS IN  
COMPLICATED GEOLOGICAL CIRCUMSTANCES BY  
ACOUSTIC STRATUM INVERSION**

*Tarasenko E.M.*

It is demonstrated the possibility of identifying reefogenous buildings in complicated circumstances of East Syberia by means of the system OTRI (Optimized Technology of Reservoir Investigation) containing the unique program of the acoustic stratum inversion (ASI). Demonstrated results show the high efficiency of acoustic stratum inversion in case of processing low quality seismic data and use the logs data of two drilled wells located at 300 km from zone of interest.

Научный руководитель: Кондратьев И. К., доктор технических наук, главный научный сотрудник ФГУП «ВНИГНИ».

**СОЗДАНИЕ НОРМАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТНОЙ МОДЕЛИ  
КОНСОЛИДИРОВАННОЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПО  
КОМПОЗИЦИОННОМУ ПРОФИЛЮ 2ДВ-5АР**

*Тарасова О. А. (ФГУП «ВСЕГЕИ», Санкт-Петербург, Россия)*

Одной из задач при построении глубинных плотностных моделей по геолого-геофизическим профилям Государственной сети опорных профилей является их согласование, так как модели создаются для крупных территорий, которые могут включать региональные и надрегиональные глубинные неоднородности, ассоциирующиеся с соответствующими тектоническими структурами. Проблемой увязки плотностных моделей занимались многие исследователи, в частности, в литературе 1970-80-х гг. она рассматривается С. С. Красовским, К. М. Картвелишвили, С. И. Субботиным и другими. Проводить гравитационное моделирование в разных регионах при мелкомасштабных работах позволяет введение единой «нормы». Ее параметры не закрепляются жестко, а представляют собой предмет изучения по мере развития исследований и уточнения наших представлений о среде [1].

В соответствии с методикой, разрабатываемой во ФГУП «ВСЕГЕИ» [2], создание нормальной плотностной модели («нормы») земной коры и верхней мантии является частью работ по построению глубинной плотностной модели.

Под нормальной плотностной моделью понимается стандартная (PREM) модель литосферы Земли [3], адаптированная к региональным особенностям земной коры и верхней мантии на основе агроирной (сейсмической, петрофизической и др.) информации и представляющая собой градиентную модель без учета локальных неоднородностей.

Исследование проводилось по композиционному геолого-геофизическому профилю «2ДВ-5АР» (длиной 1500 км). Профиль «2ДВ-5АР» в направлении с юго-запада на северо-восток последовательно пересекает северный фланг Омолонского массива и Алазейско-Олойскую складчатую систему Верхояно-Кольмской складчатой области, Чукотскую складчатую область и южный фланг Новосибирско-Чукотской плиты, включая значительную часть Северо-Чукотской впадины. Таким образом, создаваемая модель охватывает серию тектонических структур с различной историей развития и располагается как на суше, так и на шельфовой области.

Геометрия модели (положение кровли консолидированной земной коры и ее подошвы) на рассматриваемом профиле «закреплена» на основании глубинных сейсмических данных (взаимоувязанных данных МОВ-ОГТ и ГСЗ [2]).

Модель содержит четыре различные по своим свойствам среды слоя, для которых задавались индивидуальные параметры, как рекомендовано в работе Мильштейн, 2013 [2]:

1. *Слой воды.* Для слоя морской воды, имеющим мощность от 0 до 2,5 км, принята плотность  $2,67 \text{ г/см}^3$ , т. к. для расчета модели использованы гравиметрические данные в редукции Буге с такой же плотностью.

2. *Слой осадочных пород.* Для слоя осадочных пород Северо-Чукотского прогиба и Южно-Чукотского прогиба принято среднее значение плотности –  $2,45 \text{ г/см}^3$ .

3. *Слой консолидированной земной коры.* Нормальная градиентная плотностная модель консолидированной земной коры принята как линейное распределение плотности между двумя главными поверхностями раздела земной коры: кровлей (подошва осадочного чехла, фундамент) и подошвой (граница Мохо). Задача построения модели сводится к оценке плотностных параметров плотности на кровле и подошве консолидированной земной коры. [2] В первом варианте построена модель с постоянной плотностью пород на поверхности фундамента (кровли земной коры) равной  $2,67 \text{ г/см}^3$ . Под осадочными бассейнами плотность на кровле консолидированной коры определялась как функция глубины залегания этой поверхности. Также были проанализированы тенденции изменения скорости с глубиной в континентальной консолидированной земной

коре, полученные на основании общемировых обобщений сейсмических данных [4]. При глубине залегания границы Мохо порядка 35 км в пределах Новосибирско-Чукотской плиты (пассивная континентальная окраина) и для складчатых систем, мощность коры которых составляет 50 км, скорость  $V_p$  на подошве коры около 7,0 км/с. По различным корреляционным зависимостям скорость-плотность модели  $V_p=7,0$  км/с соответствуют плотности от 2,97 до 3,08 г/см<sup>3</sup> [1, 4, 5]. Чтобы согласовать модель земной коры с глобальными плотностными моделями Земли, плотность на подошве земной коры была принята 3,02 г/см<sup>3</sup>.

4. *Верхняя мантия.* Плотность мантии учитывалась от подошвы земной коры до глубины 80 км с плотностью 3,35 г/см<sup>3</sup> [1].

С учетом параметров сред был сформирован цифровой массив 4 трех плотностных разделов, на основе которого проведен расчет нормальной («стандартной») градиентной плотностной модели.

Проверка корректности созданной модели осуществлялась путем решения прямой задачи гравиметрии с использованием модуля GM-SYS программного комплекса «Oasis Montaj» («Geosoft»). В результате проверки плотностная модель показала недопустимо высокие невязки модельного и «наблюденного» полей. Среднеквадратическая ошибка составила 80 мГл при отклонении расчетного поля в отдельных областях до 120 мГл. Анализ полученных данных выявил определенные закономерности распределения невязок. Общий тренд невязки указывает на существенную недокомпенсацию плотностных параметров в крайней южной (складчатая область) и северной (Северо-Чукотская впадина) части профиля, при аномально высокой перекомпенсации в центральной части (переход «суша-море»), для которой отмечается максимально высокое положение подошвы земной коры.

При решении прямой задачи гравиметрии программа автоматически, либо интерпретатор устанавливают станцию отсчета модельного гравитационного поля – расчет поля ведется в условном уровне. Если модель считать по одной из региональных структур, где уровень поля одинаковый, то не будет таких больших невязок при любом распределении. Именно поэтому выбран профиль, пересекающий принципиально различные тектонические структуры.

На основе априорной информации модель общего нарастания плотности с глубиной была откорректирована: плотностные параметры вдоль границ, заменены на латерально переменные. Для определения плотности на поверхности были использованы данные петрофизических исследований по профилю 2-ДВ [6], петроплотностная карта и схема осредненных значений плотности горных пород северо-востока Азии [7]. Плотность изменяется в пределах от 2.6 до 2.7 г/см<sup>3</sup>. Для уточнения плотностных параметров вдоль подошвы коры была использована структурно-скоростная модель ГСЗ по профилю «2ДВ-5АР» [2]. Скорости на подошве земной коры по модели ГСЗ отличаются от зависимостей [3]: в Чукотской складчатой области по данным ГСЗ в нижней коре скорость более высокая  $V_p=7,2$  км/с, а для Новосибирско-Чукотской плиты - более низкая,  $V_p=6,7$  км/с, с небольшим возрастанием на север. Диапазон изменения плотностей: 2.98-3.10 г/см<sup>3</sup>. Значительные мощности осадков в районе Северо-Чукотской впадины потребовали замены постоянного значения плотности на градиентно нарастающее. По всему профилю в мантии выделяется граница ГСЗ 8,3 - 8,4 км/с, которой соответствует плотностная граница 3,37 г/см<sup>3</sup>. Ее положение с юга на север меняется от 60 км в сухопутной части до 37 км в морской.

Уточнение нормальной «стандартной» модели снизило среднеквадратическую ошибку примерно в два раза (до 35 мГал), при средних отклонениях модельного поля порядка 10-20 мГл. Максимальная ошибка (60 мГал) сохранилась в зоне перехода «суша-море», на участке профиля протяженностью порядка 250 км (область максимального подъема границы М). Полученная невязка рассматривается как аномальный эффект

неучтенных плотностных неоднородностей земной коры и верхней мантии. Минимизация невязки соответствует подбору окончательной плотностной модели.

#### Список использованной литературы

1. Красовский С. С. Гравитационное моделирование глубинных структур земной коры и изостазия. Киев: Наукова думка, 1989.
2. Мильштейн Е. Д. и др. Отчет по объекту: «Создание актуализированных моделей строения земной коры и верхней мантии по опорным геолого-геофизическим профилям». ФГУП «ВСЕГЕИ», СПб, 2013. Росгеолфонд, инв. № 510845.
3. Dziewonski A. M., Anderson D. L. Preliminary reference Earth model. / Phys. Earth Planet. Inter., 1981, V. 25.
4. Christensen Ni. I., Mooney W. D. Seismic velocity structure and composition of the continental crust: A global view. /J. of Geophys. Res, 1995, V. 100, N B7.
5. Алейников А. Л., Немзоров Н. И., Кацубин С. Н. Способ определения типа горных пород по сейсмическим данным. Авт. свид. №1642416 А1 кл. G01 V1/30, 1991.
6. Попова М. В., Соболев П. Н. Атлас горных пород опорного геофизического профиля 2-ДВ. ФГУП «СНИИГГиМС», Новосибирск, 2012.
7. Вацлов Ю. Я., Зимникова Т. П., Шило Н. А. Петрофизика поверхностных и глубинных образований северо-востока Азии. М.: Наука, 1982.

#### THE CREATION A NORMAL DENSITY MODEL OF THE CONSOLIDATED EARTH'S CRUST ALONG THE "2DV-5AR" PROFILE

*Tarasova O. A.*

In this study we considered building the normal gradient density increase in the Earth's crust on an example of the "2DV-5AR" profile. It shows regional lateral and depth heterogeneities, which were obtained on the basis of a priori information (deep seismic data, petro-physical data and rocks density map).

Научный руководитель: кандидат геолого-минералогических наук Мильштейн Е.Д., заведующая отделом ФГУП «ВСЕГЕИ».

НЕОБХОДИМОСТЬ УЧЕТА СФЕРИЧНОСТИ ЗЕМЛИ ПРИ ПЕРВИЧНОЙ  
ОБРАБОТКЕ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Хохлова В. В. (Горный институт УрО РАН, Пермь, Россия)

При обработке материалов полевых гравиметрических измерений, как правило, в силу ограниченных размеров изучаемых площадей пренебрегают шарообразной формой Земли. Таким образом, классическая теория интерпретации базируется на решении прямых и обратных задач гравиметрии в прямоугольных координатах  $XYZ$  при плоской границе «земля-воздух». Вполне очевидно, что эта модель не соответствует действительности. Между тем, еще В. Н. Страхов писал, что одним из основных направлений развития интерпретации геопотенциальных полей является разработка теории, методов и численных алгоритмов, основанных на представлении о Земле как о теле, близком к сфере, с использованием соответствующих аналитических соотношений в сферических координатах и геометрических представлений, согласованных с этой системой координат [1].

Оценим отклонения сферической поверхности Земли от горизонтальной плоскости, соприкасающейся с этой поверхностью в пункте гравиметрических наблюдений. Для этого рассмотрим модель «сферической» Земли: шар с радиусом  $R = 6371$  км. Радиус зоны учёта влияния промежуточного слоя  $L$  примем равным 200 км, т.к. обычно именно в таких пределах рассчитывают поправки за влияние рельефа для гравиметрических съемок масштаба 1:50 000 и мельче [2]. В таком случае отклонение по высоте  $DH$  плоской и сферической моделей на краю зоны  $L$  составит 3,14 км. Одни и те же гравиметрические пункты, за счет имеющихся различий высот  $DH$  в рассмотренных выше моделях Земли, использующихся при редуцировании результатов полевых измерений, будут характеризоваться разными аномальными значениями силы тяжести. Поэтому возникает необходимость учёта максимально приближенной к реальной поверхности Земли при обработке материалов гравиметрических съемок [3].

Особое значение для гравиразведки имеет вычисление аномалий силы тяжести, которые обусловлены влиянием топографических масс именно сферической Земли. При расчете аномалий силы тяжести с учетом сферичности Земли для упрощения вычислительных операций необходимо выделить главную составляющую этого влияния (сферический слой) и дополнение к ней (поправка за рельеф). Также вместо эллипсоида достаточно рассматривать сферическую модель Земли, пренебрегая ее полярным сжатием.

Однако не во всех случаях надо учитывать влияние поверхности рельефа всей Земли, так как вычисление соответствующих аномальных эффектов требует значительных временных затрат, а влияние топографических масс, находящихся на большом удалении, незначительно и оказывает практически одинаковое воздействие на все гравиметрические пункты исследуемого района. Следовательно, рациональней всего вычислять гравитационное влияние не всех топографических масс Земли, а лишь тех, которые находятся в пределах ограниченного расстояния (радиуса)  $L$  от пункта наблюдений [4].

Основной вклад в гравитационный эффект топографических масс вносит радиальная составляющая  $V_R$  притяжения сферического слоя, мощности  $H$  и постоянной плотности  $\sigma$ , учитываемая в пределах области  $L$ . Формулы вычисления притяжения сферического слоя приведены в работах В. М. Гордина [5], Г. Г. Ремпеля [6], А. И. Каленицкого и В. П. Смирнова [7], Т. R. LaFehr [8]. Также автором предложена оригинальная методика учета влияния сферического промежуточного слоя, основанная на его аппроксимации набором цилиндрических колец [4].

Второй составляющей аномалии силы тяжести в неполной топографической редукции является поправка за влияние рельефа местности с учетом кривизны Земли, вычисление которой представляет наибольшую сложность при обработке гравиметрических данных.

Если поправки за влияние рельефа для «плоской Земли» всегда положительны, то при использовании сферического промежуточного слоя топографические массы могут создавать как положительные, так и отрицательные гравитационные эффекты. Знак зависит от расположения учитываемых масс относительно не только сферического слоя, но и горизонтальной плоскости, проходящей через точку наблюдения [9]. Предложенные Лукавченко формулы [9] позволяют использовать для вычисления поправки за рельеф с учетом сферичности Земли уже существующие методы, разработанные для «плоской» Земли [3, 10]. Однако для более точной аппроксимации фрагментов сферической поверхности предлагается вместо прямоугольного параллелепипеда использовать сферический.

Сферический параллелепипед – это тело, ограниченное координатными плоскостями  $\varphi_1, \varphi_2, \lambda_1, \lambda_2$  и  $r_1, r_2$ . В сферической системе координат радиальная составляющая  $V_R$  его гравитационного потенциала для точки  $P(R, \varphi_0, \lambda_0)$  на поверхности Земли определяется выражением:

$$V_R(R, \varphi_0, \lambda_0) = f \cdot \sigma \cdot \int_{r_1}^{r_2} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (R - r \cdot \cos \omega) \cdot r_0^{-3} \cdot r^2 \cdot \sin \varphi \, dr \, d\varphi \, d\lambda, \quad (1)$$

где  $r_0 = \sqrt{R^2 + r^2 - 2Rr \cos \omega}$ ,  $\sigma$  – плотность тела;  $r, \varphi, \lambda$  – переменные интегрирования,  $\omega$  – угол при центре сферы между точками  $P$  и  $M$ :  $\cos \omega = \cos \varphi_0 \cos \varphi + \sin \varphi_0 \sin \varphi \cos(\lambda_0 - \lambda)$ . В аналитическом виде представить интеграл (1) невозможно, поэтому для расчета гравитационного эффекта единичного параллелепипеда необходимо использование адаптивных методов численного интегрирования. Для получения топографической поправки в точке  $P(R, \varphi_0, \lambda_0)$  на поверхности Земли необходимо просуммировать эффекты всех сферических параллелепипедов, находящихся внутри  $L$ .

С целью выявления особенностей поправок за рельеф для «плоской» и «сферической» Земли был выполнен ряд экспериментов. Так для территории Пермского края и прилегающих регионов до расстояния 200 км от границ края по данным глобальных цифровых моделей рельефа создана регулярная сеть высот рельефа с шагом 1 км. С помощью программы «New Standards» [11] для всей территории Пермского края была вычислена поправка за промежуточный слой несколькими способами (радиус учета  $L = 200$  км). По программе «TopWin» [10] были рассчитаны поправки за рельеф для «плоской» и «сферической» Земли –  $\delta g_{пл}$  и  $\delta g_{сф}$ , соответственно. Имея в виду то, что сферичность Земли начинает проявляться при радиусе учета  $L \geq 5-10$  км, внешний размер области учитываемого рельефа составил 200 км, внутренний – 10 км. Разница между аномалиями Буге, полученными для «плоской» и «сферической» моделей Земли достигает 3 мГал в горных районах на востоке Пермского края, при среднем ее значении 0.47 мГал, что превышает точность определения аномалии силы тяжести в редукции Буге для 1:200 000 масштаба исследований, включая погрешность определения координат гравиметрического пункта.

Редуцирование гравиметрических данных с учетом сферичности Земли представляет наибольшую сложность в обработке полевых материалов. Однако использование устаревшей «плоской» модели Земли при обработке может вносить неконтролируемые погрешности в вычисленные аномалии Буге, что отрицательно влияет на последующую геологическую интерпретацию гравиметрических карт (цифровых моделей поля). Следует отметить, что если при вычислении поправки за промежуточный слой используется сферическая модель слоя, то и поправку за влияние рельефа необходимо учитывать также для сферической Земли и с тем же размером области учета  $L$ . При несоблюдении данного условия появляются специфические искажения аномалий силы тяжести, обладающие выраженной корреляцией с высотами точек измерений поля. При

сложном рельефе земной поверхности такое редуцирование совершенно непригодно для высокоточных гравиметрических исследований [4].

**Список использованной литературы**

1. *Страхов В. Н.* Разрушение господствующего стереотипа мышления – главная задача в развитии теории и практики интерпретации потенциальных полей (гравитационных и магнитных аномалий) в начале XXI века. М.: ОИФЗ РАН, 2000. 44 с.
2. Инструкция по гравиразведке. М., Недра, 1980. – 80 с.
3. *Бычков С. Г., Симапов А. А.* Совершенствование процедур обработки высокоточных гравиметрических наблюдений // Геофизика. 2014. № 1. С.11-17.
4. *Симапов А. А., Хохлова В. В.* Вычисление аномалий Буге с учётом сферичности Земли // Геология и полезные ископаемые Западного Урала // Материалы региональной научно-практической конференции. Пермь, 2014. С. 220-223.
5. *Гордин В. М.* Способы учета влияния рельефа местности при высокоточных гравиметрических измерениях. М: ВИЭМС, 1974. 90 с.
6. *Ремпель Г. Г.* Актуальные вопросы введения поправок, связанных с рельефом местности, в данные гравиразведки и магниторазведки / Физика Земли. 1980. № 12. С. 75-89.
7. *Каленицкий А. И.* Методические рекомендации по учету влияния рельефа местности в гравиразведке. Новосибирск: СНИИГГиМС, 1981. 150 с.
8. *LaFehr T. R.* An exact solution for the gravity curvature (Bullard B) correction / Geophysics, V. 56, N 8, 1991, P. 1179-1184.
9. *Лукавченко П. И.* Гравиметрическая разведка на нефть и газ. М.: Гостоптехиздат, 1956. 336 с.
10. *Симапов А. А.* Учет влияния рельефа местности при высокоточной гравиметрической съемке на основе геоинформационных технологий // Геология и полезные ископаемые Западного Урала // Материалы региональной научно-практической конференции. Пермь, 2008. С. 220-223.
11. *Khokhlova V.* Improving the data processing procedures of precision gravity survey // 14th GeoConference on Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing. Conference Proceedings. Volume 1. 2014. P.635-642.

**THE NEED TO INTEGRATE EARTH'S SPHERICITY IN PRIMARY PROCESSING OF THE GRAVITY DATA**

*Khokhlova V. V.*

As the title implies the article describes questions of the accounting Earth's sphericity during the primary processing of the gravity data. It is shown that incorrectly to idealize the Earth's shape on the entering corrections stage in the results of gravity measurements; it can cause some errors in geological interpretation. There are proposed modifications of the existing algorithms for reduction gravity field taking into account the Earth's sphericity.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук Долгаль Александр Сергеевич, и.о. главного научного сотрудника Ги УрО РАН.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗНОРАНГОВЫХ УРАНОНОСНЫХ ОБЪЕКТОВ В ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОЛЯХ***Шаткевич С. Ю. (ФГУНПП «Геологоразведка», Санкт-Петербург, Россия)*

Целью данной работы является моделирование разноранговых объектов оруденения урана в потенциальных полях с определением поисковых предпосылок этих объектов. Полученные модели могут использоваться в дальнейшем для прогноза и поиска урановых руд на новых площадях. Актуальность работы обуславливается отсутствием в последнее время открытий новых промышленно значимых месторождений урана.

Моделирование проводилось путем формального решения обратной задачи пересчета потенциальных полей в нижнее полупространство. Использовался алгоритм послонной фильтрации поля с использованием медианного фильтра с пересчетом полученных составляющих в нижнее полупространство предложенный М. Б. Штокаленко [1]. Применение медианного фильтра по сравнению с вычислением среднего арифметического значения позволяет уменьшить влияние anomalно высоких значений поля. Пересчет поля в нижнее полупространство для каждого радиуса фильтрации осуществляется сразу на расчетную глубину, что уменьшает погрешность вычислений.

Можно отметить, что при таком преобразовании не используется априорная информация о геологическом разрезе. Этот этап обработки данных обычно является первичным разложением потенциального поля для последующей интерпретации и введения разнообразных редукций в программах, аналогичных GMSYS. Однако уже на этом первичном этапе получается важная информация, которую можно рассматривать самостоятельно.

