

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ИНСТИТУТ ГЕОФИЗИКИ УРО РАН
ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ УРО РАН
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

XXVII

УРАЛЬСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА ПО ГЕОФИЗИКЕ

ЕКАТЕРИНБУРГ

23-27 МАРТА
2026

СБОРНИК
НАУЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

ЕКАТЕРИНБУРГ
2026

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Уральское отделение Российской академии наук
Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН
Горный институт УрО РАН
Уральский государственный горный университет

ДВАДЦАТЬ СЕДЬМАЯ УРАЛЬСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА ПО ГЕОФИЗИКЕ

Сборник научных материалов

Екатеринбург
2026

УДК 550.083

XXVII Уральская молодежная научная школа по геофизике. Сборник научных материалов. – Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2026, 107 с.

В сборнике приведены доклады, представленные на Двадцать седьмой Уральской молодежной научной школе по геофизике, состоявшейся в г. Екатеринбурге с 23 по 27 марта 2026 г. Представленные материалы посвящены рассмотрению широкого круга вопросов современной геофизики, таких как: закономерности строения, геодинамической эволюции земной коры на основе геолого-геофизических данных; геофизические поля и процессы, интерпретация геофизических данных; геофизическая аппаратура и геоинформационные технологии; геофизические методы исследования для решения инженерно-экологических задач.

Сборник способствует повышению уровня научных исследований и расширение научного кругозора молодых ученых, аспирантов, магистрантов и студентов, специализирующихся в области наук о Земле.

Редактор:

Кандидат геолого-минералогических наук Козлова Ирина Анатольевна
(Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург)

Редакционная коллегия:

Кандидат физико-математиченских наук Антипин Александ Николаевич
(Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург)
Кандидат технических наук Шулаков Денис Юрьевич
(ПФИЦ Горный институт УрО РАН, г. Пермь)

Рецензенты:

Доктор геолого-минералогических наук Демежко Дмитрий Юрьевич
(Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН, г. Екатеринбург)
Доктор физико-математических наук Шестаков Алексей Федорович
(Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН, г. Екатеринбург)

© ИГФ УрО РАН, 2026

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ:

Козлова И.А. – к.г.-м.н., директор, Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург
Антипин А.Н. – к.ф.-м.н., зам. директора по научной работе, Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург
Мартышко П.С. – член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н., г.н.с., Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург
Маловичко А.А. – член-корреспондент РАН, д.т.н., Единая геофизическая служба РАН, г. Обнинск
Демежко Д.Ю. – д.г.-м.н., г.н.с., Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург
Шулаков Д.Ю. – к.т.н., зав. лабораторией, Горный институт УрО РАН, г. Пермь
Талалай А.Г. – д.г.-м.н., профессор, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург
Костицын В.И. – д.т.н., профессор, Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь

МОЛОДЕЖНОЕ БЮРО:

Хацкевич Б.Д. – н.с., Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург
Косоротова Е.А. – м.н.с., Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург
Курданова А.А. – м.н.с., Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург
Дорогань У.В. – м.н.с, Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург
Факаева Н.Р. – м.н.с, Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург
Мурыськин А.С. – м.н.с., Горный Институт УрО РАН, г. Пермь
Вандышева К.В. – к.г.-м.н., доцент, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

СЕКРЕТАРЬ ОРГКОМИТЕТА:
Баженова Е.А. – н.с., Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург

Время проведения школы: 23-27 марта 2026 года

Адрес Оргкомитета:
Институт геофизики УрО РАН
Ул. Амундсена, 100, 620016 Екатеринбург
Телефон: (343) 267 88 89, 267 88 66
Факс: (343) 267 88 72
E-mail: uralschool2024@mail.ru

УДК 550. 34

СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ СЕВЕРНОЙ АРМЕНИИ ПО ПРОФИЛЯМ ГСЗ ГЮМРИ-АТАН И АСПИНДЗА-АРМАШ

Авдалян Арман Грачевич[1], Оганян Марине Ваниковна[2]
[1]arman.avdalyan.1981@mail.ru, [2]marine-0882@mail.ru
Институт Геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова НАН РА,
г. Гюмри, Республика Армения

Аннотация. В работе представлено геолого-геофизическая модель строения земной коры и верхней мантии северной Армении по профилям глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) Гюмри-Атан и Аспиндза-Армаш. Анализируются сейсмические материалы, а также другие геолого-геофизические данные по этому району. Такой комплексный подход позволяет выявить некоторые новые детали глубинного строения земной коры, уточнить ее состав, структуру и скоростной разрез и рельеф сейсмических границ.