Результаты проводимых преобразований имеют четкую привязку по глубине, установленную путем моделирования полей точечных источников. Для объектов протяженных в латеральном направлении расчетные глубины являются предельными. Полученные томографические разрезы являются одним из возможных решений обратной задачи гравиразведки или магниторазведки и выражаются в значениях избыточной плотности или намагниченности. Глубина исследований и размеры изучаемых объектов ограничены длиной профиля, но не размером скользящего окна спектрального анализа. Перечисленные особенности обуславливают удовлетворительное соответствие получаемого разреза с геологическими и сейсмическими данными [2] и показывают преимущество выбранного метода исследования перед другими известными алгоритмами построения томографических разрезов на основе спектрального анализа поля.

Матрицы региональных полей имеются на всю территорию России, что значительно расширяет возможность выбора эталонных объектов. В ходе региональных геофизических построений использовались цифровые матрицы полей (по сети  $0.5 \times 0.5$  км,  $1 \times 1$  км) для территории Алданского и Балтийского щитов, а так же районов Забайкалья. Уровень полей условный. В ходе моделирования разноранговых объектов, рассмотрены металлогенические подразделения различного иерархического порядка: Эльконский ураново-рудный район, Тулукуйский флюорит-молибден-ураново рудный узел, включающий в себя Стрельцовское флюорит-молибден-урановое рудное поле, а также Пашско-Ладожский ураново-рудный район и Заонежский благороднометалльно-уран-ванадиевый рудный узел.

В процессе моделирования были выделены общие закономерности размещения урановорудных объектов в потенциальных полях. Разрезы в единицах эффективной избыточной плотности ( $\text{г/см}^3$ ) показывают пространственную связь рудных узлов с глубинными разуплотнениями земной коры сопровождающимися локальными уплотнениями пород ее верхней части.

Глубинные очаги разуплотнения земной коры также отражаются на разрезах, выполненных в единицах абсолютной плотности ( $\text{г/см}^3$ ). Пересчет избыточных плотно-

стей в абсолютные проводился путем арифметического сложения матриц эффективной и фоновой плотностей. Предполагалось, что разрез фоновой плотности горизонтально слоистой, а значения этой плотности изменяются по барометрическому закону от дневной поверхности ( $2,67 \text{ г/см}^3$ ) до границы Мохо ( $3,33 \text{ г/см}^3$ ) [3].

На разрезах в единицах эффективной намагниченности (мА/м) объекты уранового оруденения характеризуются как зоны пониженной намагниченности, пространственно связанные с аномально высокими значениями намагниченности пород средней и нижней части коры.

Участки разреза соответствующие искомым урановородным объектам, на которых совпадают зоны пониженной эффективной плотности и намагниченности, могут быть выбраны в качестве эталонов при прогнозных построениях и поиске уранового оруденения на новых площадях. С другой стороны расхождения в распределении этих параметров в моделях разных эталонных площадей, могут быть обусловлены различиями в типах оруденения и условиях их локализации в рудоконтролирующих структурах.

### **Список использованной литературы**

1. *Штокаленко М. Б., Алексеев С. Г.* Столкновение аналитического продолжения потенциального поля вниз. // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: Материалы 42-й сессии Международного научного семинара им. Д.Г.Успенского. Пермь, 2015, с. 221-223.

2. *Козлов С. А., Алексеев С. Г., Лебедин П. А., Савицкий А. П., Штокаленко М. Б.* Сопоставление сейсмических разрезов по региональным профилям с распределением сингулярных источников потенциальных полей, эффективной избыточной плотности и эффективной намагниченности пород. // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 36-й сессии Междунар. науч. семинара им. Д.Г.Успенского. Казань: Казанский гос. ун-т, 2009, С. 164-166.

3. *Штокаленко М. Б., Алексеев С. Г., Козлов С. А.* От избыточной эффективной плотности к абсолютной // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 40-й сессии Междунар. науч. семинара им. Д.Г.Успенского. М.: ИФЗ РАН, 2013. С. 380-384.

### **MODELING OF DIFFERENT RANKS URANIUM-BEARING OBJECTS IN POTENTIAL FIELDS**

*Shatkevich S. Y.*

The objective of this study is to determine the major search preconditions different ranks uranium-bearing objects in potential fields. The purpose was reached by solving the inverse problem of gravity and magnetic prospecting. Technology of construction of deep vertical cross-sections based on the formal terms of the field in the lower half. When calculated are used wavelet transform with the physical meaning. Gravity and magnetic tomographic cross-sections were constructed for a variety of objects including a rich uranium mineralization. For different objects allocated general projected preconditions. According to the investigations the areas of overlapping of low density and low magnetization in gravity and magnetic tomographic cross-sections may be regarded as prognosis features for ore.

Научный руководитель: Алексеев Сергей Георгиевич, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией ФГУНПП «Геологоразведка».

## III СЕКЦИЯ

## МОРСКАЯ И ПОЛЯРНАЯ ГЕОФИЗИКА

## III SECTION

## SEA AND POLAR GEOPHYSICS

ОБЗОР ОТЕЧЕСТВЕННЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ В АНТАРКТИДЕ

Попов С. В. (ФГУНПП «ПМГРЭ», Санкт-Петербург, Россия)

Открытие станции Мирный 13 февраля 1956 г. на побережье моря Дейвиса положило начало отечественных исследований в Антарктике. С открытием первой внутриконтинентальной станции Пионерская (27 мая 1956 г.) наша страна сделала первый шаг на пути к изучению глубинного строения центральных районов континента. Основой научных работ того времени были санно-гусеничные походы. За первое десятилетие было открыто 14 станций и полевых баз. Половина из них располагалась во внутренних районах Антарктиды. За это время был осуществлён широкий спектр геологических, аэрогеофизических и морских исследований. Их результатом явилось первое представление о климате, ледниковом покрове, подлёдном рельефе, глубинном строении и геологии континента. Достижения отечественных учёных нашли своё отражение в фундаментальном научном труде: *первом в мире Атласе Антарктики* [1], который в 1971 г. был удостоен Государственной премии.

В сезон 9-й Советской антарктической экспедиции (САЭ, 1963-65 гг.) в Антарктиде, в районе станции Мирный, учёными из Института Арктики и Антарктики (ААНИИ) впервые в нашей стране был применён радиолокационный метод изучения строения ледника и подлёдного рельефа [2]. Примерно в это же время он был внедрён и нашими зарубежными коллегами [3], и с тех пор активно применяется и развивается. Начало отечественных аэроадиолокационных исследований в Антарктиде было положено в феврале 1966 г., когда были выполнены два маршрута на самолёте Ил-14 в районе станции Мирный. К концу 1960-х годов, опытно-методические работы по внедрению нового геофизического метода были окончательно завершены. *На сегодняшний день радиолокационное профилирование является единственным геофизическим методом, который позволяет оперативно и детально изучать подлёдный рельеф и ледниковый покров.*

Расцвет отечественных геолого-геофизических и гляциологических исследований в Антарктиде пришёлся на 1970-е и 1980-е годы. В этот период были открыты новые станции и полевые базы. Начало систематического изучения континента было положено в ходе операции «Эймери», продолжавшейся три полевых сезона 17-19 САЭ (1971-74 гг.). За это время в районе шельфового ледника Эймери и выводного ледника Ламберта (Восточная Антарктида) были выполнены комплексные аэрогеофизические исследования, а также глубинные сейсмические зондирования и зондирования МОВ. В середине 1980-х годов была создана летающая лаборатория на базе самолёта Ил-18Д ГАЛ, которая успешно выполняла комплексные аэрогеофизические исследования во внутренних районах Антарктиды.

На протяжении последних тридцати лет, начиная с 31-й САЭ (1985/86 гг.), плановые комплексные аэрогеофизические исследования, с применением аэроадиолокационного профилирования, сосредоточены на землях Мак-Робертсона, Принцессы Елизаветы и Вильгельма II. Последнее время они выполняются на самолёте Ан-2 по се-

ти маршрутов, с межмаршрутным расстоянием 5 км. Работы нацелены на изучение глубинного строения, подлёдной топографии и строения ледника обширной неизученной области Восточной Антарктиды.

После длительного перерыва, в сезон 49-й РАЭ (2003/04 гг.) были возобновлены научные санно-гусеничные походы для изучения внутренних районов Восточной Антарктиды. Они осуществлялись совместно с выполнением логистических задач обеспечения внутриконтинентальной станции Восток со станции Мирный, а в последствие, начиная с 2008 г., и со станции Прогресс. При этом основным геофизическим методом являлось радиолокационное профилирование, которое часто сопровождалось гляциологическими и геодезическими исследованиями. В ходе радиолокационного профилирования были выявлены особенности подлёдной топографии в практически неизученном районе Восточной Антарктиды. Кроме того, было выявлено и изучено два подледниковых водоёма. Один из них расположен в непосредственной близости от станции Пионерская [4], а второй – примерно в пятидесяти километрах от станции Комсомольская [5].

Наиболее значимыми наземными радиолокационными работами последних лет является изучение подледникового озера Восток. Оно было открыто в 1993 г. в ходе анализа данных спутниковой альтиметрии [6]. Практически сразу началось его планомерное изучение дистанционными методами. Цель радиолокационных работ заключалась в определении береговой линии озера Восток, выявления основных черт подлёдного рельефа и строения ледникового покрова. В общей сложности за период 1998-2008 гг. было выполнено 5190 пог. км маршрутов. Было установлено, что озеро Восток представляет собой замкнутый водоём площадью 15790 кв. км. Высотное положение внешнего зеркала изменяется в пределах приблизительно от -600 до -150 м. В пределах его акватории выявлено 11 островов, а за его пределами имеется 56 изолированных подледниковых водоёмов [7]. Кроме того, была определена средняя скорость распространения электромагнитных волн в леднике. Согласно полученным результатам, она составляет  $168,4 \pm 0,5$  м/мкс, при этом мощность ледника в районе станции Восток составляет  $3775 \pm 15$  м [8]. Сейчас, благодаря проникновению в озеро, известно, что мощность ледника составляет  $3759 \pm 3$  м (В.Я. Липенков, частное сообщение). Столь высокая точность проведённых работ свидетельствует о достойном уровне отечественной науки.

В сезон 58-й РАЭ (2012/13 гг.) впервые в отечественной практике выполнены георадарные исследования с целью изучения строения снежно-фирновой толщи и грунта районов подледникового озера Восток, трассы следования санно-гусеничного похода «Восток – Прогресс» и холмов Ларсеманн (станция Прогресс) [9]. В сезон 60-й РАЭ (2014/15 гг.) эти работы были продолжены и сосредоточены на станциях Мирный и Прогресс, нося при этом прикладной характер. Исследования были нацелены на изучение зон трещин с целью обеспечения безопасности передвижения людей и транспортной техники. На станции Мирный, помимо этого, исследования были направлены на поиск места строительства взлётно-посадочной полосы. Именно георадарные исследования позволили найти участок, внутриледниковые трещины на котором отсутствуют. В будущем полевом сезоне 61-й РАЭ (2015/16 гг.), после повторного георадарного обследования, на новой взлётно-посадочной полосе планируется принять первый самолёт.

За шестьдесят лет отечественных исследований, геофизическими съёмками было покрыто около 5 млн. кв. км Антарктиды, что составляет более трети её территории. Эти материалы, не потерявшие своей значимости и актуальности, были использованы в международных проектах BEDMAP и BEDMAP2 (топография коренного ложа Антарктики) [10,11], а также в изданном в 2011 г. в Санкт-Петербургском университете первом в мире Геоморфологическом атласе Антарктиды [12].

Антарктическим исследованиям в нашей стране придаётся огромное научное и политическое значение. Геолого-геофизические исследования показали, что этот континент богат полезными ископаемыми [13,14]. Кроме того, в Антарктиде сосредото-

но 24,69 млн. куб. км чистой пресной воды [11], что в 190 раз больше объёма пресноводных рек и озёр. Одним словом, Антарктида – резерв Человечества, и её изучение – это важная и нужная задача.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, в рамках научного проекта № 14-05-00234-а.

### Список использованной литературы

1. Атлас Антарктики. Т. I. Москва-Ленинград: ГУГК, 1966. 238 с.
2. Богородский В. В., Рудаков В. Н., Гюльпин В. А. Электромагнитное зондирование антарктического ледника // Журнал технической физики. 1965. Т. XXXV, № 6. С. 1150-1153.
3. Богородский В. В., Бентли Ч. Р., Гудмандсен П. Радиогляциология. Ленинград: Гидрометеиздат, 1983. 308 с.
4. Попов С. В., Попков А. М. Сейсморадиолокационные исследования района подледникового озера Пионерское, Восточная Антарктида // Криосфера Земли. 2015. Т. XIX, № 2. С. 107-113.
5. Попов С. В., Масолов В. Н., Лукин В. В. и др. Отечественные сейсмические и наземные радиолокационные исследования в Центральной Антарктиде накануне Международного полярного года 2007-2008. // Материалы гляциол. исслед. 2007. № 103. С. 107-117.
6. Ridley J. K., Cudlip W., Laxon S. W. Identification of subglacial lakes using ERS-1 radar altimeter // J. Glaciol. 1993. Vol. 39, № 133. P. 625-634.
7. Попов С. В., Черноглазов Ю. Б. Подледниковое озеро Восток, Восточная Антарктида: береговая линия и окружающие водоёмы // Лёд и снег. 2011. № 1(113). С. 13-24.
8. Popov S. V., Sheremet'ev A. N., Masolov V.N. et al. Velocity of radio-wave propagation in ice at Vostok station, Antarctica // J. Glaciol. 2003. Vol. 49, № 165. P. 179-183.
9. Попов С. В., Эберляйн Л. Опыт применения георадара для изучения строения снежно-фирновой толщи и грунта Восточной Антарктиды // Лёд и снег. 2014. № 4(128). С. 95-106.
10. Lythe M. B., Vaughan D. G., et al. BEDMAP: A new ice thickness and subglacial topographic model of Antarctica // J. Geophys. Res. 2001. Vol. 106. P. 11335-11351.
11. Fretwell P., Pritchard H. D., Vaughan D. G., et al. Bedmap2: improved ice bed, surface and thickness datasets for Antarctica // Cryosph. 2013. Vol. 7. P. 375-393.
12. Геоморфологический атлас Антарктиды. Санкт-Петербург: ЗАО «Карта», 2011. 256 с.
13. Грикуров Г. Э., Лейченко Г. Л., Михальский Е. В., и др. Минеральные ресурсы Антарктики: геологические предпосылки и перспективы освоения // Разведка и охрана недр. 2000. № 12. С. 59-63.
14. Лейченко Г. Л., Иванов В. Л. Прогнозная оценка перспектив нефтегазоносности Антарктики // 60 лет в Арктике, Антарктике и Мировом океане. Сборник научных трудов. Санкт-Петербург: ВНИИОкеангеология, 2008. С. 329-338.

### REVIEW OF THE RUSSIAN RADIO-ECHO SOUNDING INVESTIGATIONS IN ANTARCTICA

*Popov S. V.*

This paper includes the short historical review of the Russian radio-echo sounding investigations in Antarctica. They were started in 1964 and now this is the main geophysical method to study ice sheet and ice base topography. The most fundamental investigations were carried out in the Subglacial Lake Vostok area. The boundary of the lake was mapped. Fifty-

six isolated subglacial lakes were revealed outside Lake Vostok. The average velocity of the electromagnetic wave propagation in the glacier was measured; the value is  $168.4 \pm 0.5$  m/ $\mu$ s. About 5,000,000 sq. km (one third of Antarctic) was covered by Russian airborne geophysical (including radio-echo sounding) surveys. GPR investigations as new scientific and practical direction to study the snow-firn layer and revealing crevasses were initiated in 2012.

**ПЕРЕНОС ИМПУЛЬСА ИНЕРЦИОННО-ГРАВИТАЦИОННЫМИ  
ВНУТРЕННИМИ ВОЛНАМИ В ГИБРАЛТАРСКОМ ПРОЛИВЕ**

*Багатинский В. А.* (Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова (филиал), Севастополь, Россия)

*Слепышев А. А.* (Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия)

Исследования в области внутренних гравитационных волн заняли в последние годы одно из центральных мест в океанологии.

Актуальность проблематики обусловлена, прежде всего, тем, что внутренние волновые движения морской воды пронизывают всю толщу Мирового океана и играют в связи с этим важную роль во всех океанических динамических явлениях. Особый интерес к исследованиям внутренних волн в последнее время вызван их большой, а возможно и основной, ролью в процессах, обуславливающих горизонтальный и вертикальный обмены в океане. Основным фактором, обуславливающим существование внутренних волн в океане, является устойчивая стратификация, соответствующая увеличению плотности воды по направлению силы тяжести, т.е. от поверхности ко дну океана. Нелинейные эффекты при распространении узкоспектрального пакета внутренних волн проявляются в генерации средних на масштабе волны течений [1]. Вертикальные скорости этих течений на переднем и заднем фронте волнового пакета имеют разные знаки, поэтому интегрального вертикального переноса в идеальной жидкости не происходит. Ниже будет показано, что при учете турбулентной вязкости и диффузии вертикальная составляющая скорости стокова дрейфа отлична от нуля и обуславливает вертикальный волновой перенос. Вертикальные волновые потоки импульса также отличны от нуля.

Рассматриваются свободные внутренние волны в бароклинном течении при учёте вращения Земли в неограниченном бассейне постоянной глубины при учете турбулентной вязкости и диффузии. Две компоненты скорости среднего горизонтального стратифицированного течения зависят от вертикальной координаты. В линейном приближении находится дисперсионное соотношение. Во втором порядке малости по амплитуде волны находятся вертикальные волновые потоки импульса и скорость стокова дрейфа.

Безразмерные переменные вводятся по формулам [2] (штрихом обозначены размерные физические величины)

$$\begin{aligned} x' = Hx, \quad y' = Hy, \quad z' = Hz, \quad t' = t / \omega, \quad u' = H\omega u, \quad v' = H\omega v, \quad w' = H\omega w, \quad U_0' = H\omega U_0, \\ \rho' = \rho_0'(0)\rho, \quad \rho_0'(x_3) = \rho_0'(0)\rho_0(x_3), \quad P' = \rho_0'(0)H^2\omega^2 P, \quad K' = K\mu, \quad M' = M\mu, \\ f' = f\omega, \quad \zeta' = H\zeta, \end{aligned}$$

где  $x, y, z$  – две горизонтальные и вертикальная координаты, ось  $z$  направлена вертикально вверх,  $\omega$  – характерная частота волны,  $u, v, w$  – соответственно две горизонтальные и вертикальная компоненты волновой скорости течения,  $\rho$  и  $P$  – волновые возмущения плотности и давления,  $\rho_0$  – невозмущенная средняя плотность воды,  $H$  – глубина моря,  $K, M$  – коэффициенты горизонтальной турбулентной вязкости и диффузии,  $\mu$  – характерное значение горизонтальной турбулентной вязкости,  $U_0(z)$  – скорость среднего течения,  $f$  – параметр Кориолиса,  $\zeta$  – вертикальное смещение свободной поверхности моря. Коэффициенты горизонтального турбулентного обмена постоянны.

$$\frac{Du}{Dt} - fv + w \frac{dU_0}{dz} = - \frac{\partial P}{\partial x} + \varepsilon^2 K \Delta_h u \quad (1)$$

$$\frac{Dv}{Dt} + fu = -\frac{\partial P}{\partial y} + \varepsilon^2 K \Delta_h v \quad (2)$$

$$\frac{Dw}{Dt} = -\frac{\partial P}{\partial z} + \varepsilon^2 K \Delta_h w - \rho \quad (3)$$

$$\frac{D\rho}{Dt} = -w \frac{d\rho_0}{dz} + \varepsilon^2 M \Delta_h \rho \quad (4)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (5)$$

Здесь  $\varepsilon^2 = \frac{\mu}{\omega_* H^2}$  – малый параметр, пропорциональный значению горизонтальной турбулентной вязкости, действие оператора  $\frac{D}{Dt}$  раскрывается по формуле

$$\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + (u + U_0) \frac{\partial}{\partial x} + (v + V_0) \frac{\partial}{\partial y} + w \frac{\partial}{\partial z}.$$

Граничные условия на свободной поверхности ( $z = 0$ )

$$P - g_1 \zeta = 0, \quad g_1 = \frac{g}{\omega_*^2 H} \quad (6)$$

$$K \frac{\partial u_3}{\partial x_1} = 0, \quad K \frac{\partial u_3}{\partial x_2} = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + U_0 \frac{\partial \zeta}{\partial x_1} + V_0 \frac{\partial \zeta}{\partial x_2} = u_3 \quad (8)$$

Динамические условия (6) и (7) определяют отсутствие нормальных и тангенциальных напряжений, (8) – кинематическое условие на свободной поверхности [3]. Параметр  $g_1$  по используемым ниже данным очень велик,  $g_1 \sim 10^3$ , отсюда  $\zeta \approx 0$  в (1.6). Условие  $\zeta = 0$  – условие «твердой крышки» для внутренних волн, отфильтровывает поверхностные волны [3]. Отсюда в силу (8)  $w = 0$ . В дальнейшем будет использоваться именно это условие на поверхности.

Граничные условия на дне – условие «твердой крышки» и отсутствие тангенциальных напряжений (условие «гладкого скольжения» [3])

$$w(-1) = 0 \quad (9)$$

$$K \frac{\partial w}{\partial x} = 0, \quad K \frac{\partial w}{\partial y} = 0, \quad z = -1 \quad (10)$$

Ввиду того, что коэффициентами вертикального обмена пренебрегается, тангенциальные напряжения у дна нулевые.

Решения линейного приближения ищутся в виде:

$$u_1 = u_{10}(z) A e^{i\theta} + c.c., \quad v_1 = v_{10}(z) A e^{i\theta} + c.c., \quad w_1 = w_{10}(z) A e^{i\theta} + c.c. \\ P_1 = P_{10}(z) A e^{i\theta} + c.c., \quad \rho_1 = \rho_{10}(z) A e^{i\theta} + c.c., \quad (11)$$

где  $c.c.$  – комплексно сопряженные слагаемые,  $A$  – амплитудный множитель,  $\theta$  – фаза волны;  $\partial\theta/\partial x = k$ ,  $\partial\theta/\partial t = -\omega$ ,  $k$  – горизонтальное волновое число,  $\omega$  – частота волны. Предполагается, что волна распространяется вдоль оси  $x$ .