STRUCTURE OF THE EARTH'S CRUST OF NORTHERN ARMENIA BASED ON DSS PROFILES GYUMRI–ATAN AND ASPINDZA–ARMASH

Arman Avdalyan[1], Marine Ohanyan[2]
[1]arman.avdalyan.1981@mail.ru, [2]marine-0882@mail.ru
A. Nazarov Institute of Geophysics and Engineering Seismology, NAS RA
Gyumri, Republic of Armenia

Abstract. This paper presents a geological and geophysical model of the structure of the Earth's crust and the upper mantle of northern Armenia based on deep seismic sounding (DSS) profiles Gyumri–Atan and Aspindza–Armash. Seismic data, along with other geological and geophysical information for the study area, are analyzed. This integrated approach makes it possible to identify several new features of the deep crustal structure, to refine its composition, internal structure, velocity model, and the relief of seismic boundaries.

Эффективность сейсморазведки в различных районах меняется в широких пределах и зависит в первую очередь от сейсмологических условий, от соответствия методики работ этим условиям и от технического уровня проведения полевых сейсморазведочных работ. Особенности сейсмологических условий северной части Армении заключается в сложности поверхностных и глубинных условий. При изучении земной коры сейсмический метод позволяет достаточно полно определить главные ее параметры: мощность осадочного чехла и всей коры в целом, изменение толщины основных слоев, сложенных разными по составу породами.

Геология Северной Армении характеризуется сложным складчато-глыбовым строением в пределах Малого Кавказа, активным вулканизмом четвертичного периода, наличием медно-полиметаллических месторождений и хребтами (Базумский, Вираайоц, Гугарац), чередующимися с межгорными котловинами (Лорийская, Ширакская). Регион отличается сейсмической активностью и разнообразием горных пород, от палеозойских до современных вулканических [2].

Профили глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) Аспиндза-Бавра, протяженностью около 260 км, и Гюмри-Атан, протяженностью 90 км, пересекаются вблизи города Спитак. Сейсмогеологический разрез Аспиндза-Армаш проходит через пункты Аспиндза, Ахалцихе, Бавра, Кучак, Армаш, пересекая при этом Аджаро-Триалетскую складчатую область, Ахалкалакское нагорье, Сомхетский прогиб, Ширакский синклинории, Апаранский массив, Цахкуняцкий массив, Гегамское нагорье, Нахичеванский массив,

разделенные Локско-Акдамской, Красноселск-Леджанской, Амасийской, Гарнийской и Вединской разломными зонами соответственно [1,9].

Картина распределения скоростей в земной коре вдоль профиля довольно пестрая, одновременно, с юго-востока на северо-запад по линии профиля земную кору можно разделить на три разнохарактерные части: две крайние с большими, четко выраженными волноводами в верхней части коры (9-12 км), и средний, с большим количеством чередований слоев с повышенными и пониженными скоростями, с протяженным волноводом на глубинах 30-40 км, с более глубоким залеганием границы Мохоровичича и др. В пределах обнаруживаемого в средней части земной коры, на глубине порядка 40 км, протяженного (более 100 км), низкоскоростного волновода, скорости прохождения продольных волн снижаются от 7,0 до 6,4 км/сек. Здесь же, на интервале глубин 9-22 км картина распределения значений скорости, имеют место резкие перепады, оконтуриваются разно скоростные объекты (рис. 1).