После подстановки (8) в систему (1) – (5) следует связать амплитудных функций  $u_{10}$ ,  $v_{10}$ ,  $\rho_{10}$ ,  $P_{10}$  с  $w_{10}$  и уравнение для  $w_{10}$ .

$$\left[ \Omega^2 + 2i\Omega k^2 K \varepsilon^2 - f^2 - \varepsilon^4 k^4 K^2 \right] \frac{d^2 w_{10}}{dz^2} - k \frac{f^2}{\Omega + i\varepsilon^2 k^2 K} \frac{dU_0}{dz} \frac{dw_{10}}{dz} +$$

$$+ k \left[ \left( \frac{d^2 U_0}{dz^2} - k\Omega - i\varepsilon^2 k^3 K \right) (\Omega + i\varepsilon^2 k^2 K) + kN^2 \right] w_{10} = 0, \quad (12)$$

где  $N^2 = -\frac{d\rho_0}{dz}$  – квадрат частоты Брента – Вайсяля.

Уравнение (12) имеет малый параметр  $\varepsilon$ , следуя методу, изложенному в [4] решение  $w_{10}$  и частота  $\omega$  представляются в виде асимптотических рядов по  $\varepsilon$ . В нулевом порядке по  $\varepsilon$  находятся невязкие решения, во втором порядке находятся поправки, обусловленные вязкостью, они чисто мнимые. Поэтому вертикальная составляющая скорости стоковса дрейфа [2] отлична от нуля и вертикальный поток импульса  $\overline{uw}$  отличен от нуля. Вертикальный волновой поток импульса  $\overline{w\dot{w}}$  отличен от нуля и в невязком случае, при учете вращения Земли. Вертикальные волновые потоки импульса превосходят турбулентные.

#### Список использованной литературы

1. *Ле Блон П., Майсек Л.* Волны в океане. – М.: Мир, 1981. – Ч. 2. – 363 с.
2. *Слепышев А. А.* Процессы переноса, обусловленные слабонелинейными внутренними волнами при наличии турбулентности // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. – 1997. – Т.33, № 4. – С. 536-548.
3. *Миропольский Ю. З.* Динамика внутренних гравитационных волн в океане. Ленинград: Гидрометеоздат. – 1981. – С. 30.
4. *Вишик М. И., Люстерник Л. А.* Регулярное вырождение и пограничный слой для линейных дифференциальных уравнений с малым параметром // Успехи математических наук. – 1957. – Т. XII, вып. 5 (77). – С. 3-122.

#### MOMENTUM TRANSFER BY INERTIAL-GRAVITY INTERNAL WAVES IN THE STRAIT OF GIBRALTAR

*Bagatinsky V. A.*

*Slepyshv A. A.*

Free internal waves are considered at the account of a horizontal turbulent exchange in vertically – non-uniform stratified current. In linear approximation dispersion relation and decrement of wave attenuation are found. In the second order on amplitude of a wave are defined a vertical component of Stockes drift speed and wave fluxes of momentum. It is shown that the basic contribution to wave transport is brought by a vertical component of Stockes drift speed which at the account of turbulent viscosity and diffusion is distinct from zero. The wave flux of momentum exceeds the turbulent ones.

Научный руководитель: Слепышев Александр Алексеевич, ведущий научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН.

**ВОЛНОВЫЕ ПОТОКИ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ИНЕРЦИОННО-ГРАВИТАЦИОННЫМИ ВНУТРЕННИМИ ВОЛНАМИ.**

*Воротников Д. И.* (Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова (филиал), Севастополь, Россия)

*Слепышев А. А.* (Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия)

Исследования в области внутренних гравитационных волн заняли в последние годы одно из центральных мест в океанологии. Актуальность проблематики обусловлена, прежде всего, тем, что внутренние волновые движения морской воды пронизывают всю толщу Мирового океана и играют в связи с этим важную роль во всех океанических динамических явлениях. Особый интерес к исследованиям внутренних волн в последнее время вызван их большой, а возможно и основной, ролью в процессах, обуславливающих горизонтальный и вертикальный обмен в океане.

Вертикальный обмен в морской среде обычно связывают с мелкомасштабной турбулентностью. Существует несколько механизмов генерации мелкомасштабной турбулентности, к числу которых относятся гидродинамическая неустойчивость сдвиговых течений и обрушение внутренних волн. Мелкомасштабная турбулентность имеет перемежаемый характер и можно говорить об эффективном коэффициенте вертикального турбулентного обмена. Вертикальный турбулентный обмен осуществляет вентиляцию вод и перенос биогенных веществ и примесей. В этой связи актуальной является задача о вертикальном переносе, обусловленном внутренними волнами за счет их нелинейности.

Нелинейные эффекты при распространении пакетов внутренних волн проявляются в генерации средних течений [1, 2]. Вертикальная компонента скорости такого течения пропорциональна горизонтальному градиенту квадрата амплитуды волны и на переднем и заднем фронте пакета имеет разные знаки. Поэтому интегрального переноса по вертикали не происходит. Ниже будет показано, что у инерционно-гравитационных внутренних волн (при учете вращения Земли) и при наличии течения, у которого поперечная к направлению распространения волны компонента зависит от вертикальной координаты, вертикальная компонента скорости стокова дрейфа отлична от нуля.

Рассматриваются свободные внутренние волны в бароклинном течении при учёте вращения Земли в неограниченном бассейне постоянной глубины. Две компоненты скорости среднего горизонтального стратифицированного течения зависят от вертикальной координаты. В линейном приближении находится дисперсионное соотношение. Во втором порядке малости по амплитуде волны находятся вертикальные волновые потоки импульса и скорость стокова дрейфа.

$$\frac{Du}{Dt} - fv + w \frac{dU_0}{dz} = - \frac{1}{\rho_0(0)} \frac{\partial P}{\partial x} \quad (1)$$

$$\frac{Dv}{Dt} + fu + w \frac{dV_0}{dz} = - \frac{1}{\rho_0(0)} \frac{\partial P}{\partial y} \quad (2)$$

$$\frac{Dw}{Dt} = - \frac{1}{\rho_0(0)} \frac{\partial P}{\partial z} - \frac{g\rho}{\rho_0(0)} \quad (3)$$

$$\frac{D\rho}{Dt} = -w \frac{d\rho_0}{dz} \quad (4)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \quad (5)$$

где  $x, y, z$  – две горизонтальные и вертикальная координаты, ось  $z$  направлена вертикально вверх,  $u, v, w$  – соответственно две горизонтальные и вертикальная компоненты волновой скорости течения,  $H$  – глубина моря,  $\rho_0(z)$  – профиль средней плотности,  $f$  – параметр Кориолиса,  $U_0(z), V_0(z)$  – две компоненты скорости среднего течения,

действие оператора  $\frac{D}{Dt}$  раскрывается по формуле

$$\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + (u + U_0) \frac{\partial}{\partial x} + (v + V_0) \frac{\partial}{\partial y} + w \frac{\partial}{\partial z}.$$

Граничные условия на поверхности моря ( $z = 0$ ) – условие «твёрдой крышки», которое отфильтровывает внутренние волны от поверхностных [3]:

$$w(0) = 0. \quad (6)$$

Граничные условия на дне – условие «твёрдой крышки»:

$$w(-H) = 0. \quad (7)$$

**Линейное приближение.** Решения линейного приближения ищем в виде:

$$u_1 = u_{10}(z)Ae^{i\theta} + c.c., \quad v_1 = v_{10}(z)Ae^{i\theta} + c.c., \quad w_1 = w_{10}(z)Ae^{i\theta} + c.c.$$

$$P_1 = P_{10}(z)Ae^{i\theta} + c.c., \quad \rho_1 = \rho_{10}(z)Ae^{i\theta} + c.c., \quad (8)$$

где  $c.c.$  – комплексно сопряженные слагаемые,  $A$  – амплитудный множитель,  $\theta$  – фаза волны;  $\partial\theta/\partial x = k$ ,  $\partial\theta/\partial t = -\omega$ ,  $k$  – горизонтальное волновое число,  $\omega$  – частота волны. Предполагается, что волна распространяется вдоль оси  $x$ .

После подстановки (8) в систему (1) – (5) следует связь амплитудных функций  $u_{10}$ ,  $v_{10}$ ,  $\rho_{10}$ ,  $P_{10}$  с  $w_{10}$

$$u_{10} = \frac{i}{k} \frac{dw_{10}}{dz}, \quad \Omega = \omega - k \cdot U_0, \quad (9)$$

$$\frac{P_{10}}{\rho_0(0)} = \frac{i}{k} \left[ \frac{\Omega}{k} \frac{dw_{10}}{dz} + \frac{dU_0}{dz} w_{10} + \frac{f}{\Omega} \left( i \frac{dV_0}{dz} w_{10} - \frac{f}{k} \frac{dw_{10}}{dz} \right) \right] \quad (10)$$

$$\rho_{10} = -\frac{i}{\Omega} w_{10} \frac{d\rho_0}{dz}, \quad v_{10} = \frac{1}{\Omega} \left( \frac{f}{k} \frac{dw_{10}}{dz} - i w_{10} \frac{dV_0}{dz} \right). \quad (11)$$

Функция  $w_{10}$  удовлетворяет уравнению

$$\frac{d^2 w_{10}}{dz^2} + k \left[ \frac{if \frac{dV_0}{dz}}{\Omega^2 - f^2} - \frac{f^2 \frac{dU_0}{dz}}{\Omega(\Omega^2 - f^2)} \right] \frac{dw_{10}}{dz} + \quad (12)$$

$$+ k w_{10} \left[ \frac{k(N^2 - \Omega^2) + \Omega \frac{d^2 U_0}{dz^2} + if \frac{d^2 V_0}{dz^2}}{\Omega^2 - f^2} + \frac{ifk \frac{dU_0}{dz} \frac{dV_0}{dz}}{\Omega(\Omega^2 - f^2)} \right] = 0,$$

где  $N^2 = -\frac{g}{\rho_0(0)} \frac{d\rho_0}{dz}$  – квадрат частоты Брента – Вайсяля.

Граничные условия для  $w_{10}$ :

$$z = 0: \quad w_{10} = 0, \quad (13)$$

$$z = -H: \quad w_{10} = 0. \quad (14)$$

**Нелинейные эффекты.** Скорость стоковса дрейфа частиц жидкости определяется по формуле [4]:

$$\mathbf{u}_s = \overline{\int_0^t \mathbf{u} d\tau} \mathbf{u}, \quad (15)$$

где  $u$  – поле волновых эйлеровых скоростей, черта сверху означает осреднение по периоду волны. Ввиду того, что коэффициенты уравнения (12) – комплексные, вертикальная составляющая скорости стокова дрейфа и вертикальный поток импульса  $uw$  отличны от нуля. Вертикальный поток импульса  $wu$  отличен от нуля и при отсутствии течения (при учете вращения Земли). Расчеты вертикальных потоков импульса показали, что у первой моды потоки выше в приповерхностном слое, чем у второй моды. Зато у второй моды потоки выше в придонном слое. Для вертикальной составляющей скорости стокова дрейфа справедлива аналогичная закономерность, причем волновые потоки тепла и соли заметно превышают турбулентные. Вертикальный волновой поток импульса не превышает турбулентный поток, и сравним с ним в приповерхностном слое для первой моды.

**Список использованной литературы**

1. *Борисенко Ю. Д., Воронович А. Г., Леонов А. И., Миропольский Ю. З.* К теории нестационарных слабонелинейных внутренних волн в стратифицированной жидкости // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. – 1976. – 12, № 3. – С. 293-301.
2. *Grimshaw R.* The modulation of an internal gravity wave packet and the resonance with the mean motion // Stud. Appl. Math. – 1977. – 56. – P. 241-266.
3. *Черкесов Л. В.* Гидродинамика волн. – Киев: Наук. думка, 1980. – 259 с.
4. *Longuet-Higgins M. S.* On the transport of mass by time varying ocean current // Deep-Sea Res. – 1969. – V. 16, N 5. – P. 431-447.

**THE VERTICAL FLUXES INDUCED BY INERTIAL-GRAVITATIONAL  
INTERNAL WAVES**

*Vorotnikov D. I.*  
*Slepyshv A. A.*

In approach of Bussinesque free internal waves in a two-dimensional vertically-non-uniform flow are considered. The equation for amplitude of vertical velocity has complex factors, therefore a vertical component of velocity Stokes drift and wave fluxes of heat and salt are distinct from zero. The main contribution to wave's transport over is brought by a vertical component of velocity Stokes drift, and wave's fluxes exceed corresponding turbulent fluxes.

**СЕЙСМОСТРАТИГРАФИЯ ЕВРАЗИЙСКОГО БАССЕЙНА СЕВЕРНОГО  
ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА – НА ПУТИ СОЗДАНИЯ СВОДНОЙ ШКАЛЫ***Егорова А. В. (ФГУП «ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург, Россия)*

Исследование выполнено с целью разработки сводной сейсмостратиграфической шкалы для осадочного чехла Евразийского бассейна. Использовались материалы российских экспедиций «Арктика-2011», «Арктика-2012» и «Арктика-2014», а также опубликованные данные. В результате интерпретации в котловине Амундсена Евразийского бассейна выделено 8 сейсмостратиграфических комплексов СК 1 – СК 8.

**Введение**

В связи с тяжелыми климатическими условиями Северный Ледовитый океан (СЛО) до сих пор остается мало исследованным с точки зрения геологии. Все существующие представления основываются на скудных геофизических данных, собранных многочисленными международными экспедициями. Основным источником информации о строении осадочного чехла СЛО служат данные сейсморазведки МОВ ОГТ. В 2004 году в рамках экспедиции ACEX (Arctic Coring Expedition) в регионе была пробурена первая, и пока единственная скважина [Backman et al., 2008]. В результате бурения на хребте Ломоносова было получено ~450 м керна.

Евразийский бассейн, являясь наиболее молодой в геологическом отношении частью СЛО, также характеризуется низкой степенью геолого-геофизической изученности. В условиях отсутствия данных бурения и крайне редкой сети сейсмометрических наблюдений, разными авторами были предложены сейсмостратиграфические схемы расчленения осадочного чехла применительно к изучаемым ими частям бассейна. Целью настоящего исследования является попытка создания сводной сейсмостратиграфической шкалы для всего Евразийского бассейна. Отдельными задачами на пути ее достижения являются: интерпретация опубликованных и полученных в результате новейших отечественных экспедиций сейсмических временных разрезов, сейсмостратиграфический анализ материала, прослеживание опорных горизонтов на всей площади бассейна и изучение истории осадконакопления в нем.

**Материалы**

Основным источником информации являются уникальные для данного региона данные сейсморазведки МОВ ОГТ экспедиций «Арктика-2011», «Арктика-2012» и «Арктика-2014», полученные в рамках государственной программы по установлению внешней границы континентального шельфа РФ в Арктике. Сейсмические профили были отработаны в центральной, ранее неисследованной части котловины Нансена и в восточной части котловины Амундсена Евразийского бассейна. Помимо этого, в работе использовались сейсмические разрезы, полученные и опубликованные немецкими [Geissler, Jokat, 2004], норвежскими [Engen, 2008], отечественными [Sekretov S, 2002] исследователями, а также фондовые материалы, накопленные во время дрейфа станций «Северный полюс» в 1980-х гг.

**Результаты**

На первом этапе был проведен сравнительный анализ сейсмостратиграфических шкал, предложенных для разных частей Евразийского бассейна. Большинство авторов выделяют в осадочном чехле реперы следующих возрастов: палеоцен-эоцен (~55 Ma), нижний эоцен (~48 Ma), олигоцен-миоцен (~21-23) Ma, средний миоцен (~7-10.5) Ma и неоген-четвертичный (~2.6-2.8 Ma). Сейсмические горизонты с предполагаемыми соответствующими датировками рассматривались изначально в качестве потенциальных опорных горизонтов в Евразийском бассейне.

Основное внимание на данном этапе работы было уделено изучению котловины Амундсена в которой по результатам интерпретации временных сейсмических разрезов МОВ ОГТ было выделено восемь сейсмостратиграфических комплексов (СК1-СК8).

Среди наиболее опознаваемых и, по-видимому, распространённый на всей площади бассейна, выделяется комплекс высокоамплитудных отражений СК №3. Толща представляет собой хорошо отсортированный материал с высокими коэффициентами отражений. Возраст горизонта «А», ограничивающий его сверху, определяется неоднозначно и оценивается в котловине Амундсена в диапазоне от ~45.5 [Черных, Крылов 2011] до 48.3 [Langinen et. al, 2009]. Выше по разрезу залегает комплекс, который на сейсмических разрезах выглядит как акустически прозрачная толща. Кровля комплекса может быть датирована 26.6 Ма [Черных, Крылов, 2011]. В настоящей работе представлена предварительная оценка возраста осадочных толщ, основанная на результатах предшественников и предварительной оценке по линейным магнитным аномалиям.

В котловине Нансена, на границе с Баренцево-Карской окраиной, на сейсмических разрезах сложно проследить одноименные рефлекторы, особенно в нижней части разреза. Это связано с образованием турбидитовых потоков на бровке шельфа вследствие которых, накопившиеся на склоне осадки уже не могут на нем удерживаться и поступают в котловину в неотсортированном виде. Учитывая, что источником сноса материала для Евразийского бассейна является Баренцево-Карская окраина, то логично предположить наличие региональных комплексов в обоих котловинах.

В докладе будут представлены текущие результаты исследования, продемонстрированы сейсмические разрезы и предварительная схема расчленения осадочного чехла Евразийского бассейна.

Автор выражает глубокую признательность за помощь своему научному руководителю доценту кафедры геофизики СПбГУ, кандидату геолого-минералогических наук А. А. Черных.

#### **Список использованной литературы**

1. *Backman J., Jakobsson M., Frank M., et al.* // *Paleoceanography*. 2008. V. 23.
2. *Geissler W. H., Jokat W.* // *Geoph. J. Int.*, 2004, V. 158. P. 50–66.
3. *Engen O., Gjengedal J. A., Faleide J. I., Kristoffersen Y., Eldholm O.* // *Geophys. J. Int.* 2009. V. 176. P. 805-821.
4. *Sekretov S. B.* // *Tectonophysics*, 2002. V. 351. P. 193-243.
5. *Langinen A. E., Lebedeva-Ivanova N. N., Gee D. G., ZamanskyYu. Ya.* // *Tectonophysics*. 2009. V. 472. P. 309-322.
6. *Черных А. А., Крылов А. А.* // Доклады Академии наук. 2011. Т. 440, № 4, С. 1-5.

#### **SEISMIC STRATIGRAPHY OF THE EURASIAN BASIN, ARCTIC OCEAN TO THE CREATION OF THE GENERAL SCALE**

*Egorova A. V.*

Objective of the research is development of general seismostratigraphic scale of Eurasian basin, Arctic Ocean. Seismic data from “Arctic-2011”, “Arctic-2012”, “Arctic-2014” expeditions and published data were used. In Amundsen basin as a result of the interpretation of data has been allocated 8 seismostratigraphic complexes SC 1 – SC 8.

**ПРЕИМУЩЕСТВА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ МОВ-4С ПРИ ПОМОЩИ ДОННЫХ СТАНЦИЙ В  
ТРАНЗИНОЙ ЗОНЕ.**

*Зимовский А. В.* (ОАО «МАГЭ», Санкт-Петербург, Россия)

*Матвеев И. А.* (ОАО «МАГЭ», Санкт-Петербург, Россия)

В данном докладе использованы материалы, полученные специалистами ОАО «МАГЭ» в транзитной зоне шельфа Баренцево и Карского, морей. В этих регионах малые морские глубины и значительные течения делают неэффективным использование классических методик сейсмической съемки. Применение автономных донных сейсмических станций с технологией многокомпонентной съемки 4С по методу МОВ ОГТ обеспечило улучшение качества регистрируемых данных компоненты гидрофона, позволило расширить возможности современной сейсморазведки, создавая условия для получения дополнительной информации о структурных и литологических свойствах осадочного чехла при совместной регистрации продольных Р и обменных PS волн. Внедрение технологий 4С сейсморазведки в труднодоступных районах Арктического шельфа сегодня, создает основу для глобальной многоволновой сейсморазведки будущего.

Многокомпонентные сейсмические исследования составляют основу многоволновой сейсморазведки. Основные положения многоволновой сейсморазведки включают в себя синхронную и независимую регистрацию 4х компонент. Н и Z компонента позволяют работать с продольными волнами, а X и Y дают возможность работать в условиях транзитной зоны с волнами обмена.

Применение многокомпонентных автономных донных сейсмических станций в морских геологоразведочных работах позволяет улучшить качество и повысить информативность сейсмических изображений. Помимо совместной обработки Н и Z компонент, позволяющих получить более разреженные разрезы по причине подавления реверберации в водном слое, уменьшения влияния поверхностных волн на компоненте гидрофона и повышения соотношения сигнал/помеха в автономном донном регистраторе добавляется возможность регистрации обменных волн и применение технологий многоволновой сейсморазведки (МВС). Использование методики МВС в МОВ-ОГТ позволяет регистрировать полный вектор волнового поля. При этом к геофону Z, записывающему вертикальные колебания, добавляются два геофона X и Y, регистрирующие горизонтальное смещение. Такой тип регистрации возможен только в твердых средах и способствует выделению обменных PS и поперечных S волн из общей волновой картины. Данные по обменным волнам в свою очередь, позволяют выделять аномалии, связанные с пониженным отношением  $V_p/V_s$ , которые могут связываться с наличием флюида. При обработке обменных волн возможно выявить наличие поровых флюидов, препятствующих литологической дифференциации геологического разреза, а так-же определить плотности горных пород и ориентации

**Список использованной литературы**

1. *Казанин Г. С., Нечхаев С. А., Щедров В. А., Зимовский А. В.* Многокомпонентные морские сейсмические исследования на Арктическом шельфе на базе технологии Geospace/Разведка и охрана недр – 2014. – № 4. научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н. М. Федоровского (Москва) ISSN: 0034-026X. – С. 40-44.

2. Транзитные зоны акваторий России/Верба М. Л., Герман Е. В., Григоренко Ю. Н., и др. – СПб.: «Недра», 2005. –140 с.