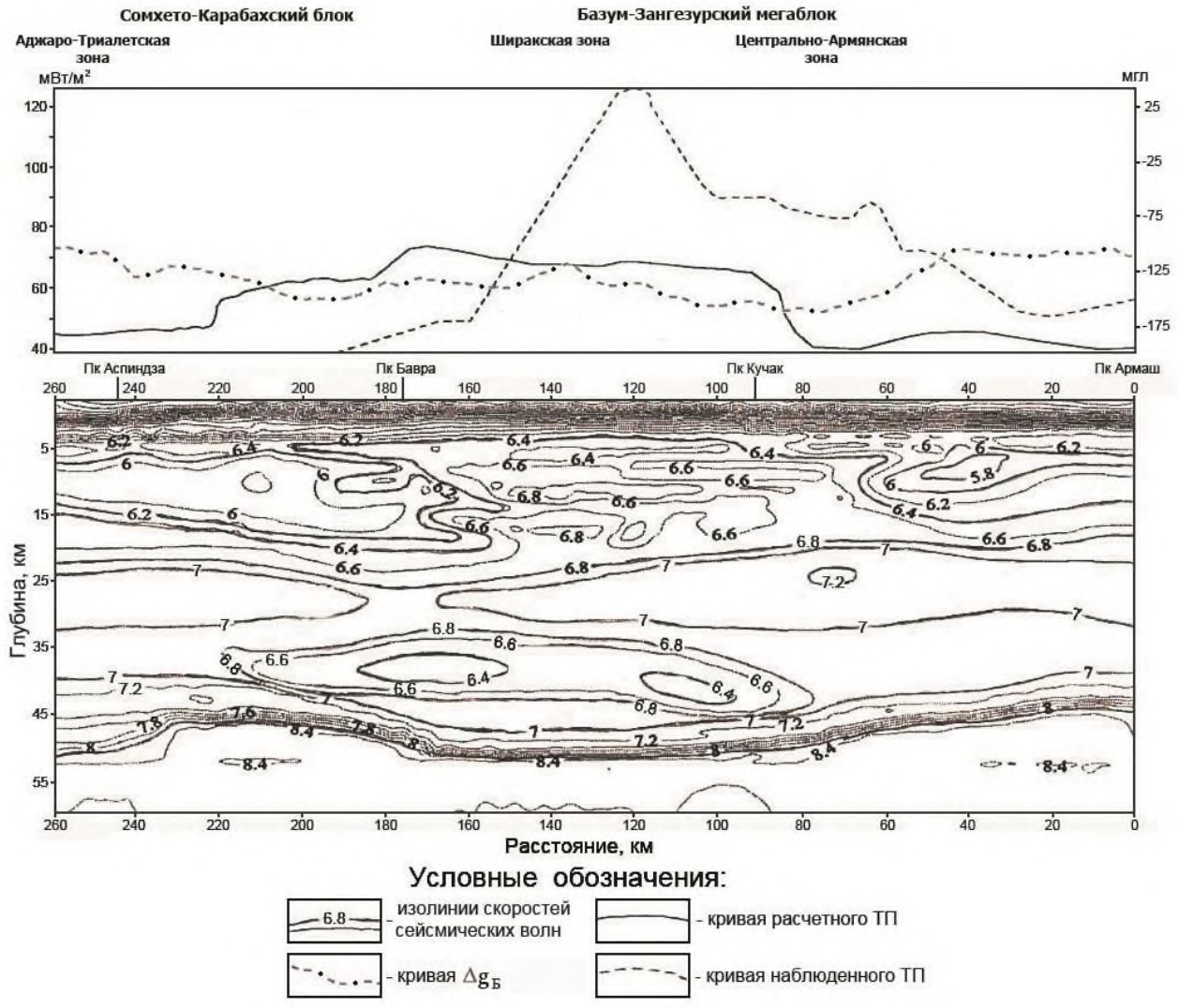


Рис. 1. Сейсмогеологический разрез по профилю Аспиндза-Армаш

На разрезе проведены изолинии скоростей прохождения продольных сейсмических волн, многочисленные отражающие и преломляющие границы, разнохарактерных тектонических нарушений, границы в земной коре, в числе которых наиболее уверенно проведены поверхность фундамента и граница Мохоровичича.

Гравитационное поле позволяет детализировать неоднородность коры по составу, выделить внедрения мантийных пород и др. Гравитационное поле позволяет исследовать

изменение состава верхней мантии, так как оно четко выражается в изменении плотности. Такие изменения и были выявлены на изученной территории. Учет гравитационного эффекта, создаваемого вулканогенно-осадочным чехлом во многих районах исследованной территории, показывает, что большинство наблюдаемых крупных отрицательных аномалий (Гюмри, Фонтанский район и др.) вызвано резким увеличением мощности сравнительно рыхлого осадочного чехла и менее плотными породами вулканогенной фации. Мощность земной коры, вычисленная по осредненным значениям аномалии Буге, соответствует величинам 42-52 км [4,7].

Сейсмоактивный слой вдоль профиля Армаш-Бавра также характеризуется мозаичной структурой распределения скоростных параметров и незначительным нарастанием скорости с глубиной. По распределению скоростных параметров слоя в горизонтальном направлении отчетливо видна смена структурных планов, выражающаяся в том, что в южной и северной частях профиля на глубинах от 5 до 15 км и более развиты пласты относительно пониженных значений скорости значительной мощности [6,8] (рис.2).