**ADVANTAGES OF MULTI-COMPONENT 4C SURVEY BY SEISMIC REFLECTION (CDP) IN TRANSITION ZONE WITH USE OF AUTONOMOUS BOTTOM STATIONS**

*Zimovskiy A. V.*

*Matveev I. A.*

This report used materials obtained by the specialists of JSC "mage" in the transition zone of the shelf Kara and Barents seas. In these regions, small sea depths of the currents make ineffective use of classical methods of seismic survey. Use of Autonomous bottom stations with the technology of multi-component 4C survey on seismic reflection CDP method improved the quality of the recorded data of hydrophone components has expanded the capabilities of modern seismic creating requirements for more information about structural and lithological properties of the sedimentary cover at the joint registration of P and PS converted waves. The introduction of 4C seismic technology in remote areas of the Arctic shelf today, creates the basis for multiwave seismic exploration global future.

**ПРИРОДА СЕЙСМИЧЕСКИХ ОТРАЖЕНИЙ В  
КОНСОЛИДИРОВАННОЙ КОРЕ**

*Половков В. В.* (ООО «Сейсмо-Шельф»; СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия)

*Попов Д. А.* (ООО «Сейсмо-Шельф»; ООО «ГЦ-СПБГУ», Санкт-Петербург, Россия)

*Мусин М. В.* (ООО «Сейсмо-Шельф», Санкт-Петербург, Россия)

Начиная с первых сейсмических работ МОВ-ОГТ, выполненных еще в 1950-х годах, исследователи регистрировали относительно интенсивные отражения, образуемые в консолидированной коре. Первоначально реальность этих отражений ставилась под сомнение, однако, в 1964 году, недалеко от г. Аугсбург (Германия) был поставлен эксперимент, в рамках которого отражения в коре были одновременно зарегистрированы как на ближних, так и на дальних удалениях, что доказало тем самым их реальную природу.

К настоящему времени выполнен огромный объем сейсмических работ МОВ-ОГТ с целью исследования земной коры в рамках программ COCORP (США), BIRPS (Великобритания), LITHOPROBE (Канада), ECORS (Франция), ACORP (Франция), DECORP (Германия), EUROPROBE (Европа, включая Россию) и др. (Leven et al., 1990). Полученный материал сопоставлен с данными МПВ-ГСЗ и «реальность» сейсмических отражений, регистрируемых на ближних удалениях (при работах МОВ-ОГТ) не вызывает сомнений. При этом природа этих отражений до сих пор вызывает дискуссии.

Можно выделить два способа, позволяющих надежно установить причину отражений в коре: бурение и соответствие между выходящими на поверхность геологическими объектами и их сейсмическими образами, желательное подкрепленное результатами математического и/или физического моделирования. Без этих двух способов, к сожалению, все предположения о природе конкретных отражений, наблюдаемых на сейсмических профилях, какими бы убедительными они не казались, остаются предположениями.

К счастью, как уже было сказано выше, в разных частях планеты выполнен большой объем сейсмических профилей МОВ-ОГТ, пересекающих, в том числе, и детально изученные (включая исследования образцов пород) геологические объекты, выходящие на дневную поверхность. К тому же районы некоторых сверхглубоких скважин превратились в своеобразные полигоны для проведения сейсмических работ МОВ-ОГТ (в том числе и трехмерных), с целью тестирования способов обработки материалов и проверки различных гипотез.

В результате анализа опубликованных научных работ, посвященных изучению сейсмических отражений в земной коре и основывающихся на двух указанных выше способах, а также результатов выполненного авторами математического и физического моделирования, можно типизировать причины сейсмических отражений.

1. Отражения в коре могут возникать на границе контакта различных интрузивных горных пород. Классическим примером являются силы долеритов в гранитах, вскрытые при бурении сверхглубоких скважин Гравберг-1 и Стенберг-1 (Швеция) (Juhlin, Pedersen, 1987; Juhlin, 1990; Papasikas, Juhlin, 1997).

2. Отражения могут возникать в результате изменения сплошности породы (в зонах повышенной трещиноватости). Примером являются системы разломов в гранитном батолите Лак-дю-Бонне (Канада), с которыми связаны зоны повышенной трещиноватости (Mair, Green, 1981), а также Франкский линеамент, вскрытый скважиной КТБ (Harjes, 1997).

3. Сильные отражения могут возникать в результате конструктивной интерференция в тонкослоистых средах. Метаморфические породы, такие как мигматиты, милониты и др. зачастую характеризуются полосчатой текстурой и вещественной слоистостью в разных масштабах (от дециметров до метров и сотен метров и более). Такие

среды, учитывая доминирующую длину волны при сейсмических работах, являются тонкослоистыми, в которых может проходить как конструктивная, так и деструктивная интерференция (Hurich, Smithson, 1987; Ji et al., 1997; Spaargaren, Warner, 1991). При этом, амплитуда в случае конструктивной интерференцией может быть в 5-10 раз больше, чем в случае деструктивной интерференции.

4. Отражения могут возникать в результате изменения анизотропных свойств горных пород. Примером служат зоны милонитов, в которых скорость продольных волн в направлении, перпендикулярном плоскости сланцеватости, зачастую меньше, чем в ортогональном направлении. Лабораторные исследования показывают, что при большом содержании листовых силикатов (биотита, хлорита) коэффициент анизотропии может достигать 20%. При этом, скорость в милоните будет меньше, чем в протолите, даже в случае схожего вещественного состава. Таким образом, на контакте милонит-протолит возможно сильное отражение (Fountain et al., 1984).

5. Зоны милонитов, о которых говорилось в предыдущем пункте, сами по себе играют важную роль в формировании отражений в коре, так как могут сочетать в себе все указанные выше причины повышенной отражательной способности: тонкую слоистость, анизотропию, изменение вещественного состава, трещиноватость (Fountain et al., 1984; Hurich et al., 1985; McDonough, Fountain, 1988). Примером является зона сдвиговых деформация Морин (Канада) (Ji et al., 1997).

6. Ряд исследователей объясняют природу отражательной способности зоны милонитов наличием повышенного порового давления флюидов (Jones, Nur, 1984). Отражения в нижней коре также могут быть связаны с наличием флюидов (Fyfe et al., 1978), однако этот вопрос, естественно, остается открытым.

Таким образом, различных причин возникновения отражений в коре достаточно много, что не позволяет напрямую ассоциировать сейсмический образ коры с геологическим разрезом, в отличие от сейсмического образа осадочного чехла. Следует отметить, что влияние особенностей полевых систем наблюдений, процедур обработки сейсмических данных, а также боковых волн может привести к формированию ложных сейсмических аномалий (рефлекторов, областей с повышенными или пониженными амплитудами), что еще больше отдаляет сейсмический образ консолидированной коры от реального геологического разреза.

Исследования выполняются в рамках НИР №01201369201

### **Список использованной литературы**

1. *Fountain D. M., Hurich C. A., Smithson S. B.* Seismic reflectivity of mylonite zones in the crust // *Geology*. – 1984. – Т. 12. – №. 4. – С. 195-198.
2. *Fyfe W., Price R. and Thompson A.*, 1978. *Fluids in the Earth's Crust*. Elsevier, Amsterdam, 383 pp.
3. *Harjes H. P. et al.* Origin and nature of crystal reflections: Results from integrated seismic measurements at the KTB superdeep drilling site // *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* (1978–2012). – 1997. – Т. 102. – №. B8. – С. 18267-18288.
4. *Hurich C. A., and S. B. Smithson.* "Compositional variation and the origin of deep crustal reflections." *Earth and Planetary Science Letters* 85.4 (1987): 416-426.
5. *Hurich C. A., Smithson S. B., Fountain D. M., & Humphreys M. C.* (1985). Seismic evidence of mylonite reflectivity and deep structure in the Kettle dome metamorphic core complex, Washington. *Geology*, 13(8), 577-580.
6. *Ji S. et al.* Seismic reflectivity of a finely layered, granulite-facies ductile shear zone in the southern Grenville Province (Quebec) // *Tectonophysics*. – 1997. – Т. 279. – №. 1. – С. 113-133.

7. Jones T. D., Nur A. The nature of seismic reflections from deep crustal fault zones //Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978–2012). – 1984. – Т. 89. – №. B5. – С. 3153-3171.

8. Juhlin C. Interpretation of the reflections in the Siljan Ring area based on results from the Gravberg-1 borehole //Tectonophysics. – 1990. – Т. 173. – №. 1. – С. 345-360.

9. Juhlin C., Pedersen L. B. Reflection seismic investigations of the Siljan impact structure, Sweden //Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978–2012). – 1987. – Т. 92. – №. B13. – С. 14113-14122.

10. Leven J.H., Finlayson D.M., Wright C., Dooley J.C. and Kennett B.L.N. (Editors), 1990. Probing of Continents and their Margins. Tectonophysics, 173: 641 pp.

11. Mair J. A., Green A. G. High-resolution seismic reflection profiles reveal fracture zones within a 'homogeneous' granite batholith. – 1981.

12. McDonough D. T., Fountain D. M. Reflection characteristics of a mylonite zone based on compressional wave velocities of rock samples //Geophysical Journal International. – 1988. – Т. 93. – №. 3. – С. 547-558.

13. Papasikas N., Juhlin C. Interpretation of reflections from the central part of the Siljan Ring impact structure based on results from the Stenberg-1 borehole //Tectonophysics. – 1997. – Т. 269. – №. 3. – С. 237-245.

14. Spaargaren, Bastiaan, and Mike Warner. "Constructive Interference—Geophysical Mythology Re Examined." Continental Lithosphere: Deep Seismic Reflections (1991): 359-362.

#### ORIGIN OF SEISMIC REFLECTIONS IN THE CONSOLIDATED CRUST

Polovkov V. V.

Popov D. A.

Musin M. V.

In this paper the origin of the seismic reflections in the consolidated crust was described. Revealed at least six causes of the reflections in the Earth's crust: 1. contact between different rocks; 2. fractured zones; 3. constructive interference; 4. anisotropy; 5. mylonite zones; 6. pore pressure. All these causes were proven by drilling or by comparison between geological objects, which reach to the surface, and their seismic images.

**УСЛОВИЕ РАВЕНСТВА НИЗКОЧАСТОТНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ  
СТАТИЧЕСКИХ ПОПРАВОК ИСТОЧНИКОВ И ПРИЕМНИКОВ – КАК  
ФАКТОР ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЙ В МОГТ**

*Салищев М. В.* (Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия)

Выполнено сравнение центральной и фланговой систем наблюдения с целью оптимизации методики съёмки. Показано, что при учёте равенства факторов в задаче коррекции статических поправок устойчивость процедуры определяется не длиной расстановки, а максимальным удалением ПП-ПВ, что позволяет сделать вывод об эквивалентности сравниваемых систем. Использование фланговой системы при сохранении количества каналов и максимального удаления ПП-ПВ, расширяет возможности двумерной фильтрации за счёт ослабления аляйсинг-эффекта, повышает надёжность корреляции волн первых вступлений для решения задачи построения скоростной модели ВЧР.

В наземной сейсморазведке прочно закрепились системы наблюдения с симметричной расстановкой приборов относительно пункта взрыва. Если обратиться к формуле расчета кратности, то симметричная расстановка, сравнительно с фланговой, при ограниченном объективными факторами максимальном удалении приемник–источник (ПП-ПВ), позволяет вдвое увеличить кратность накопления по ОГТ. Это можно считать бесспорным преимуществом центральной системы, если бы вся обработка выполнялась независимо для каждой выборки трасс ОГТ. Поскольку это условие не выполняется, и процесс обработки давно перешагнул этап простого «разновременного» суммирования по сейсмограммам ОГТ, то имеет смысл выполнить сравнительный анализ центральной и фланговой систем наблюдения.

Согласно Г.Н. Боганику и И.И. Гурвичу (1), общий принцип проектирования рациональной системы наблюдения определяется в обеспечении «достаточной информативности полевых записей при минимальных затратах на их получение». Поскольку основным результатом сейсморазведочных работ являются оценки кинематических и динамических параметров волнового поля, то системы наблюдений должны удовлетворять основным условиям задач, решаемых в процессе выделения и оценки параметров полезной составляющей волнового поля. В числе основных задач обработки сейсмических данных, эффективность решения которых непосредственно определяется параметрами съёмки, выделим следующие: 1) скоростной анализ; 2) подавление регулярных и нерегулярных помех; 3) накопление по выборкам ОГТ, в том числе с учетом выполнения миграции и пространственной фильтрации; 4) оценка параметров структурно-скоростной модели верхней части разреза (ВЧР) и компенсация неоднородности ВЧР.

**1. Скоростной анализ.** Результат анализа зависит от длины годографа ОГТ (максимального удаления ПП-ПВ) и отношения сигнал/помеха. Выполняется, как правило, по суперсейсмограммам ОГТ, поэтому статистический эффект накопления определяется не кратностью единичной выборки ОГТ, а плотностью данных – числом трас на базе суммирования.

**2. Подавление регулярных помех с линейным годографом.** Для анализа этой задачи будем считать, что последняя решается двумерной фильтрацией сейсмограмм ОПВ. Необходимыми условиями ее решения являются разделение полезных и мешающих компонент на двумерной спектральной плоскости и отсутствие эффекта пространственного аляйсинга. Отметим, что при дискретизации сейсмограмм по оси времени применение антиальяйсингового фильтра для выполнения условий теоремы отсчетов Котельникова является обязательным. И выполнение условий теоремы не проверяется при дискретизации волнового поля по пространственной координате.

Рассмотрим пример. Пусть волна-помеха определяется кажущейся скоростью 400 м/с и верхней граничной частотой 20 Гц. Шаг расстановки приборов расстановки

ОПВ, обеспечивающей выполнение условия теоремы отсчетов для волны с указанными параметрами составляет 15 м:

$$\Delta_l = 400 / (2 \cdot 20) = 10 \text{ м.}$$

Полученная оценка шага ПП отличается от фактически применяемых в реальных наблюдениях (25-50 м). Требование к шагу квантования можно смягчить, если при выполнении пространственной фильтрации применить линейную трансформацию сейсмограмм (2) и учесть (по аналогии с антиалийсинговым фильтром) эффект линейного группирования сейсмоприемников.

**3. Накапливание по ОГТ.** Накапливанием по ОГТ реализуется статистический эффект подавления некоррелируемых помех. Если принять во внимание эффект пространственной фильтрации, миграционных процедур и пространственной фильтрации после суммирования, то очевидно, что эффективность определяется не кратностью, а плотностью сейсмических данных.

**4. Компенсация ВЧР.** Выделим две составляющие этого этапа обработки. 1) построение априорной модели ВЧР. Для решения этой задачи часто требуется проводить вспомогательные работы по изучению зоны малых скоростей. 2) коррекцию остаточных статических поправок.

Для решения первых трех задач основные параметры съемки определяются максимальным удалением ПП-ПВ и плотностью распределения точек ОГТ. Так, две системы наблюдений: 1) с кратностью 48 и шагом срединных точек 25 м и 2) кратностью 24 и шагом ОГТ 12.5 м должны быть эквивалентны. При равном шаге ПВ и равном значении  $L_{\max}$  эти системы определяются как центральная и фланговая.

На этапе компенсации ВЧР решается задача коррекции статических поправок. Многочисленными исследованиями показано, что область пространственных частот, допускающих коррекцию, определяется общей длиной годографа ОПВ. Достоверно определяются высокочастотные составляющие статических поправок. Низкочастотные не определяются вследствие линейной зависимости уравнений в задаче коррекции. Классификация статических поправок основана на соотношении протяженности неоднородности ВЧР и полной длины расстановки ОПВ. Поэтому параметр длины расстановки является решающим для успешного выполнения процедуры коррекции статики. С этой точки зрения центральная система обладает явным преимуществом, т.к. её протяженность вдвое выше фланговой системы. Но различие в решении исчезает, если в процедуру коррекции ввести дополнительное условие равенства низкочастотных составляющих статических поправок в точках взрыва и приема (3). В этом случае оценке устойчивости решения задачи коррекции играет роль не длина сейсмической расстановки, а максимальное удаление ПП-ПВ. Поэтому центральная и фланговая системы наблюдения являются эквивалентными с точки зрения решения задачи совместной коррекции статических и кинематических поправок.

## Заключение

Для повышения эффективности сейсморазведочных работ системы сбора данных должны быть согласованы, точнее определяться, требованиями задач, решаемых при обработке полевых данных. С этой точки зрения проведено сравнение центральной и фланговой систем наблюдения, которые определяются равными значениями максимального удаления ПП-ПВ и равной плотностью распределения трасс по профилю. Показано, что переход от центральной к фланговой системе наблюдения простой перестановкой каналов со сгущением приводит: а) к более надежной корреляции волн первых вступлений для решения задачи построения скоростной модели ВЧР; б) более эффективному подавлению регулярных волн-помех с линейным годографом за счет уменьшения пространственного аляйсинг-эффекта.

Авторы отдают себе отчет о дискуссионном характере представленных результатов и необходимости их подтверждения обработкой реальных данных.

**Список использованной литературы**

1. *Боганик Г. Н., Гурвич И. И.* Сейсморазведка: Учебник для вузов. Тверь: Издательство АИС, 2006, 744 с.
2. *Yilmaz O.*, 2001, *Seismic Data Analysis: Processing, Inversion, and Interpretation of Seismic Data*, Society of Exploration Geophysics, 2001, 2027 p.
3. *Салищев М. В., Сысоев А. П.* Уточнение модели коррекции статистических поправок // Технологии сейсморазведки. 2014. № 3. – С. 61-65.

**CONDITIONS OF EQUALITY LOW-FREQUENCY SOURCE AND RECEIVER  
STATIC AS A FACTOR OF OPTIMIZATION OF CDP OBSERVATION**

*Salischev M. V.*

It is executed comparisons of split spread and end-on spread for the purpose of optimization of observation technique. It is shown that if the equality of factors in a problem of static correction taken into consideration, the stability of procedure is defined by the maximum offset, not by the spread length. It leads to the equality of the systems being compared. Use of end-on spread at preservation of channels number and the maximum offset is expanding possibilities of two-dimensional filtrations due to weakening of aliasing-effect, increases reliability of correlation of first introductions waves for the solution of a creation near surface velocity model.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор Сысоев А. П. (Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»).

*IV СЕКЦИЯ*

***ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОФИЗИКА, ГЕОФИЗИКА В  
ГИДРОГЕОЛОГИИ И ГЕОЭКОЛОГИИ***

*IV SECTION*

***EXPLORATION GEOPHYSICS, GEOPHYSICS IN  
HYDROGEOLOGY AND GEOECOLOGY***

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ  
ЕСТЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В  
ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЯХ ЛИНИИ СОЧИ - КРАСНАЯ ПОЛЯНА**

*Басов А. Д.* (ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс», Санкт-Петербург, Россия)

*Романевич К. В.* (ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс», Санкт-Петербург, Россия)

*Шляев С. А.* (ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс», Санкт-Петербург, Россия)

Строительство тоннелей Совмещенной (автомобильной и железной) дороги Адлер – горноклиматический курорт «Альпика Сервис» началось в 2008 году. С самого начала проходческих работ собственно транспортных тоннелей, а также многочисленных вспомогательных горных выработок сотрудниками ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс» осуществлялись ежедневные наблюдения в соответствии с разработанной системой комплексного геотехнического мониторинга при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей [1].

Практическая реализация системы геотехнического мониторинга при сооружении тоннелей в Сочи заключалась в создании специальной научно-исследовательской группы для сопровождения строительства и оперативного решения задач снижения вредного влияния горных работ на окружающую среду, обеспечения производственной безопасности при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей. Основным объемом работ приходился на выполнение инструментальных геомеханических, геофизических, сейсмологических, гидрогеологических, геодезическо-маркшейдерских и экологических наблюдений. Одним из видов геофизических наблюдений, предназначенных для решения задач геодинамического контроля с целью выявления в массиве наиболее «активных» (деформируемых) участков, являлся бесконтактный метод регистрации электромагнитной эмиссии – естественного электромагнитного излучения – ЕЭМИ [2].

В результате выполненных мониторинговых работ к завершению строительства все тоннели линии Адлер – Красная поляна были оборудованы внушительным количеством (более 1000) струнных датчиков регистрации относительных изменений напряженно-деформированного состояния постоянной обделки тоннелей и вмещающих массивов. К концу 2013 года выполнена синхронизация всех установленных датчиков и налажена регистрация измеряемых параметров в автоматическом режиме. Кроме этого все тоннели линии Адлер – Красная поляна были оснащены автоматизированными системами регистрации естественного электромагнитного излучения и сейсмомониторинга. Комплексный автоматизированный геотехнический мониторинг подземных сооружений направлен на их безопасную эксплуатацию, оперативное фиксирование негативных (техногенных и природных) воздействий на сооружения и определение качественных и количественных показателей их влияния на тоннельную обделку, а также онлайн оценку геодинамической активности системы «тоннель-массив» с целью разработки оперативных восстановительных мероприятий.

Автоматизированная система регистрации естественного электромагнитного излучения, как составляющая общей мониторинговой системы создана для оперативного контроля изменения напряженно-деформированного состояния пород вблизи подземных выработок. Используемый в данной системе метод основан на эффекте механо-электрического явления накопления электрических зарядов в трещинах при хрупком разрушении или перемещении пород по контактам блоков, а затем релаксации зарядов в виде импульсных искровых разрядов, создающих в породном массиве импульсное электромагнитное излучение [3]. Источники электромагнитного излучения концентрируются в зоне повышенного давления и в местах пересечения выработками зон тектонических разломов. Чем выше интенсивность изменения напряженно-деформированного состояния на контролируемом участке массива, тем больше в единицу времени в нем генерируется естественных источников излучения и выше мощность этих источников. Установленная в обделку тоннелей цифровая геофизическая аппаратура регистрации естественного электромагнитного излучения позволяет оценивать распределения импульсов по частоте следования и амплитуде за фиксированный интервал времени регистрации. По опыту исследований на различных шахтах и рудниках СССР [4-7 и др.] и мира [8 и др.], а также лабораторных испытаний на образцах пород и материалов различного состава [9-11] выбран частотный диапазон регистрации: 20-50 кГц.

Пост регистрации естественного электромагнитного излучения состоит из блока регистрации и блока датчиков-регистраторов импульсов (аппаратура ЭМИ-1К разработки НИО НИПИИ «Ленметрогипротранс»), которые включают магнитную антенну и схему селекции и усиления сигналов. Блок датчиков в сборе имеет форму цилиндра с наружным диаметром 20 мм, длина блока составляет 200 мм. Все элементы блока датчиков закрыты кожухом из радиопрозрачного материала. Блок датчиков устанавливается осью перпендикулярно стенке в горизонтальное отверстие, пробуренное в обделке тоннеля. После установки блока датчиков в скважине интервал между его корпусом и стенкой скважины заполняется компаундом с непроводящим составом компонентов. В блоке регистрации проводится первичная обработка данных с применением ФНЧ, ФВЧ и последующим сохранением результатов входных показателей в энергонезависимую память до 6144 значений. Телеметрическая часть осуществлена посредством интерфейса RS485 и дальнейшим его преобразованием в Ethernet. Программа TunnelMonitor на сервере опрашивает блоки регистрации, с помощью пересылки пакета команд в шестнадцатеричной системе на ip адреса, после чего в свою очередь, принимает ответ в виде пакета данных, эта же программа проводит вторичную обработку и сохраняет полученную информацию в базу данных, а также сравнивает её с рассчитанными пороговыми значениями. Обработанная информация выводится на диспетчерский пульт управления (ДПУ) в виде цветовой схемы, привязанной к категориям геодинамической опасности, для каждой из категорий разработан регламент действий тоннельной службы.

В результате монтажных, пусконаладочных и научно-исследовательских работ организована система синхронных наблюдений естественного электромагнитного излучения на распределенной сети станций (протяженность сети около 50 км), непрерывная регистрация по которой ведется с ноября 2013 года по настоящее время. Вся получаемая информация подвергается предварительной обработке, с учетом которой ведется селекция типов вариаций естественного электромагнитного излучения. В качестве предварительной критериальной оценки используются величины отношения максимальной и минимальной амплитуды сигнала к ее среднему значению, что считается оправданным в большинстве случаев при регистрации импульсного геомагнитного излучения [12]. Информативным индикатором электромагнитного излучения горных пород считается осредненное значение амплитуд, превышающих уровень значимости, намного превышающие уровень шумов на интересующем участке тоннеля. Следующим этапом обработки является выделение информативных участков регистрации поля в реальном

масштабе времени, определение пространственного местоположения источника электромагнитных возмущений и определение пространственно-временного смещения характеристик распространения (с учетом фиксированной частоты).

Техническая сложность поставленных задач определяется тем, что автоматизированная система регистрации естественного электромагнитного излучения находится в эксплуатируемых автодорожных и железнодорожных тоннелях действующей линии Сочи – Красная поляна, поэтому принимаются меры для защиты от промышленных и других помех при проведении измерений. Во-первых, это фильтрация гармонической составляющей промышленных помех и регулярной импульсной помехи аппаратурой ЭМИ-1К. Во-вторых, это комплексное сопоставление результатов измерений с данными по напряженно-деформированному состоянию тоннельных крепей, обделок и вмещающих массивов и получение коэффициентов корреляции  $r > 0,6$  (в этом достигнуты определенные успехи [13]). В-третьих, выбранный диапазон частот позволяет учитывать влияние атмосфериков (их частотный диапазон 1-20 кГц [14]) и избегать влияния дальних радиостанций (их частотный диапазон – первые сотни и более кГц [15]). И, наконец, это массовый статистический подход, при котором с определенной вероятностью фиксируются основные закономерности естественного электромагнитного излучения горной породы при ее нагружении и разрушении.

#### Список использованной литературы

1. Методическое руководство по комплексному горно-экологическому мониторингу при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей. – М.: УРАН ИПКОН РАН, НИПИИ «Ленметрогипротранс», 2009.- 68 с.
2. Романевич К. В. «Горно-экологический мониторинг при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей в г. Сочи». Вестник СГУТиКД. 2011. № 3 (17). С. 272-278.
3. Безродный К. П., Басов А. Д., Романевич К.В. Контроль напряженно-деформированного состояния массива горных пород при строительстве тоннелей методом ЕЭМИ. // Известия ТулГУ. Науки о Земле. Вып. 1. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. С. 227-234.
4. Проскуряков В. М., Шабаров А. Н., Фрид В. И., Баранов В. А. Экспресс-оценка динамических явлений на угольных пластах методом ЭМИ / Научное издание. Кемеровское книжное издательство, 1991. –95 с.
5. Курления М. В., А. Г. Вострецов, Г. И. Кулаков, Яковицкая Г. Е. Регистрация и обработка сигналов электромагнитного излучения горных пород. Новосибирск, Издательство Сибирского отделения Российской Академии Наук, 2000.
6. Вознесенский А. С., Набатов В. В., Набатов В. В. Методика оценки напряженно-деформированного состояния массива пород методом регистрации электромагнитного излучения // Известия вузов. Горный журнал. 2004, № 5, С. 16-23.
7. Беспалько А. А., Яворович Л. В. Вариации электромагнитной эмиссии при изменении НДС массивов горных пород после массового взрыва // Солнечно-земные связи и электромагнитные предвестники землетрясений: Тезисы докладов III Международной конференции – с. Паратунка, Камчатская обл., 16 – 21 августа 2004 г. – Петропавловск-Камчатский, 2004. – С. 79-81.
8. Dov Bahat, Avinoam Rabinovich, Vladimir Frid. Tectonofractographic and Electromagnetic radiation Methods. Springer Berlin Heidelberg New York. Library of Congress Control Number: 2004108439. – 2005. – 579.
9. Вострецов А. Г., Кривецкий А. В., Бизяев А. А., Яковицкая Г. Е. Изменение сигналов электромагнитного излучения при нагружении материалов //Заводская лаборатория. Диагностика материалов. № 4, 2011. Т. 77. С. 50-53.

10. *Егоров П. В., Иванов В. В., Колпакова Л. А.* О некоторых закономерностях импульсного электромагнитного излучения щелочно-галоидных кристаллов и горных пород. //ФТПРПИ, 1988. № 1. С. 67-70.

11. *Черникова Т. М., Иванов В. В., Михайлова Е. А.* Статистика накопления и линейчатые спектры электромагнитного излучения микротрещин в композиционных материалах. //Ползуновский вестник. № 3/1, 2011. С. 66-70.

12. *Кузичкин О. Р.* Методы и устройства обработки информации в системе мониторинга импульсных геомагнитных источников: Монография. –М.: Изд-во Радиотехника, 2008.

13. *Романевич Кирилл Викторович.* Разработка критериев и методики идентификации геодинамических процессов по электромагнитному излучению вблизи выработок неглубокого заложения: Дис. кандидата технических наук. –М., 2015. – 156 с.

14. *Зеленый Л. М., Гуревич А. В., Климов С. И. и др.* Академический микроспутник Чибис-М. // Космические исследования, 2014, Т. 52, № 1, С. 1-13.

15. *Gregory A. Rozanoff* Длинноволновый эфир покидает последняя радиостанция // Музыка и звук // 2014.03.24 05:35 / <http://gregory.pp.ru/>

**AUTOMATED REGISTRATION SYSTEM OF NATURAL  
ELECTROMAGNETIC RADIATION IN TRANSPORT TUNNELS OF  
SOCHI – KRASNAYA POLYANA LINE**

*Basov A. D.*

*Romanovich K. V.*

*Shlyayev S. A.*

From the beginning (2008) of the intensive process of constructing the transport infrastructure in the Sochi region, a group of specialists in different fields (geological, geophysical, geotechnical and others) have developed sophisticated monitoring system of transport tunnels that are both being used and under construction. The main aim of the complex monitoring observations is to provide industrial safety for workers involved in the underground construction, who might be threatened by natural geological processes or by manmade excavations. One of the geophysical methods used to control the stress-strain state in the lining of the tunnels is technique based on measuring the natural electromagnetic field produced by rock. This system was automated and now is in use. This paper tells about EM-data received from the system and its problems.

**ГЕОРАДАР В ИЗУЧЕНИИ БОЛОТНЫХ МАССИВОВ**

***Бричёва С. С.*** (Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия)

***Матасов В. М.*** (Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия)

Комплексный подход к исследованию болотных массивов включает в себя ландшафтно-картографические работы и геологическую разведку торфяного массива - определение его мощности и структуры. Болотные массивы зачастую имеют значительные размеры, мозаичную и густую растительность, труднопроходимы и сложны для наземного картографирования. Частое бурение в таких специфических условиях требует больших трудозатрат, поэтому представляется перспективным внедрение современных технологий и методик инженерной геофизики, в частности, метода георадиолокации, в изучение и разработку торфяников.

В докладе освещается опыт применения георадара в комплексе ландшафтных работ на торфоразработках в национальном парке «Мешёра» (Россия, Владимирская область). Для получения данных о глубинах отложений, уровне грунтовых вод, глубине промерзания, как факторах развития растительных сообществ, здесь использовался георадар. Была заложена сеть георадарных профилей с точками независимого определения мощности и характеристик торфа, ландшафтными наблюдениями, замерами мощности снежного покрытия и глубины промерзания почвы. Георадарные исследования позволили получить данные об отложениях и УГВ с достаточной точностью в условиях сложных мёрзлых торфяных грунтов с редким контрольным бурением.

Отдельно представлены результаты применения георадара на миграционных торфяных буграх пучения (пальза) в Лапландии (Финляндия) совместно с коллегами из университета Хельсинки (1). Целью применения георадара здесь было определение положения верхней границы мёрзлого ядра внутри пальза. Долговременное наблюдение таких объектов позволит делать выводы о локальных изменениях климатических условий на поверхности. В болотных массивах, которые являются устойчивыми экосистемами и имеют исключительное биосферное значение, подобные исследования необходимы. Несколько бугров пучения были покрыты сетью георадарных профилей, вдоль которых проводилось измерение мощности снежного покрытия, съёмка рельефа. Интерпретация проводилась на основе данных бурения, проводившегося летом. Особенностью таких территорий является не только общая для болот труднопроходимость, но и краткость летнего сезона, когда возможно проводить бурение. Использование георадиолокации позволяет получать надёжные результаты при малых трудозатратах.

**Список использованной литературы**

1. *Tomas Kohout, Michal S. Bučko, Kai Rasmus, Matti Leppäranta and Ilkka Matero.* Non-Invasive Geophysical Investigation and Thermodynamic Analysis of a Palsa in Lapland, Northwest Finland. // *Permafrost and periglacial processes*, 2014, V. 25, issue 1, P. 45-52.

**THE GPR IN WETLAND STUDIES**

***Bricheva S. S.***

***Matasov V. M.***

The most part of wetland studies include cartography of landscape and geological surveys for evaluation of thickness and structure of soil layers. GPR is one of the geophysical methods allows to get information about soil structure quickly and efficiently. It is an important factor for working in impassable areas like peatlands.

GPR was used in Meshchora National park (Vladimir Oblast, Russia) in integrated wetland studies. The aim of this work is application of GPR to the studies in specific peatland's conditions. Along the GPR profiles there were placed the points for independent measurements of peat and snow depth and characteristics, soil freezing depth and landscape observations. This information was used in GPR data processing and interpretation.

Also, the results of the application of GPR to the palsa studies in Lapland (Finland) together with colleagues from the University of Helsinki (1) are presented. The purpose of the GPR application here was to determine the position of the upper boundary of frozen core inside palsa. Several palsa were covered with GPR profiles, along these profiles the snow thickness and relief were measured. The geophysical interpretation based on the summer drilling data. Long-term observation of these objects allows to study the local climatic changes on the surface. Such studies are very important in wetlands - stable ecosystems with exceptional biospheric significance.

**ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОРАДАРНОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ  
АКВАТОРИИ ОЗЕРА СУУРИ (ЛЕНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

***Миннебаев Д. Д.*** (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия)

***Салихов Т. М.*** (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия)

***Черненко Ю. И.*** (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия)

Георадарное профилирование – геофизический метод, который позволяет получить более детальную информацию о строении верхней части геологического разреза. Он давно и прочно завоевал одно из ведущих мест в прикладной геофизике с целью выяснения строения верхней части геологического разреза не только при исследовании гидросети, грунтов, но и ледников [1-6]. В данной работе рассмотрена методика выполнения георадарного профилирования на акватории, а также представлена обработка и интерпретация полученных данных с целью получения карты глубин дна озера, рельефа дна и мощности осадочных отложений. Представленная методика проиллюстрирована на примере модельного объекта – озера Суури.

Актуальность настоящей работы обусловлена разработкой и опробованием методики изучения замёрзших акваторий озёр и их придонной части методами георадарного профилирования. Озеро Суури располагается в непосредственной близости от УНБ «Приладожская» института Наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета, что повышает эффективность проводимых исследований.

Озеро Суури (ист. назв. Suuri Mäntylampi, «Большое сосновое озеро», фин.) является частью бассейна Ладожского озера. Котловина Ладожского озера начала заполняться водой по мере таяния ледника последнего валдайского оледенения. Ладожское озеро освободилось от ледника 14-12,5 тыс. лет назад [7]. Обособление Ладожского озера от Балтийского ледникового озера произошло примерно 10,3-9,6 тыс. лет назад. Связано это с прорывом ледниковой лопасти в районе современной Швеции и, как следствие, освобождением проливов, которые привели к катастрофическим понижениям уровня Балтийского ледникового озера.

Местность, в районе озера Суури, представляет собой лесистую озерно-болотистую равнину абсолютной высотой около 86 м, осложнённую холмами и грядами, а также многочисленными реками и озёрами. Вершины гряд и холмов плоские или округлые, склоны местами обрывистые, скальные. Они разделены плоскими заболоченными понижениями. Выходы кристаллических пород располагаются в целом от ширины г. Приозерск до границы с Республикой Карелия. Южнее Приозерска кристаллические образования погружаются под осадочные породы верхнего протерозоя [8].

Грунты преобладают суглинистые, супесчаные и песчаные; встречаются также валунно-суглинистые и валунно-супесчаные грунты с включением гальки и гравия. Для заболоченных областей характерны торфяные грунты. Рыхлые грунты повсеместно подстилаются скальными породами. Грунтовые воды залегают в долинах рек на глубине от 0,5 до 3 м; на склонах холмов и гряд – до 20 м. Озеро Суури находится в нескольких километрах от Ладожского озера, на его западном побережье. Этот берег Ладоги сложен кристаллическим породами, в отличие от южных берегов, сложенных рыхлыми породами [9].

Работы на озере Суури носят важный методический характер. Они выполнялись с целью выяснения особенностей интерпретации георадарных данных, применительно к изучению придонной части замёрзших пресноводных водоёмов. Работы на акваториях со льда предпочтительнее, ввиду очевидной относительной простоты выполнения геофизических работ с твёрдой поверхности, по сравнению с водной. С другой сторо-

ны, наличие льда вносит свои погрешности, за счёт присутствия высокоскоростного слоя.

Георадарное профилирование осуществлялось приборами ОКО-2 на частотах 100 МГц и 150 МГц с использованием антенн «Тритон и 150 МГц» соответственно по сети рядовых и секущих маршрутов, заложенных через пункты промеров глубин. Технические характеристики георадаров приведены в [10]. В ходе работ было осуществлено профилирование по 2 рядовым и 12 секущим маршрутам, общей протяжённостью 4200 м, из них 2050 м было выполнено с антенной тритон и 2150 м с антенной 150 МГц. Съёмка выполнялась посредством медленного равномерного перемещения аппаратуры пешим порядком. Георадарные данные демонстрируют уверенные отражения от дна озера на всех маршрутах. Кроме того, на большей части из них прослеживаются отражения от нижележащих слоёв, связанные, предположительно, с кристаллическим фундаментом, выходы которого наблюдаются в непосредственной близости от береговой линии озера.

Работы носили комплексный характер. Георадарное профилирование сопровождалось промерами лота, которые осуществлялись по сети 50×50 м. По их результатам была определена глубина озера в общей сложности в 155 пунктах с погрешностью 0,25 м. Плановое положение пунктов лоцирования определялось по GPS. В качестве приёмника использовался прибор Garmin GPS 60, характеристики которого, в совокупности с методикой измерения, позволяют определять погрешность планового положения не хуже 3 м.

Акватория озера была покрыта льдом, средней мощностью около 34 см, что, в известной мере, усложняло обработку данных, поскольку этот, хоть и относительно тонкий, но высокоскоростной слой, оказывал влияние на характер распространения электромагнитных волн и формирование отражённого сигнала. Однако георадарное профилирование комплексировалось промерами глубин и, таким образом, в распоряжении авторов имелись значения глубин на маршрутах, измеренных с минимальными погрешностями. Это позволило подобрать *эффективные* скоростные параметры озёрной воды таким образом, чтобы георадарные данные и промеры совпали с минимальным (в смысле метода наименьших квадратов) расхождением.

Наиболее сложным вопросом интерпретации георадарных данных являлось определение скоростных параметров осадочного чехла, ввиду отсутствия априорных данных. С этой целью были выполнены наклонные зондирования по двум ортогональным друг другу маршрутам, протяжённостью 10 м каждый. Полученные параметры были использованы при пересчётах временных разрезов в глубинный. Обработка осуществлялась по программам, разработанным в ФГУНПП «ПМГРЭ».

Георадарное профилирование показало уверенную сходимость с результатами промеров глубин. Этот метод является наиболее эффективным при исследовании мелководных пресноводных водоёмов в зимний период, когда акватория перекрыта льдом. На основе полученных данных составлены геофизические разрезы и карты глубин дна, рельефа дна и мощности осадочных отложений масштаба 1: 5 000. На основе последних был составлен комплект морфометрических схем придонной части озера.

Авторы благодарят своих сокурсников, оказавших помощь при выполнении работ, сотрудников кафедры Гидрологии Института наук о Земле СПбГУ Паршину Т. В. и Бурцева С. Н., а также своих научных руководителей Трушевского В. Л., Кашкевич М. П. и Попова С. В.

### Список использованной литературы

1. Владов М. Л., Старовойтов А. В. Введение в георадиолокацию. Москва: Издательство МГУ, 2004. 153 с.

2. *Di Prinzio M. et al.* Application of GPR to the monitoring of river embankments // J. Appl. Geophys. 2010. V. 71. P. 53-61.
3. *Baker G. S., Jordan T. E., Pardy J.* An introduction to ground penetrating radar (GPR) // Stratigr. Anal. Using GPR Geol. Soc. Am. Spec. Pap. 2007. V. 2432. P. 1-18.
4. *Annan A. P.* GPR – History, Trends, and Future Developments // Subsurf. Sens. Technol. Appl. Kluwer Academic Publishers-Plenum Publishers, 2002. V. 3, N 4. P. 253-270.
5. *Eder K. et al.* Crevasse detection in Alpine areas using ground penetrating radar as a component for a mountain guide system // Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. Beijing, 2008. V. XXXVII, № B8. P. 837-841.
6. *Попов С. В., Эберляйн Л.* Опыт применения георадара для изучения строения снежно-фирновой толщи и грунта Восточной Антарктиды // Лед и снег. 2014. № 4 (128). С. 95-106.
7. *Субетто Д. А.* История формирования Ладожского озера и его соединения с Балтийским морем. СПб: Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). вып. № 1, 2007. 10 с.
8. *Кузнецов С. С.* Геология СССР. М.: Госгеолтехиздат, 1960, 438 с.
9. *Севастьянов Д. В., Субетто Д. А.* Особенности эволюции озерно-речной сети в бассейне Ладожского озера в голоцене. СПб: Вестник СПбГУ. Сер.7, вып.1 (№ 7), 2001.
10. Радиотехнический прибор подповерхностного зондирования (георадар) «ОКО-2». Техническое описание. Инструкция по эксплуатации. г. Раменское, 2009. 94 с.

#### MAIN RESULTS OF GPR INVESTIGATIONS OF THE LAKE SUURI AREA, LENINGRAD REGION

*Minnebaev D. D.*  
*Salikhov T. M.*  
*Chernenko Yu. I.*

GPR profiling is the geophysical method, which can provide more detailed information about the upper part of the geological section. The methodic aspects of GPR investigations and *in situ* hydrological measurements in the area of Lake Suuri (Leningrad Region) were discussed in this paper. Geophysical sections and maps including the depth of the lake, bottom topography and the thickness of the lake sediments are demonstrated in the scale of 1: 5 000 were presented.

Научные руководители: доцент кафедры Гидрологии суши института наук о Земле кандидат технических наук Трушевский В.Л., доцент кафедры Геофизики института наук о Земле кандидат геолого-минералогических наук Кашкевич М.П., геофизик Антарктической геофизической партии ФГУНПП «ПМГРЭ» доктор геолого-минералогических наук Попов С.В.

**АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ ПРИ  
ПРОКЛАДКЕ ТРУБОПРОВОДОВ МЕТОДОМ НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ**  
*Нилос М. Ю. (Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия)*

Направленное бурение – современная методика бестраншейной прокладки инженерных коммуникаций, обладающая рядом преимуществ при строительстве трубопроводов в условиях городской застройки и труднодоступной местности, а также позволяющая минимизировать негативное экологическое воздействие на природные объекты. Однако, её использование ставит повышенные требования к уровню инженерно-геологической изученности приповерхностной части разреза, так как целый ряд геологических и техногенных факторов может привести к потере дорогостоящего оборудования и невозможности прокладки канала требуемого диаметра. Критично повлиять на возможность применения методики направленного бурения может: распространение сыпучих грунтов, значительное скопление крупнообломочного материала, присутствие неучтённых инженерных коммуникаций либо отклонение их фактического залегания от проектного, наличие пльвунов и т.д. Помимо определения самого наличия неблагоприятных факторов необходимо провести их локализацию с высокой точностью. В ряде случаев, для решения подобной задачи может быть использована методика георадиолокации.

Имеющийся опыт применения георадара демонстрирует возможность высокоточного разделения литотипов в разрезе до глубины 6-8 метров, выделение техногенных объектов (труб, коллекторных колодцев, крупного строительного мусора), выявление областей скопления крупнообломочного материала и отдельных валунов.

Методика направленного бурения чаще всего используется либо для прокладки коммуникаций под имеющимися инженерными сооружениями (чаще всего дорогами), либо для неразрушающего преодоления природных объектов (реки и т.п.). В каждом из представленных случаев перед георадиолокацией ставятся специфические требования.

Районы городской и промышленной застройки характеризуются высокой степенью нарушенности естественного залегания грунтов, в ряде случаев вся толща относится к так называемым техногенным грунтам и выделение отдельных литотипов невозможно. В таких условиях, наиболее актуальным становится локализация уже имеющихся инженерных сооружений, выделение зон интенсивной увлажнённости грунта и определение диэлектрической проницаемости, влияющей на пересчёт временного разреза в глубинный.

Исследования на участках пересечения природных объектов, прежде всего, направлены на детальное прослеживание границ литотипов, выявление латеральных неоднородностей в пределах пласта и обнаружение валунного материала. Значительную роль в подобных работах играет учёт рельефа, как дневной поверхности, так и отражающих границ (угол падения последних в значительной степени искажается из-за сферического фронта волны – эффект хорошо известный в сейсморазведке).

Высокая разрешающая способность георадиолокации позволяет в значительной степени уточнить приповерхностный разрез, что во многом упрощает процесс направленного бурения и делает его более предсказуемым, однако известные недостатки данного электромагнитного метода, связанные с малой глубиной и высокой чувствительностью к экранирующему эффекту низкоомных частей разреза, накладывают значительные ограничения на его использование.

**AN ASPECTS OF GPR APPLICATION FOR  
DIRECTIONAL DRILLING PIPELINES**

*Nilov M. Yu.*

Directional drilling is a modern methodic that requiring high level geological exploration of the subsurface area. GPR is one of geophysical methods, that can be used. City areas and natural requires a different approach in data processing, and some specific aspects is have to be considered. However, well known disadvantages of the GPR method, associated with shallow depth and high sensitivity to low-resistance shielding effect, impose significant limitations on its use.

**РАДИОМЕТРИЧЕСКИЕ И ЯДЕРНО-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ  
МЕТОДЫ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
ОТВОДА ЗЕМЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬНОСТИ В  
ПЕТЕРБУРГЕ И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Попов И. В.* (ООО «Эко-Экспресс-Сервис», Санкт-Петербург, Россия)

*Троицын В. А.* (ООО «Эко-Экспресс-Сервис», Санкт-Петербург, Россия)

*Волков А. П.* (ООО «Эко-Экспресс-Сервис», Санкт-Петербург, Россия)

Последние десятилетия ознаменовались повышением интереса общественности к качеству среды обитания. Это связано с очевидными негативными тенденциями в природопользовании, крупнейшими техногенными катастрофами и новейшими фундаментальными открытиями в области экологии человека. Осознание первостепенной важности природоохранного фактора государственной властью сегодня имеет место во всех без исключения развитых странах мира. Примечательно, что именно геологические производственные и научно-исследовательские предприятия, имеющие за плечами богатый опыт использования геофизических радиометрических и гамма-спектрометрических методов поисков и разведки месторождений урановых руд и развитую аппаратурно-методическую базу, оказались наиболее дееспособными и подготовленными к массовым радиационно-экологическим исследованиям на обширной территории бывшего СССР, проведенным в первые годы после катастрофы на ЧАЭС.

Обеспечение санитарно-эпидемиологической безопасности населения определяется качеством зданий жилого фонда и, в частности, их радиационными характеристиками. Характеристики эти зависят от соблюдения строительными организациями действующих санитарно-гигиенических норм и правил в области радиационной безопасности (НРБ-99/2009, ОСПОРБ-99/2010, МУ 2.6.1.2838-11, МУ 2.6.1.2398-08 и др.). Проблема воздействия ионизирующих излучений на население имеет для Санкт-Петербурга и Ленинградской области важное значение. С одной стороны, это объясняется особенностями геологического строения региона: наличием радиоактивных, эманлирующих формаций горных пород – углистых сланцев нижнеордовикского возраста, различных архейско-протерозойских гранитоидов, часто используемых в качестве строительных материалов, отдельных урановых рудопроявлений, дислоцированных в ближайших окрестностях Петербурга, тектонических разломов глубинного заложения и пр. С другой стороны, сказывается народнохозяйственная специфика нашего города – крупного промышленного и научного центра, десятки предприятий которого активно используют источники различных ионизирующих излучений, государственный учет, контроль и захоронение которых не всегда, к сожалению, прежде осуществлялось должным образом.

Результаты многочисленных радиационно-гигиенических обследований помещений различных зданий говорят о том, что, несмотря на предпринимаемые меры по контролю жилых и промышленных объектов на всех стадиях строительства и реконструкции, мощность эквивалентной дозы гамма-излучения (МЭД) и среднегодовые значения эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона в зданиях Петербурга и Ленинградской области иной раз превышают нормативные значения. Подобные объекты, согласно действующим санитарным правилам, не могут быть введены в эксплуатацию и требуют дополнительного проведения радонозащитных и иных мероприятий, снижающих дозовую нагрузку на население и персонал, иногда дорогостоящих – вплоть до перепрофилирования или сноса уже построенных зданий.

Общепринятая технология радиационно-гигиенических обследований объектов в строительстве предполагает проведение контроля в два этапа. На первом этапе оцениваются земельные участки, выделенные для строительства зданий и сооружений. При этом, согласно [8, 11] измерению подлежит мощность эквивалентной амбиентной

дозы внешнего гамма-излучения и плотность потока радона (ППР) с поверхности грунта и, в отдельных случаях, по согласованию с органами надзора, объемная активность природных изотопов радона Rn-220, Rn-222 (ОА) в грунтовом воздухе. Допустимые значения ОА в грунтовом воздухе – менее 50 кБк/м<sup>3</sup> в соответствии с Региональным нормативом «Правила охраны почв в Санкт-Петербурге», утвержденным Правительством Санкт-Петербурга в 1994 г.

Радиационные обследования могут выполняться специализированными лабораториями радиационного контроля, отвечающими достаточно жестким условиям аккредитации на техническую компетентность и независимость, предъявляемым Федеральной службой по аккредитации (Росаккредитация). Обобщая опыт радиационно-гигиенических обследований земельных участков в пределах города Санкт-Петербурга и его ближайших пригородов, выполненных нами в последние 8 лет, можно сделать вывод о том, что доля обследованных участков, выделенных под строительство, на которых измеренные значения ППР с поверхности грунта и ОА радона в почвенном воздухе превысили допустимые уровни, составляет около 7%. При этом, особенно неблагоприятными в целом выглядят Красносельский и Петродворцовый районы города, а также, в несколько меньшей степени, Пушкинский район.

На втором этапе, уже по завершении строительных работ перед сдачей здания в эксплуатацию выполняются радиационные обследования зданий и помещений. Эти работы включают в себя определения значений мощности эквивалентной AMBIENTНОЙ дозы внешнего гамма-излучения (МАД ГИ) и значений среднегодовой ЭРОА (или объемной активности с последующим пересчетом в ЭРОА) природных изотопов радона (радон – <sup>222</sup>Rn и торон – <sup>220</sup>Rn) в воздухе помещений. Строгое физическое определение ЭРОА как физической величины, характеризующей присутствие трех дочерних радионуклидов (<sup>218</sup>Po, <sup>214</sup>Pb, <sup>214</sup>Po) - продуктов распада <sup>222</sup>Rn в воздухе, достаточно сложно, и мы не будем утруждать читателя этой «научнокопкой» дефиницией. Как уже говорилось выше, ввод объектов в эксплуатацию возможен после выдачи Роспотребнадзором санитарно-эпидемиологического заключения об отсутствии ограничений в использовании объекта по радиационному фактору. Сходным образом проводятся радиационные обследования и в случае капитального ремонта, реконструкции зданий и сооружений: на первом этапе по аналогичным методикам обследуют здание и прилегающую территорию до начала ремонтных работ, а на втором – помещения после отделочных работ, установки дверей и вентиляционных систем.

В случае если на территории обследуемых земельных участков располагаются здания и сооружения, предназначенные под снос, из комплекса обследования таких зданий исключаются измерения ЭРОА радона и торона, но дополнительно производится опробование основных типов строительных материалов с последующим лабораторным определением удельной эффективной активности природных радионуклидов ( $A_{эфф}$ ) методом гамма-спектрометрии в материале отобранных проб, что необходимо для разработки мероприятий по дальнейшему обращению со строительными отходами.

Завстройщикам следует иметь в виду, что производится обязательная сертификация всех природных и искусственных материалов, используемых в строительстве, по радиационному фактору. При этом выполняются измерения радиационных параметров как в естественном залегании (или в готовых крупногабаритных изделиях) с помощью портативной гамма-спектрометрической аппаратуры (экспрессный метод анализа), так и лабораторные радиометрические исследования (лабораторный метод анализа). Затем по данным гамма-спектрометрических измерений вычисляются значения удельной эффективной активности ( $A_{эфф}$ ) природных радионуклидов (ПРН).

Как показывает статистика результатов наших работ по обследованию жилых и общественных зданий, сдаваемых в эксплуатацию в Санкт-Петербурге в Ленинградской области (г. Шлиссельбург и др.), проведение каких-либо защитных мероприятий

по радиационному фактору (в том числе, радонозащитных) требуется примерно в 2% обследованных зданий. Проблемные помещения зачастую располагаются на первых и последних этажах. Причиной проведения защитных мероприятий является зачастую превышение допустимого значения ЭРОА радона в воздухе ( $100 \text{ Бк/м}^3$ ). Это зачастую обусловлено неэффективностью вентиляционных систем и (или) повышенным удельным радоновыделением строительных материалов даже при допустимых значениях  $A_{\text{эфф}}$  ПРН в них. Приемлемое снижение значений концентрации радона в воздухе помещения часто достигается простой процедурой прочистки вентиляционных каналов.

В качестве примера, скажем несколько слов об Испытательной лаборатории ООО «Эко-Экспресс-Сервис», оснащенной обширным парком радиометрических и гамма-спектрометрических средств измерений, произведенных предприятиями РФ и Беларуси, которые традиционно рассматриваются специалистами-геологами в качестве геофизической аппаратуры. Наша лаборатория, созданная в 2007 году, сегодня является одной из наиболее хорошо технически и методически оснащенных лабораторий радиационного контроля, располагающихся в Ленинградской области (Шлиссельбург) Нами выполняются, в основном, радиационные обследования таких сложных объектов, как проектируемые и действующие морские портовые комплексы в различных регионах страны, строящиеся и реконструируемые объекты ОАО «Российские железные дороги» и объекты автомобильного транспорта.

Высокий профессиональный уровень и солидный практический опыт персонала лаборатории, дает возможность выполнять радиационные обследования объектов строительства в сжатые сроки. Руководство лаборатории осуществляет эффективное сопровождение материалов обследования при получении необходимых заказчиком экспертных санитарно-эпидемиологических заключений в органах государственного надзора. Техническая оснащенность лаборатории позволяет выполнять радиологические исследования объектов строительства практически любого масштаба. Область аккредитации Испытательной лаборатории ООО «Эко-Экспресс-Сервис» включает в себя радиологические исследования следующих объектов:

- Территории земельных участков (гамма-излучение на территории, объемная активность радона в почвенном воздухе, плотность потока радона с поверхности грунта, удельная активность природных и основных техногенных радионуклидов в почвах);
- Помещения промышленного, жилищного и социально-бытового назначения в зданиях и сооружениях (гамма-излучение в помещениях; объемная активность радона и ЭРОА радона и торона в воздухе помещений);
- Материалы строительные (удельная активность и  $A_{\text{эфф}}$  ПРН в пробах).

Заказчиками выполняемых нами радиологических исследований являются компании и крупные организации Санкт-Петербурга: ФГУП «Росморпорт» (Северо-Западный бассейновый филиал); ЗАО ГТ «Морстрой»; ЗАО «Сибур-Портэнерго»; ЗАО «Феникс» (аванпорт «Бронка»); ЗАО «Северо-Запад Инвест»; ОАО «Ленгипротранс»; ЗАО «Первый Контейнерный Терминал»; ОАО «Компания Усть-Луга», ЗАО «Петербургский Нефтяной Терминал», АО Nord Stream AG и др.

#### **RADIOMETRIC AND NUCLEAR SPECTROMETRIC METHODS FOR ENSURING RADIATION SAFETY OF THE ALLOTMENT OF TERRITORYS FOR CONSTRUCTION IN ST. PETERSBURG REGION**

*Popov I. V.*

*Troshin V. A.*

*Volkov A. P.*

Our laboratory, established in 2007, is today one of the most technologically and methodologically equipped laboratories of radiation control, located in the Leningrad .We are

mainly radiation survey of such complex objects as projected and existing port facilities in different regions of the country, construction and reconstruction of objects of railways" and the objects of road transport. High professional level and practical experience of our crew, allows to perform a radiation survey of construction sites in a short time. The laboratory management provides effective support materials survey in obtaining necessary expert sanitary-epidemiological conclusions in the bodies of state supervision. Radiometric and nuclear spectrometry equipment of our laboratory allows to perform radiological studies of construction projects of any size.

Научный руководитель: кандидат технических наук Д. А. Амосов, технический директор ООО «ЭГТИ», Санкт-Петербург.

**ГРАВИМЕТРИЧЕСКИЕ И МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ИСТОРИКО-ПРИРОДНОГО КОМПЛЕКСА**

**«ЛЕДЯНАЯ ГОРА И КУНГУРСКАЯ ЛЕДЯНАЯ ПЕЩЕРА»**

*Пугин А. В.* (Горный институт УрО РАН, ПГНИУ, Пермь, Россия)

*Мичурин А. В.* (Горный институт УрО РАН, Пермь, Россия)

*Симанов А. А.* (Горный институт УрО РАН, Пермь, Россия)

*Хохлова В. В.* (Горный институт УрО РАН, Пермь, Россия)

*Новикова П. Н.* (Горный институт УрО РАН, ПГНИУ, Пермь, Россия)

Кунгурская Ледяная пещера и Ледяная гора представляют собой единый историко-природный комплекс, включенный в перечень объектов культурного наследия ЮНЕСКО. Комплекс расположен в Пермском крае на окраине города Кунгура, на правом берегу реки Сылвы.

С начала 1950-х годов Кунгурская Ледяная пещера и Ледяная гора представляют собой естественный полигон для апробации различных методов изучения земных недр [1]. Протекающие процессы карста и суффозии способствуют развитию в массиве Ледяной горы полостей, а на земной поверхности – образованию провалов и воронок. Наиболее протяженной полостью и эталонным объектом для исследований является сама пещера.

Потребности в безопасной эксплуатации пещеры, как экскурсионного объекта, наряду со слабой геологической изученностью массива Ледяной горы явились причиной постановки опытно-методических работ в районе историко-природного комплекса.

Массив Ледяной горы в районе Кунгурской пещеры сложен карбонатными (известняк, доломит) и сульфатными (гипс, ангидрит) породами. Перекрывают поверхность Ледяной горы четвертичные глины и суглинки мощностью до 18 метров на водоразделе, полностью смытые вблизи склона и на отдельных участках возвышенности [1].

Наземные гравиметрические и магнитометрические измерения выполнены на поверхности Ледяной горы над экскурсионной частью пещеры в одних и тех же пунктах. Размеры участка исследований 150×300 м, среднее расстояние между точками измерений и между профилями – 15 м. Для измерений использовались гравиметры Auto-grav CG-5 (Scintrex, Канада), цезиевый магнитометр G-859SX (Geometrix, США), в качестве вариационной станции – квантовый магнитометр POS-1 (Уральский федеральный университет, Россия).

Гравиметрические наблюдения в Кунгурской Ледяной пещере выполнены под участком наземной съемки вдоль экскурсионной галереи, соединяющей два крупных грота – Данте и Метеорный. Оба грота обрушены в центральной части, а на поверхности выражены провалами, что свидетельствует об интенсивных разрушениях пород на данных участках, затрагивающих весь интервал от кровли пещеры до земной поверхности. Среднеквадратическая погрешность определения аномалии Буге при наземной съемке по результатам контрольных наблюдений с учетом погрешности определения высот и координат пунктов наблюдений, вычисления поправок за влияние рельефа местности составила  $\pm 0.015$  мГал, при подземной –  $\pm 0.01$  мГал.

По результатам крупномасштабных топографо-геодезических работ были закартированы основные формы рельефа вплоть до карстовых воронок глубиной более 1.5 м. Полученные данные позволили составить детальную цифровую модель земной поверхности для высокоточного учета поправок за влияние рельефа в центральной и ближней зоне.

Диапазон аномальных значений силы тяжести в редукции Буге достигает 0.5 мГал. Значения аномального магнитного поля  $\Delta T_a$  лежат в интервале от –60 до 30 нТл. Рельеф земной поверхности в пределах участка представляет собой склон горы с падением в южном направлении. Абсолютные отметки земной поверхности в пределах участка по данным инструментальной съемки варьируются в диапазоне от 168 до

191.5 м. В большом количестве присутствуют локальные карстовые формы рельефа глубиной от 0.5 до 11 м.

Оценка величины плотности промежуточного слоя была выполнена двумя способами: по методу Неттлетона и по разности наблюдений силы тяжести в точках на земной поверхности и в пещере согласно формуле, приведенной в инструкции [2]. Значение плотности, определенное по разности двухуровневых гравиметрических наблюдений 2.05 г/см<sup>3</sup>, как более точное, было принято при расчете поправки за промежуточный слой и учете топографических масс.

Участок пересекают линии электропередач, существенно искажающие показания магнитометра. Результаты повторных наблюдений на точках в окрестности линий электропередач показали стабильность отсчетов магнитометра G-859SX в пределах  $\pm 1-3$  нТл. Область «существенного» влияния ЛЭП оценивалась путем решения обратной задачи методом подбора для линейного тела.

В результате трансформаций и визуального анализа геофизических аномалий трассированы зоны разрывных нарушений, локализована аномалия, предположительно обусловленная карстовой полостью. Оценка объема полости  $V > 1000$  м<sup>3</sup> получена с применением монтажного метода решения обратной задачи гравиметрии. По данным маркшейдерской съемки составлена упрощенная трехмерная модель Ледяной пещеры, которая использовалась для вычисления ее гравитационного влияния. Результаты исследований убедительно доказали возможность картирования гротов и галерей пещеры с поверхности Ледяной горы, что открывает широкие возможности как для поиска ее продолжений в неразведанной части, так и для изучения других объектов подобного типа. Подробное описание первых результатов исследований приводится в работе [3].

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-05-31035) в соответствии с Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы №80 (тема: «Развитие методов пространственного геофизического мониторинга экзотехносферы»).

#### **Список использованной литературы**

1. Кунгурская Ледяная пещера: опыт режимных наблюдений / Под ред. В. Н. Дублянского. Екатеринбург: ГИ УрО РАН, 2005. 376 с.
2. Инструкция по гравиразведке. М.: Недра, 1980. 80 с.
3. *Пугин А. В., Мичурин А. В., Симанов А. А., Хохлова В. В., Новикова П. Н.* Опытные-методические геофизические работы на территории историко-природного комплекса «Ледяная гора и Кунгурская Ледяная пещера» // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2014. № 2. – С. 191-197.

#### **GRAVIMETRICAL AND MAGNETIC EXPLORATION OF HISTORICAL-NATURAL COMPLEX «ICE MOUNTAIN AND KUNGUR ICE CAVE»**

*Pugin A. V.*

*Michurin A. V.*

*Simanov A. A.*

*Khohlova V. V.*

*Novikova P. N.*

We present the results of geophysical surveys on the Ice Mountain and in the Kungur Ice Cave. The body of the mountain is destroyed by tectonics and karst-and-suffusion processes. Geophysical surveys helped to explore geological structure of the rock mass. It permits to determine weaken zones above the cave. Data analysis proved that unknown galleries of the Kungur Ice Cave can be detected from the earth's surface.

Научный руководитель и консультант – доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник ГИ УрО РАН, Долгаль Александр Сергеевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ БОЛОТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ  
МЕТОДОМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ**

*Рязанцев П. А.* (Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия)

*Миронов В. Л.* (Институт биологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия)

*Родионов А. И.* (Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия)

Георадиолокационные зондирования – современный электромагнитный метод геофизики, позволяющий изучать верхнюю часть разреза с высокой степенью детальности (Владов, Старовойтов, 2004). Условием для успешного применения георадаров является наличие контраста по диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ ) между слоями и объектами в изучаемой среде. Исходя из имеющихся предпосылок ( $\epsilon$  торфа 65,  $\epsilon$  водонасыщенного песка 20,  $\epsilon$  воды 81 и т.д.), болотные отложения могут успешно изучаться с помощью такого метода.

В болотоведении метод георадиолокации имеет на данный момент ограниченное применение (Orlov, Sadkov, 2014), и используется, в основном, при общей оценке запасов торфа. В то же время существует ряд успешных примеров использования данного метода в исследовании структуры торфяных залежей (Wastiaux et al., 2000; Comas et al., 2005).

В данной работе приведены результаты исследований методом георадиолокации торфяной залежи верхового болота у оз. Иматозеро ( $61^{\circ}50'43,36''$  с.ш.,  $33^{\circ}03'52,81''$  в.д.). Исследования проводились в марте 2015 года, когда болото было покрыто ровным слоем снега толщиной 20 – 40 см. Сбор данных осуществлялся прибором ОКО-2 с антенным блоком 150М, центральная частота которого составляет 150 МГц, что обеспечивает глубину исследований до 12 м. Наблюдения проводились по профилям, с привязкой координат GPS навигатором.

При интерпретации радарограмм были использованы данные послойного ботанического анализа торфа и данные анализа степени его разложения, полученные по результатам бурения в лаборатории болотных экосистем ИБ КарНЦ РАН. Наиболее ярко в волновом поле проявляется граница минерального основания болота, которое представлено песчано-гравийным материалом. Существующая разность  $\epsilon$  обеспечивает формирование чётких осей синфазности с высокой амплитудой входящего сигнала, что позволяет однозначно идентифицировать и проследить морфологию дна болота даже на предельной глубине исследования.

По всем георадиолокационным разрезам уверенно определяются основные фации, которые соотносятся с:

1. поверхностным слоем мощностью 0,5-1,5 м, представленным деятельным горизонтом и слабоуплотненными верховыми сфагновыми торфами;
2. средним слоем мощностью 2-4 м, характеризующимся выраженной слоистостью, представленным преимущественно верховыми пушицевыми и магелланикум-торфами;
3. базальным слоем мощностью 1,5-4 м, занимающим наиболее глубокие депрессии дна болотной котловины, сформированным переходными вахтово-осоковыми торфами.

Кроме того, выделяются различные переходные фации, связанные с наличием специфических торфяных образований. В результате выполненных исследований, на примере конкретного объекта, показана высокая эффективность метода георадиолокации для определения внутренней структуры торфяной залежи болота, и, особенно, для установления структуры минерального дна.

Установлено, что наличие разных типов торфов продуцирует характерные георадарные фации, которые могут выступать в качестве поисковых атрибутов при картировании болотных систем. Сопоставление результатов интерпретации георадиолокации и материалов бурения по опорному профилю подтвердило достоверность полученных выводов.

**Список использованной литературы**

1. *Владов М. Л., Старовойтов А. В.* Введение в георадиолокацию. Учебное пособие – М.: Издательство МГУ, 2004. – 153 с.
2. *Orlov T. V., Sadkov S. A.* Detecting spatial bog pattern using remote sensing and ground penetration radar (Belamoro-Kuloyskoe plateau case study) // Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее: Материалы 4 Международного полевого симпозиума (Новосибирск, 4-17 августа 2014). Томск: Изд-во ТГУ, 2014. – 380 с.
3. *Wastiaux C., Halleux L., Schumacker R., Streef M., Jacqmotte J. M.* Development of the Hautes-Fagnes peat bogs (Belgium): new perspectives using ground-penetrating radar // SUO. 2000. – I.51. – V. 3 – P. 115-120.
4. *Comas X., Slater L., Reeve A.* Stratigraphic controls on pool formation in a domed bog inferred from ground penetrating radar (GPR) // Journal of Hydrology. 2005. – I.315 – P. 40-51.

**GPR INVESTIGATION OF BOG SEDIMENTS STRUCTURE**

**Ryazantsev P. A.**

***Mironov V. L.***

***Rodionov A. I.***

The paper considers the possibility of GPR in the study of bog peat deposits. The practical example of determining the boundaries of the mineral base of the bog and the allocation of certain facies of different composition is shown. The effectiveness of the chosen method is proved based on a comparison of the results of drilling with obtained radarograms.

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГЛУБИННОСТИ ГЕОРАДАРОВ**

*Titov A. V.* (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия)

В последнее время метод георадиолокации часто используется для решения широкого круга инженерных и экологических задач. Одной из важных характеристик любого георадара является глубинность исследования. Глубинность, в свою очередь, определяется затуханием электромагнитного сигнала в исследуемой среде. Затухание зависит от электропроводности среды ( $\sigma$ ), частоты испускаемого антенной передатчика импульса ( $f$ ). Кроме того глубинность возрастает с увеличением мощности передатчика ( $P$ ).

В данной работе были выполнены сравнительные тесты различных георадаров с различными антенными блоками. Были использованы георадары «ОКО-2» производства ООО «ЛОГИС» (Раменское, Россия), «Zond-12e» производства Radar Systems, Inc. (Рига, Латвия), «Лоза» разработанного ИЗМИРАН им. Н. В. Пушкова (Москва, Россия), «MALÅ GroundExplorer» производства MALÅ (Мало, Швеция) и «Akula 9000V» производства Geoscanners AB (Буден, Швеция).

Работы были выполнены сотрудниками кафедры Физики Земли, Физического факультета СПбГУ и Центра геоэлектromагнитных исследований ИФЗ РАН в 2013-2015 годах. Наиболее удобными средами для изучения затухания георадарного сигнала являются относительно пресные естественные водоёмы с плавно изменяющимся рельефом дна. В морской воде, из-за высокой удельной электропроводности (порядка 1 См/м), георадарный сигнал затухает в первом метре даже на низких частотах. В тоже время в некоторых пресных водоемах, если электропроводность мала (менее 10 мСм/м), может оказаться что сигнал затухает слабо и отражение от дна четко видно на глубинах, превышающих аппаратные возможности георадара (величину развертки). Исследования проводились на Ладожском озере (в районе о. Валаам), на озёрах островов Соловецкого архипелага, озере Кильписъярви в Лапландии на севере Финляндии и реке Кама под Набережными Челнами.

Так как были использованы различные георадары, сравнение и обработка данных были проведены в среде MATLAB. Критерием для оценки глубинности исследования служило отношение сигнал/шум. Также была определена электропроводность с помощью георадара. Для оценки затухания была использована программа matGPR. По результатам работы можно сделать следующий вывод: глубинность исследования, кроме центральной частоты сигнала, определяется мощностью передатчика, но значительное увеличение мощности передатчика, например, в случае георадара «Лоза» не приводит к значительному увеличению глубины георадарного исследования. Также следует отметить, что в США и некоторых странах Европы существуют нормативные ограничения по мощности испускаемого сигнала, что сокращает районы применения мощных георадаров. В то же время в некоторых случаях разработчики георадаров существенно превышают предполагаемую глубинность, вероятно в рекламных целях.

**GPR DEPTH OF INVESTIGATION: A COMPARATIVE ANALYSIS**

*Titov A. V.*

Recently, the ground penetrating radar (GPR) method was used for a wide range of engineering and environmental problems. One of the important characteristics of any GPR is the depth of investigation. The depth of investigation is determined by the attenuation of an electromagnetic signal in a test medium. The attenuation depends on the electrical conductivity of the medium ( $\sigma$ ) and the frequency of the emitted pulse ( $f$ ). Also the depth of investigation depends on the transmitting power ( $P$ ), namely increases with increasing  $P$ .

In our paper we performed comparative analysis of various GPRs with different antenna units. We used GPR “ОКО-2” (Logis-Geotech, Russia), “Zond-12e” (Radar Systems

Inc., Latvia), “Loza” (IZMIRAN, Russia), “MALÅ GroundExplorer” (MALÅ, Sweden) and “Akula” (Geoscanners, Sweden).

The tests were carried out by employees of the Earth's Physics Department at St. Petersburg State University and Geoelectromagnetic Research Center IPE RAS in 2013-2015. The most user-friendly environments to study GPR signal attenuation are relatively fresh natural water bodies with smoothly changing topography. In seawater, due to the high conductivity (about 1 S/m), GPR signal is attenuated in the first meter, even at low frequencies. However, if the electrical conductivity is relatively low (less than 10 mS/m) the signal will be only slightly attenuated. In this case the reflection from the bottom is clearly visible at depths exceeding the hardware capabilities of GPR (maximum time scale value). The studies were carried out on the lake Ladoga (near Valaam Island), on the lakes of Solovetsky Islands, on the lake Kilpisjärvi in Lapland in northern Finland and Kama River near Naberezhnye Chelny.

Data processing and comparison were carried out by using the MATLAB package. The criterion for evaluating the depth of investigation is the signal to noise ratio. The electrical conductivity was determined with GPR as well. To assess the attenuation the matGPR program package was used. As a result, we conclude that the depth of investigation, in addition to the central frequency of the signal, is determined by the power of the transmitter. However, significant increase in the power of the transmitter, for example, in the case of GPR “Loza”, does not lead to significant increase in the GPR depth of investigation. It should also be noted that in the United States and some European countries there are regulatory restrictions on the power of the emitted signal, which reduce the area of application of powerful GPR. At the same time, in some cases developers of GPR significantly overestimate the real depth, perhaps for promotional purposes.

Научный руководитель: Крылов Сергей Сергеевич, доцент, кандидат физико-математических наук, лаборатория геоэлектрики, кафедра физики Земли, Физический факультет, СПбГУ.

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ ДЛЯ СТРУКТУРНО-ЛИТОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ ОЗЕРНЫХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ**

*Титов А. В.* (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия)

*Дятлова Е. В.* (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия)

В настоящее время георадар все чаще применяется в различных геологических, инженерных и экологических целях. Одной из актуальных задач является изучение характера и мощности донных озерных отложений, которые содержат важную информацию для реконструкции климатических изменений в период позднеледниковья и голоцена.

Сотрудниками кафедры физики Земли физического факультета и Института наук о Земле СПбГУ проводились комплексные исследования озер Валдайской возвышенности. Для георадарной съемки использовался георадар «ОКО-2» производства ООО «Логис» с антенным блоком АБ-150 (центральная частота – 150 МГц). Антенный блок транспортировался на надувном плавсредстве. Одновременно с георадиолокационными измерениями выполнялось эхолотирование, а также топографическая привязка профилей с использованием приемника GPS. Точная привязка георадиолокационных трасс позволяет учесть неравномерность движения по профилю.

Подробные описания геологического строения отложений были получены в результате отбора литологических колонок в зимний период со льда ручным торфяным буром. Точки отбора колонок были заранее выбраны на основе анализа радарограмм.

Каждый литологический слой характеризуется своей диэлектрической проницаемостью, которая зависит от водонасыщенности и состава отложений, поэтому, как правило, наблюдается четкое соответствие между литологическим строением и отражающими границами, выделяемыми на радарограмме. Оценка диэлектрической проницаемости выполнялась на основе обработки гиперболических отражений от локальных объектов в толще осадков. Был применен специальный алгоритм, учитывающий слоистость (реализован в виде скрипта в среде MATLAB), который позволяет повысить точность определения глубины отражающих границ по сравнению с оценками, получаемыми при стандартной обработке.

В результате совместной обработки данных бурения, георадарной съемки и GPS позиционирования были построены трехмерные карты озерных отложений, которые позволили выявить скрытый рельеф озерных котловин. Проведенная работа продемонстрировала высокую эффективность применения метода георадиолокации для структурно-литологического картирования озерных донных отложений.

Работа выполнялась в рамках проекта РФФИ 15-05-02584 «Комплексные палеолимнологические исследования озер Валдайской возвышенности», при финансовой поддержке СПбГУ (экспедиционный проект 11.42.1484.2015) и с использованием оборудования Ресурсного центра СПбГУ «Геомодель».

**APPLICATION OF GPR TO THE STRUCTURAL AND LITHOLOGICAL MAPPING OF LAKE SEDIMENTS**

*Titov A. V.*

*Dyatlova E. V.*

Currently, ground penetrating radar (GPR) is widely used for a variety of geological, engineering and environmental purposes. One of the problems is study of the nature and thickness of lake sediments, which contain important information for the reconstruction of climate changes during the Lateglacial and Holocene.

Employees of the Earth's Physics Department of Physical Faculty and the Institute of Earth Sciences, St. Petersburg State University have performed comprehensive studies of lakes in the Valdai Hills. For the GPR survey we used GPR "OKO-2" produced by "Logis" with antenna unit AB-150 (central frequency is 150 MHz). The antenna unit was transported on an inflatable boat. Simultaneously with the GPR measurement we carried out echo sounding and topographic control of GPR profiles using GPS chartplotter.

Detailed descriptions of the geological structure of the sediments have been received as a result of the selection of the lithological column in winter from the ice surface using manual peat corer. Sampling points were preselected based on the analysis of the radargram.

Each lithology layer is characterized by its dielectric constant, which depends on the water saturation and composition of deposits. Thus, we found a clear correspondence between lithology and reflections in the radargram. Evaluations of permittivity have been performed by processing of hyperbolic reflections from point reflectors in the sediment layer. A special algorithm was applied to take into account the stratification (implemented as a script in the MATLAB environment), which improves the accuracy of determining the depth of reflecting boundaries compared to estimates obtained with standard processing tools.

As a result of joint processing of drilling data, GPR and GPS data three-dimensional map of the lake sediments was constructed, which revealed a hidden relief of the lake basins. Thus, this work demonstrates the high efficiency of GPR application to structural and lithological mapping of lake sediments.

The work was performed within the framework of RFBR 15-05-02584 "Comprehensive paleolimnological investigations of the Valdai Highlands lakes" with funding from St. Petersburg State University (expeditionary project 11.42.1484.2015) and using equipment of Resource centre for Geo-Environmental Research and Modelling (GEOMODEL), St. Petersburg State University.

Научные руководители: Крылов Сергей Сергеевич, доцент, кандидат физико-математических наук, лаборатория геоэлектрики, кафедра физики Земли, Физический факультет, СПбГУ и Бобров Никита Юрьевич, кандидат физико-математических наук, лаборатория геоэлектрики, кафедра физики Земли, Физический факультет, СПбГУ.

АФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ  
INDEX OF AUTHORS

Агеев А. С.	3	Зиганшина Р. А.	22
Ageev A. S.	4	Ziganshina R. A.	24
Ахмадиев Р. Ш.	5	Зимовский А. В.	105
Akhmadiev R. Sh.	5	Zimovskiy A. V.	106
Багатинский В. А.	97	Карагодин А. В.	25
Bagatinsky V. A.	99	Karagodin A. V.	25
Басов А. Д.	113	Кишанков А. В.	49
Basov A. L.	116	Kishankov A. V.	51
Бричёва С. С.	117	Колесников В. Е.	52
Bricheva S. S.	117	Kolesnikov V. E.	53
Буддо И. В.	72	Коровинский Д.	16, 21
Buddo I. D.	75	Korovinskiy D.	16, 21
Бызов Д. Д.	6	Королева Т. Ю.	26
Vuzov D. D.	8	Koroleva T. Yu.	27
Васильев Н. Я.	9	Кузнецова А. В.	28
Vasilev N. Y.	11	Kuznetsova A. V.	28
Волков А. П.	124	Маркова С. И.	9
Volkov A. P.	126	Markova S. I.	11
Воротников Д. И.	100	Мартынов Э. А.	54
Vorotnikov D. I.	102	Martynov E. A.	57
Воскресенский А. Г.	17	Матасов В. М.	117
Voskresensky A. G.	19	Matasov V. M.	117
Горбунов А. А.	40	Матвеев И. А.	105
Gorbunov A. A.	43	Matveev I. A.	106
Горелик Г. Д.	44	Мачеев Г. А.	29
Gorelik G. D.	46	Macheev G. A.	29
Горшкова Н. В.	13	Мельников В. Н.	58
Gorshkova N. V.	14	Melnikov V. N.	59
Гусейнов Р. Г.	72	Миннебаев Д. Д.	119
Guseinov R. G.	75	Minnebaev D. D.	121
Дивин А. В.	16, 20, 21	Миронов В. Л.	130
Divin A. V.	16, 20, 21	Mironov V. L.	131
Добрынина А. А.	17	Мичурин А. В.	128
Dobrynina A. A.	19	Michurin A. V.	129
Дятлова Е. В.	134	Муравьев Л. А.	60, 63
Dyatlova E. V.	134	Muravyev L. A.	62, 65
Егорова А. В.	103	Мусин М. В.	69, 107
Egorova A. V.	104	Musin M. V.	71, 109
Емельянов В. С.	72	Мясникова М. А.	9
Emelyanov V. S.	75	Muasnikova M. A.	11
Ермолин Е. Ю.	76	Нилов М. Ю.	122
Ermolin E. Y.	78	Nilov M. Yu.	123
Жолондз А. С.	47	Новикова П. Н.	67, 128
Zholondz A. S.	48	Novikova P. N.	68, 129
Зайцев И. В.	16, 20, 21	Нурғалиев Р. Р.	63
Zaitsev I. V.	16, 20, 21	Nurgaliev R. R.	65

Половков В. В.	69, 107	Симанов А. А.	128
Polovkov V. V.	71, 109	Simanov A. A.	129
Попов Д. А.	69, 107	Слепышев А. А.	97, 100
Porov D. A.	71, 109	Slepyushev A. A.	99, 102
Попов И. В.	124	Султангалеев Р. Р.	37
Porov I. V.	126	Sultangaleev R. R.	38
Попов С. В.	93	Суханов Р. А.	79
Porov S. V.	95	Sukhanov R. A.	82
Пугин А. В.	128	Тарасенко Е. М.	83
Pugin A. V.	129	Tarasenko E. M.	84
Редькин И. А.	63	Тарасова О. А.	85
Red'kin I. A.	65	Tarasova O. A.	87
Родионов А. И.	130	Терновский В. А.	63
Rodionov A. I.	131	Ternovsky V. A.	65
Романевич К. В.	113	Титов А. В.	132, 134
Romanevich K. V.	116	Titov A. V.	132, 134
Рябова С. А.	30, 32	Трошин В. А.	124
Riabova S. A.	31, 33	Troshin V. A.	126
Рязанцев П. А.	130	Хохлова В. В.	88, 128
Ryazantsev P. A.	131	Khokhlova V. V.	90, 129
Салихов Т. М.	119	Цидаев А. Г.	6
Salikhov T. M.	121	Tsidaev A. G.	8
Салищев М. В.	110	Черненко Ю. И.	119
Salischev M. V.	112	Chernenko Yu. I.	121
Семенов В. С.	16, 20, 21	Шаткевич С. Ю.	91
Semenov V. S.	16, 20, 21	Shatkevich S. Y.	92
Семинский И. К.	72	Шляев С. А.	113
Seminsky I. K.	75	Shlyayev S. A.	116
Сенчина Н. П.	76	Яшина В. Н.	9
Senchina N. P.	78	Yashina V. N.	11
Середкина А. И.	34		
Seredkina A. I.	35		

СОДЕРЖАНИЕ  
CONTENTS

**1 СЕКЦИЯ  
ФИЗИКА ЗЕМЛИ**

**I SECTION  
PHYSICS OF THE EARTH**

<b>ОСОБЕННОСТИ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ И ПРОЯВЛЕНИЕ В ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЯХ РЕГИОНАЛЬНЫХ СДВИГОВЫХ ГРАНИЦ. СРАВНЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОРФОЛОГИИ ТРАНСФОРМНОГО РАЗЛОМА САН-АНДРЕАС И БАЙКАЛО-СТАНОВОГО ХРЕБТА</b> Ageev A. S. ....	3
<b>FEATURES OF THE DEEP STRUCTURE AND EXPRESSION IN THE FIELDS OF REGIONAL GEOPHYSICAL SHIFT BOUNDARIES. COMPARISON OF THE MAIN PARAMETERS OF THE MORPHOLOGY TRANSFORM THE SAN ANDREAS FAULT AND THE BAIKAL-STANOVY RANGE</b> Ageev A. S. ....	4
<b>ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОКИСЛОВ АЗОТА И ОЗОНА С УЧЕТОМ ВСПЫШЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ</b> Ахмадиев Р. Ш. ....	5
<b>SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION OF NITROGEN OXIDES AND OZONE DURING SOLAR PROTON EVENTS</b> Akhmadiev R. Sh. ....	5
<b>МЕТОДИКА УТОЧНЕНИЯ ПЛОТНОСТНОЙ 3D МОДЕЛИ ВЕРХНЕЙ МАНТИИ С УЧЕТОМ УСЛОВИЯ ИЗОСТАТИЧЕСКОЙ КОМПЕНСАЦИИ НА ГЛУБИНЕ</b> Бызов Д. Д., Цидаев А. Г. ....	6
<b>METHOD FOR 3D DENSITY REFINEMENT FOR UPPER MANTLE MODEL IN CONDITIONS OF ISOSTATIC COMPENSATION AT THE DEPTH</b> Byzov D. D., Tsidaev A. G. ....	8
<b>МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ РАСЧЛЕНЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА И ВЫДЕЛЕНИЯ ОРГАНОГЕННЫХ ПОСТРОЕК ПО ДАННЫМ ГИС НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТИМАНО-ПЕЧОРСКОЙ ПРОВИНЦИИ</b> Васильев Н. Я., <u>Маркова С. И.</u> , Мясникова М. А., Яшина В. Н. ....	9
<b>INSTRUCTIONAL METHODS OF DISMEMBERMENT OF GEOLOGICAL CROSS-SECTION AND ALLOCATION OF ORGANOGENIC STRUCTURES BY WELL LOGGING ACCORDING TO THE EXAMPLE OF TIMAN-PECHORA PROVINCE'S FIELDS</b> Vasilev N. Y., <u>Markova S. I.</u> , Myasnikova M. A., Yashina V. N. ....	11

<b>ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ ИМПАКТНЫХ ПОРОД АСТРОБЛЕМЫ ЯНИСЪЯРВИ</b>	
Горшкова Н. В. ....	13
<b>STUDIES OF MAGNETIC SUSCEPTIBILITY OF IMPACT ROCKS FROM YANISYARVI ASTROBLEME</b>	
Gorshkova N. V. ....	14
<b>ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПЕРЕСОЕДИНЕНИЯ: ВЛИЯНИЕ ХОЛОДНОЙ ИОННОЙ КОМПОНЕНТЫ</b>	
<u>Дивин А. В.</u> , Зайцев И. В., Семенов В. С., Коровинский Д. ....	16
<b>NUMERICAL SIMULATIONS OF MAGNETIC RECONNECTION IN KINETIC APPROACH IN THE PRESENCE OF COLD IONS</b>	
<u>Divin A. V.</u> , Zaitsev I. V., Semenov V. S., Korovinskiy D. ....	16
<b>СЕЙСМИЧЕСКАЯ ДОБРОТНОСТЬ КАК ИНДИКАТОР СОВРЕМЕННОЙ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ</b>	
Добрынина А. А., <u>Воскресенский А. Г.</u> ....	17
<b>THE SEISMIC QUALITY FACTOR AS A PRESENT-DAY TECTONIC ACTIVITY INDICATOR IN THE BAIKAL RIFT SYSTEM</b>	
Dobrynina A. A., <u>Voskresensky A. G.</u> ....	19
<b>ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПАДА ТОКОВОГО СЛОЯ НА МАГНИТОПАУЗЕ В ПРОЦЕССЕ МАГНИТНОГО ПЕРЕСОЕДИНЕНИЯ</b>	
<u>Зайцев И. В.</u> , Дивин А. В., Семенов В. С. ....	20
<b>NUMERICAL SIMULATIONS OF DECAY OF THE CURRENT SHEET AT THE MAGNETOPAUSE DURING MAGNETIC RECONNECTION EVENTS</b>	
<u>Zaitsev I. V.</u> , Divin A. V., Semenov V. S. ....	20
<b>КИНЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КВАДРУПОЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ С СОЛНЕЧНЫМ ВЕТРОМ</b>	
<u>Зайцев И. В.</u> , Дивин А. В., Семенов В. С., Коровинский Д. ....	21
<b>KINETIC SIMULATIONS OF A SMALL-SCALE MAGNETIC QUADRUPOLE-SOLAR WIND INTERACTION</b>	
<u>Zaitsev I. V.</u> , Divin A. V., Semenov V. S., Korovinskiy D. ....	21
<b>РЕКОНСТРУКЦИЯ ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ УЧАСТКА АРЧИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ ПРОГНОЗА ЗОН ПОВЫШЕННОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ</b>	
Зиганшина Р. А. ....	22
<b>RECONSTRUCTION OF STRESS FIELD OF ARCHINSK FIELD'S SITE TO FORECAST ZONES OF FRACTURING</b>	
Ziganshina R. A. ....	24
<b>ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОКСИЛА ВОДОРОДА С УЧЁТОМ ВСПЫШЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ</b>	
Карагодин А. В. ....	25
<b>SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION OF HYDROXIDE DURING SOLAR PROTON EVENTS</b>	
Karagodin A. V. ....	25

<b>СКОРОСТНАЯ СТРУКТУРА ВЕРХНЕЙ МАНТИИ ЕВРОПЫ ПО ДАННЫМ ШУМОВОЙ ПОВЕРХНОСТНО-ВОЛНОВОЙ ТОМОГРАФИИ</b> Королева Т. Ю. ....	26
<b>THE UPPER MANTLE VELOCITY STRUCTURE OF THE EUROPE FROM THE FROM THE AMBIENT NOISE SURFACE WAVE TOMOGRAPHY</b> Koroleva T. Yu. ....	27
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ СЕЙСМИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА МЕТОДОМ РЕФРАГИРОВАННЫХ ВОЛН</b> Кузнецова А. В. ....	28
<b>DETERMINATION VELOCITY CHARACTERISTICS OF A NEAR SURFACE SEISMIC SECTION BY DIVING WAVES METHOD</b> Kuznetsova A. V. ....	28
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ФАЗЫ МАГНИТОСФЕРНОЙ СУББУРИ ПО ДАННЫМ ГЛОБАЛЬНОГО МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ</b> Мачеев Г. А. ....	29
<b>MAGNETOSPHERIC SUBSTORM GROWTH PHASE TIMING USING GLOBAL MAGNETOHYDRODYNAMIC MODELING</b> Macheev G. A. ....	29
<b>АНАЛИЗ ВАРИАЦИЙ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СРЕДНЕШИРОТНЫХ ОБСЕРВАТОРИЯХ</b> Рябова С. А. ....	30
<b>ANALYSIS OF VARIATION OF GEOMAGNETIC FIELD AT THE MID-LATITUDE OBSERVATORIES</b> Riabova S. A. ....	31
<b>УСТАНОВЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ СЕЙСМИЧЕСКИМ ФОНОМ И ГЕОМАГНИТНЫМИ ВАРИАЦИЯМИ НА СРЕДНЕШИРОТНОЙ ОБСЕРВАТОРИИ</b> Рябова С. А. ....	32
<b>ESTABLISHING THE POSSIBLE RELATIONSHIP BETWEEN SEISMIC BACKGROUND AND GEOMAGNETIC VARIATIONS AT THE MID-LATITUDE OBSERVATORY “MIKHNEVO”</b> Riabova S. A. ....	33
<b>АНИЗОТРОПНЫЕ СВОЙСТВА ВЕРХНЕЙ МАНТИИ АЗИИ ПО ДАННЫМ О ДИСПЕРСИИ ВОЛН РЭЛЕЯ И ЛЯВА</b> Середкина А. И. ....	34
<b>UPPER MANTLE ANISOTROPY IN ASIA FROM THE DISPERSION OF RALEIGH AND LOVE WAVES</b> Seredkina A. I. ....	35
<b>ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА</b> Султангалеев Р. Р. ....	37
<b>ESTIMATION OF SEISMIC WAVES PARAMETERS WITH APPLICATION OF A GENETIC ALGORITHM</b> Sultangaleev R. R. ....	38

**II СЕКЦИЯ**

**РЕГИОНАЛЬНАЯ, ПОИСКОВО-КАРТИРОВОЧНАЯ И  
РАЗВЕДОЧНАЯ ГЕОФИЗИКА**

**(УГЛЕВОДОРОДЫ И ТВЕРДЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ)**

**II SECTION**

**REGIONAL, PROSPECTING AND EXPLORATION GEOPHYSICS  
(HYDROCARBONS AND MINERAL RESOURCES)**

**ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДА АМТЗ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ ПРИЗНАКОВ  
ЛОКАЛИЗАЦИИ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В  
УГЛЕРОДИСТО-ТЕРРИГЕННЫХ ТОЛЩАХ**

Горбунов А. А. .... 40

**POSSIBILITIES OF THE AMT SOUNDING METHOD AT THE  
ALLOCATION OF GOLD DEPOSITS ATTRIBUTES IN CARBON-  
TERRIGENOUS ROCKS**

Gorbunov A. A. .... 43

**КОРРЕКЦИЯ КИНЕМАТИКИ ВОЛНОВОГО ПОЛЯ В ЗАДАЧЕ  
КОМПЕНСАЦИИ ПЕРЕМЕННОГО РЕЛЬЕФА ДНЕВНОЙ  
ПОВЕРХНОСТИ**

Горелик Г. Д. .... 44

**CORRECTION OF WAVE FIELD IN THE PROBLEM OF  
COMPENSATION OF VARIABLE SURFACE**

Gorelik G. D. .... 46

**НОВЫЕ ДАННЫЕ О СТРОЕНИИ ШЕЛЬФА ПРИЯМАЛЬСКОЙ ЧАСТИ  
КАРСКОГО МОРЯ**

Жолондз А. С. .... 47

**NEW FINDINGS ABOUT STRUCTURE OF THE NEAR-YAMAL  
PART OF THE KARA SEA**

Zholondz A. S. .... 48

**ПРИМЕНЕНИЕ 1D И 2D БАСЕЙНОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ  
ИССЛЕДОВАНИИ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЮЖНО-КАРСКОЙ  
ВПАДИНЫ**

Кишанков А. В. .... 49

**1D AND 2D BASIN MODELING IN STUDYING THE  
PETROLEUM POTENTIAL OF THE SOUTH KARA BASIN**

Kishankov A. V. .... 51

**ОДНОМЕРНОЕ И ДВУМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ  
МНОГОЭЛЕКТРОДНОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ С УСТАНОВКОЙ МВСК**

Колесников В. Е. .... 52

**1D AND 2D MODELING OF RESULTS OF MISC MULTI-ELECTRODE  
ARRAY DC RESISTIVITY INVESTIGATIONS**

Kolesnikov V. E. .... 53

<b>УТОЧНЕНИЕ МОДЕЛИ СТРОЕНИЯ ВЕРХНЕДЕВОНСКОГО ПРИРОДНОГО РЕЗЕРВУАРА НА МАДАГАШОРСКОЙ ПЛОЩАДИ (ТИМАНО-ПЕЧОРСКАЯ ПРОВИНЦИЯ)</b>	
Мартынов Э. А. ....	54
<b>REFINING OF THE STRUCTURAL MODEL OF THE UPPER DEVONIAN RESERVOIR IN MADAGASHOR ARIA (TIMAN-PECHORA)</b>	
Martynov E. A. ....	57
<b>ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТАНГЕНСА СДВИГА ФАЗ ВП ОТ ЧАСТОТЫ</b>	
Мельников В. Н. ....	58
<b>A STUDY OF ANGLE SHIFT TANGENT OF IP IN DEPENDENCE OF FREQUENCY</b>	
Melnikov V. N. ....	59
<b>ОБЩЕЗЕМНЫЕ ВЫСОТНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ</b>	
Муравьев Л. А. ....	60
<b>GLOBAL DIGITAL ELEVATION DATA FOR REGIONAL GEOPHYSICAL MODELLING</b>	
Muravyev L. A. ....	62
<b>МЕТОДИКА НАЗЕМНОЙ МАГНИТОРАЗВЕДКИ ПРИ ПОИСКАХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА НА ТОХТИНСКОЙ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ, МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ</b>	
<u>Муравьев Л. А., Терновский В. А., Редькин И. А., Нурғалиев Р. Р.</u> ....	63
<b>GROUND MAGNETIC SURVEY IN SEARCH OF ORE GOLD DEPOSITS ON TONTO PROSPECTIVE AREA, MAGADAN REGION</b>	
<u>Muravyev L. A., Ternovsky V. A., Red'kin I. A., Nurgaliev R. R.</u> ....	65
<b>РЕШЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ МАГНИТОРАЗВЕДКИ МОНТАЖНЫМ МЕТОДОМ</b>	
Новикова П. Н. ....	67
<b>DIMENSIONAL INVERSE PROBLEM SOLUTION OF MAGNETIC EXPLORATION BY FITTING METHOD</b>	
Novikova P. N. ....	68
<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СТРОЕНИЯ КОНСОЛИДИРОВАННОЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ</b>	
<u>Попов Д. А., Половков В. В., Мусин М. В.</u> ....	69
<b>SEISMIC PHYSICAL MODELING FOR CONSOLIDATED CRUST STUDIES</b>	
<u>Popov D. A., Polovkov V. V., Musin M. V.</u> ....	71

<b>ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕРА ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В МЕТОДЕ ЗСБ ДЛЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ</b>	
<u>Семи́нский И. К.</u> , Емельянов В. С., Гусейнов Р. Г., Буддо И. В. ....	72
<b>SELECTING THE OPTIMAL SIZE OF TEM METHOD FOR GEOLOGICAL CONDITIONS IN EASTERN SIBERIA</b>	
<u>Seminsky I. K.</u> , Emelyanov V. S., Guseinov R. G., Buddo I. D. ....	75
<b>РОЛЬ ГРАВИРАЗВЕДКИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ВУЛКАНОГЕННЫХ СТРУКТУР, СОПРЯЖЕННЫХ С ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНЫМ ЭПИТЕРМАЛЬНЫМ ОРУДЕНЕНИЕМ</b>	
<u>Сенчина Н. П.</u> , Ермолин Е. Ю. ....	76
<b>THE ROLE OF GRAVITY SURVEY IN VOLCANIC STRUCTURES WITH GOLD-SILVER EPITHERMAL MINERALIZATION PROSPECTING</b>	
<u>Senchina N. P.</u> , Ermolin E. Y. ....	78
<b>ПРИМЕНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ИНВЕРСИИ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ЗОН УЛУЧШЕННЫХ КОЛЛЕКТОРСКИХ СВОЙСТВ В НИЖНЕМЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ PENOBSCOT, НОВАЯ ШОТЛАНДИЯ</b>	
<u>Суханов Р. А.</u> ....	79
<b>APPLYING ACOUSTIC INVERSION FOR DETERMINING OF ZONES WITH IMPROVED RESERVOIR PROPERTIES IN THE LOWER CRETACEOUS SEDIMENTS ON PENOBSCOT TERRITORY, NOVA SCOTIA</b>	
<u>Sukhanov R. A.</u> ....	82
<b>ВЫЯВЛЕНИЕ НЕСТАНДАРТНЫХ ЛОВУШЕК УВ В СЛОЖНЫХ СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ С ПОМОЩЬЮ ПЛАСТОВОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ИНВЕРСИИ</b>	
<u>Тарасенко Е. М.</u> ....	83
<b>IDENTIFYING OF UNCONVENTIONAL HYDROCARBON TRAPS IN COMPLICATED GEOLOGICAL CIRCUMSTANCES BY ACOUSTIC STRATUM INVERSION</b>	
<u>Tarasenko E. M.</u> ....	84
<b>СОЗДАНИЕ НОРМАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТНОЙ МОДЕЛИ КОНСОЛИДИРОВАННОЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПО КОМПОЗИЦИОННОМУ ПРОФИЛЮ 2ДВ-5АР</b>	
<u>Тарасова О. А.</u> ....	85
<b>THE CREATION A NORMAL DENSITY MODEL OF THE CONSOLIDATED EARTH'S CRUST ALONG THE "2DV-5AR" PROFILE</b>	
<u>Tarasova O. A.</u> ....	87
<b>НЕОБХОДИМОСТЬ УЧЕТА СФЕРИЧНОСТИ ЗЕМЛИ ПРИ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКЕ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ</b>	
<u>Хохлова В. В.</u> ....	88
<b>THE NEED TO INTEGRATE EARTH'S SPHERICITY IN PRIMARY PROCESSING OF THE GRAVITY DATA</b>	
<u>Khokhlova V. V.</u> ....	90

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗНОРАНГОВЫХ УРАНОНОСНЫХ ОБЪЕКТОВ В  
ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОЛЯХ**

Шаткевич С. Ю. ....91

**MODELING OF DIFFERENT RANKS URANIUM-BEARING OBJECTS IN  
POTENTIAL FIELDS**

Shatkevich S. Y. .... 92

**III СЕКЦИЯ  
МОРСКАЯ И ПОЛЯРНАЯ ГЕОФИЗИКА**

**III SECTION  
SEA AND POLAR GEOPHYSICS**

<b>ОБЗОР ОТЕЧЕСТВЕННЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В АНТАРКТИДЕ</b> Попов С. В. ....	93
<b>REVIEW OF THE RUSSIAN RADIO-ECHO SOUNDING INVESTIGATIONS IN ANTARCTICA</b> Popov S. V. ....	95
<b>ПЕРЕНОС ИМПУЛЬСА ИНЕРЦИОННО-ГРАВИТАЦИОННЫМИ ВНУТРЕННИМИ ВОЛНАМИ В ГИБРАЛТАРСКОМ ПРОЛИВЕ.</b> <u>Багатинский В. А.</u> , Слепышев А. А. ....	97
<b>MOMENTUM TRANSFER BY INERTIAL-GRAVITY INTERNAL WAVES IN THE STRAIT OF GIBRALTAR</b> <u>Bogatinsky V. A.</u> , Slepyshev A. A. ....	99
<b>ВОЛНОВЫЕ ПОТОКИ ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ИНЕРЦИОННО-ГРАВИТАЦИОННЫМИ ВНУТРЕННИМИ ВОЛНАМИ</b> <u>Воротников Д. И.</u> , Слепышев А. А. ....	100
<b>THE VERTICAL FLUXES INDUCED BY INERTIAL-GRAVITATIONAL INTERNAL WAVES</b> <u>Vorotnikov D. I.</u> , Slepyshev A. A. ....	102
<b>СЕЙСМОСТРАТИГРАФИЯ ЕВРАЗИЙСКОГО БАСЕЙНА СЕВЕРНОГО ЛЕДОВОГО ОКЕАНА, НА ПУТИ СОЗДАНИЯ СВОДНОЙ ШКАЛЫ</b> Егорова А. В. ....	103
<b>SEISMIC STRATIGRAPHY OF THE EURASIAN BASIN, ARCTIC OCEAN TO THE CREATION OF THE GENERAL SCALE</b> Egorova A. V. ....	104
<b>ПРЕИМУЩЕСТВА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ МОВ-4С ПРИ ПОМОЩИ ДОННЫХ СТАНЦИЙ В ТРАНЗИТНОЙ ЗОНЕ</b> Зимовский А., <u>Матвеев И. А.</u> ....	105
<b>ADVANTAGES OF MULTI-COMPONENT 4C SURVEY BY SEISMIC REFLECTION (CDP) IN TRANSITION ZONE WITH USE OF AUTONOMOUS BOTTOM STATIONS</b> Zimovskiy A. V., <u>Matveev I. A.</u> ....	106
<b>ПРИРОДА СЕЙСМИЧЕСКИХ ОТРАЖЕНИЙ В КОНСОЛИДИРОВАННОЙ КОРЕ</b> <u>Половков В. В.</u> , Попов Д. А., Мусин М. В. ....	107
<b>ORIGIN OF SEISMIC REFLECTIONS IN THE CONSOLIDATED CRUST</b> <u>Polovkov V. V.</u> , Popov D. A., Musin M. V. ....	109

<b>УСЛОВИЕ РАВЕНСТВА НИЗКОЧАСТОТНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ СТАТИЧЕСКИХ ПОПРАВК ИСТОЧНИКОВ И ПРИЕМНИКОВ, КАК ФАКТОР ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЙ В МОГТ</b>	
Салищев М. В. ....	110
<b>CONDITIONS OF EQUALITY LOW-FREQUENCY SOURCE AND RECEIVER STATIC AS A FACTOR OF OPTIMIZATION OF CDP OBSERVATION</b>	
Salischev M. V. ....	112

**IV СЕКЦИЯ**

**ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОФИЗИКА, ГЕОФИЗИКА В  
ГИДРОГЕОЛОГИИ И ГЕОЭКОЛОГИИ**

**IV SECTION**

**EXPLORATION GEOPHYSICS, GEOPHYSICS IN  
HYDROGEOLOGY AND GEOECOLOGY**

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ  
ЕСТЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В  
ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЯХ ЛИНИИ СОЧИ –  
КРАСНАЯ ПОЛЯНА**

Басов А. Д., Романевич К. В., Шляев С. А. .... 113

**AUTOMATED REGISTRATION SYSTEM OF NATURAL  
ELECTROMAGNETIC RADIATION IN TRANSPORT TUNNELS  
OF SOCHI – KRASNAYA POLYANA LINE**

Basov A. L., Romanovich K. V., Shlyayev S. A. .... 116

**ГЕОРАДАР В ИЗУЧЕНИИ БОЛОТНЫХ МАССИВОВ**

Бричёва С. С., Матасов В. М. .... 117

**THE GPR IN WETLAND STUDIES**

Bricheva S. S., Matasov V. M. .... 117

**ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОРАДАРНОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ  
АКВАТОРИИ ОЗЕРА СУУРИ (ЛЕНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

Миннебаев Д. Д., Салихов Т. М., Черненко Ю. И. .... 119

**MAIN RESULTS OF GPR INVESTIGATIONS OF THE LAKE SUURI,  
LENINGRAD REGION**

Minnebaev D. D., Salikhov T. M., Chernenko Yu. I. .... 121

**АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ ПРИ  
ПРОКЛАДКЕ ТРУБОПРОВОДОВ МЕТОДОМ  
НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ**

Нилов М. Ю. .... 122

**AN ASPECTS OF GPR APPLICATION FOR DIRECTIONAL DRILLING  
PIPELINES**

Nilov M. Yu. .... 123

**РАДИОМЕТРИЧЕСКИЕ И ЯДЕРНО-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ  
МЕТОДЫ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ РАДИАЦИОННОЙ  
БЕЗОПАСНОСТИ ОТВОДА ЗЕМЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ ПРИ  
СТРОИТЕЛЬСТВЕ В ПЕТЕРБУРГЕ И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Попов И. В., Трошин В. А., Волков А. П. .... 124

**RADIOMETRIC AND NUCLEAR SPECTROMETRIC METHODS  
FOR ENSURING RADIATION SAFETY OF THE ALLOTMENT OF  
TERRITORYS FOR CONSTRUCTION IN ST. PETERSBURG REGION**

Popov I. V., Troshin V. A., Volkov A. P. .... 126

<b>ГРАВИМЕТРИЧЕСКИЕ И МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИСТОРИКО-ПРИРОДНОГО КОМПЛЕКСА «ЛЕДЯНАЯ ГОРА И КУНГУРСКАЯ ЛЕДЯНАЯ ПЕЩЕРА»</b>	
<u>Пугин А. В.</u> , Мичурин А. В., Симанов А. А., Хохлова В. В., Новикова П. Н. ....	128
<b>GRAVIMETRICAL AND MAGNETIC EXPLORATION OF HISTORICAL- NATURAL COMPLEX “ICE MOUNTAIN AND KUNGUR ICE CAVE”</b>	
<u>Pugin A. V.</u> , Michurin A. V., Simanov A. A., Khohlova V. V., Novikova P. N. ....	129
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ БОЛОТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МЕТОДОМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ</b>	
<u>Рязанцев П. А.</u> , Миронов В. Л., Родионов А. И. ....	130
<b>GPR INVESTIGATION OF BOG SEDIMENTS STRUCTURE</b>	
<u>Ryazantsev P. A.</u> , Mironov V. L., Rodionov A. I. ....	131
<b>СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГЛУБИННОСТИ ГЕОРАДАРОВ</b>	
Титов А. В. ....	132
<b>GPR DEPTH OF INVESTIGATION: A COMPARATIVE ANALYSIS</b>	
Titov A. V. ....	132
<b>ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ ДЛЯ СТРУКТУРНО- ЛИТОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ ОЗЕРНЫХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ</b>	
<u>Титов А. В.</u> , Дятлова Е. В. ....	134
<b>APPLICATION OF GPR TO THE STRUCTURAL AND LITHOLOGICAL MAPPING OF LAKE SEDIMENTS</b>	
<u>Titov A. V.</u> , Dyatlova E. V. ....	134
<b>АФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ</b> .....	136
<b>INDEX OF AUTHORS</b> .....	136

Научное издание

«ГЕОФИЗИКА-2015»  
X Международной научно-практической конкурс-  
конференция молодых специалистов

Тезисы докладов

Оригинал-макет подготовлен  
в Санкт-Петербургском отделении  
Евро-Азиатского геофизического общества (СПО ЕАГО)  
По материалам, предоставленным авторами.

Компьютерная верстка Т. А. Кудрявцевой, В. А. Птицына

Издательство ВВМ  
190000, Санкт-Петербург, ул. Декабристов, д. 6, литер А, пом. 10-н  
vmpub@yandex.ru

Подписано в печать 01.10.2015. Формат  $60 \times 84 \frac{1}{16}$ .  
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 8,66. Тираж 100 экз. Заказ № 069.

---

Отпечатано в Издательстве ВВМ .  
198095, Санкт-Петербург, ул. Швецова, 41.

**Приносим  
глубокую  
благодарность  
всем  
участникам  
и  
спонсорам  
конференции  
“ГЕОФИЗИКА - 2015”**



**5 - 9 октября 2015  
Санкт-Петербург  
(Петергоф)**



**Schlumberger**



**EAGE**

**ОРГКОМИТЕТ**