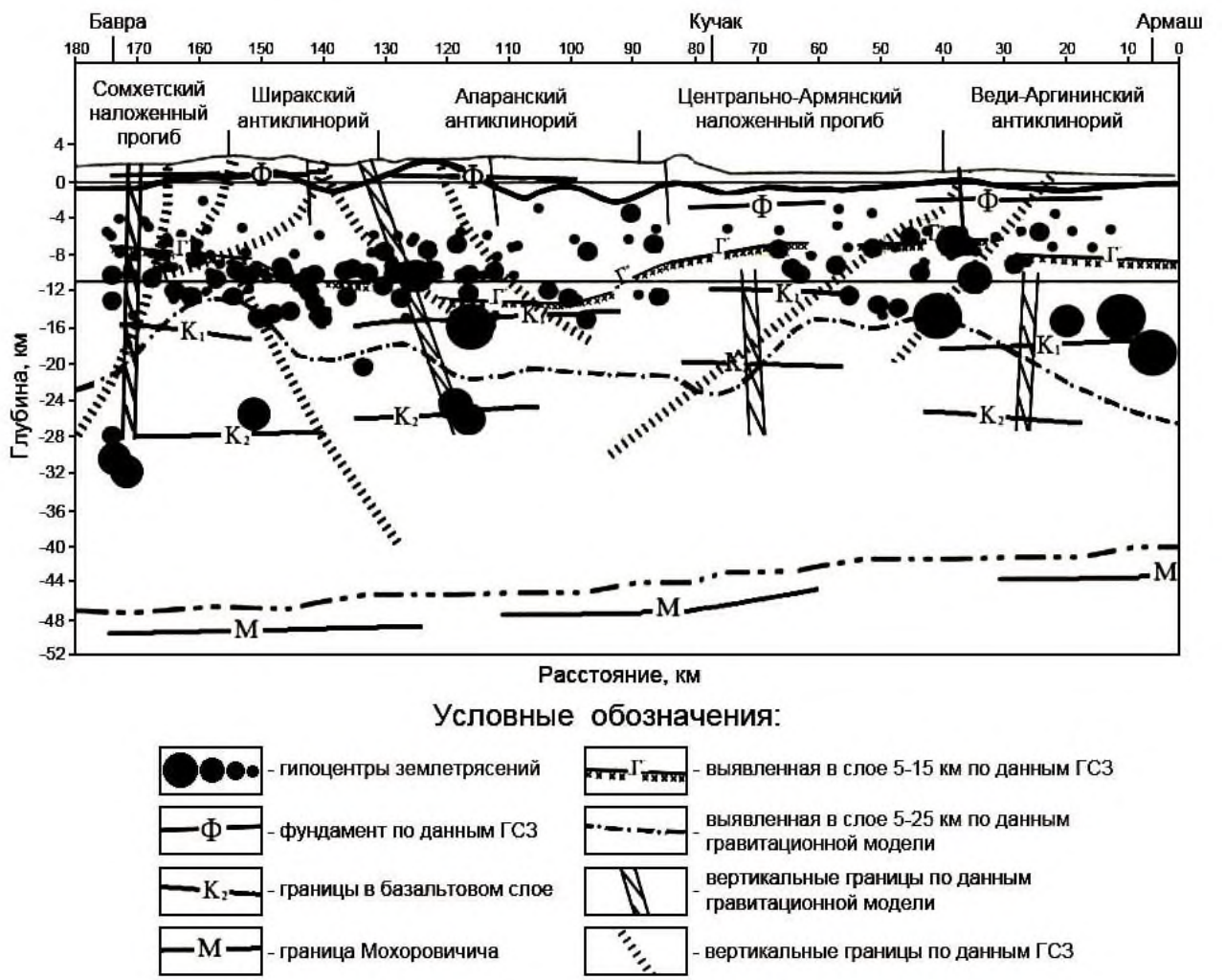


Рис. 2. Соотношение структурной модели по профилю ГСЗ Аспиндза-Армаш с гипоцентральным полем

При рассмотрении картины распределения гипоцентров землетрясений выясняется, что очаги слабых землетрясений связаны со слоями пониженных скоростей, а сильные – с пластами высоких скоростей, подстилающие слои волноводов. На среднем отрезке профиля происходит перераспределение скоростей, выражающееся в чередовании сравнительно маломощных и недостаточно выдержанных слоев пониженной скорости. К примеру, можно указать, что собственно гипоцентр Спитакского землетрясения 1988 г. приурочен к

аномальной области понижения скорости интенсивностью 0,2 км/с. залегающей на глубине 6-7 км, контролируемой Севано-Амасийской зоной разломов [3,5] (рис.3).

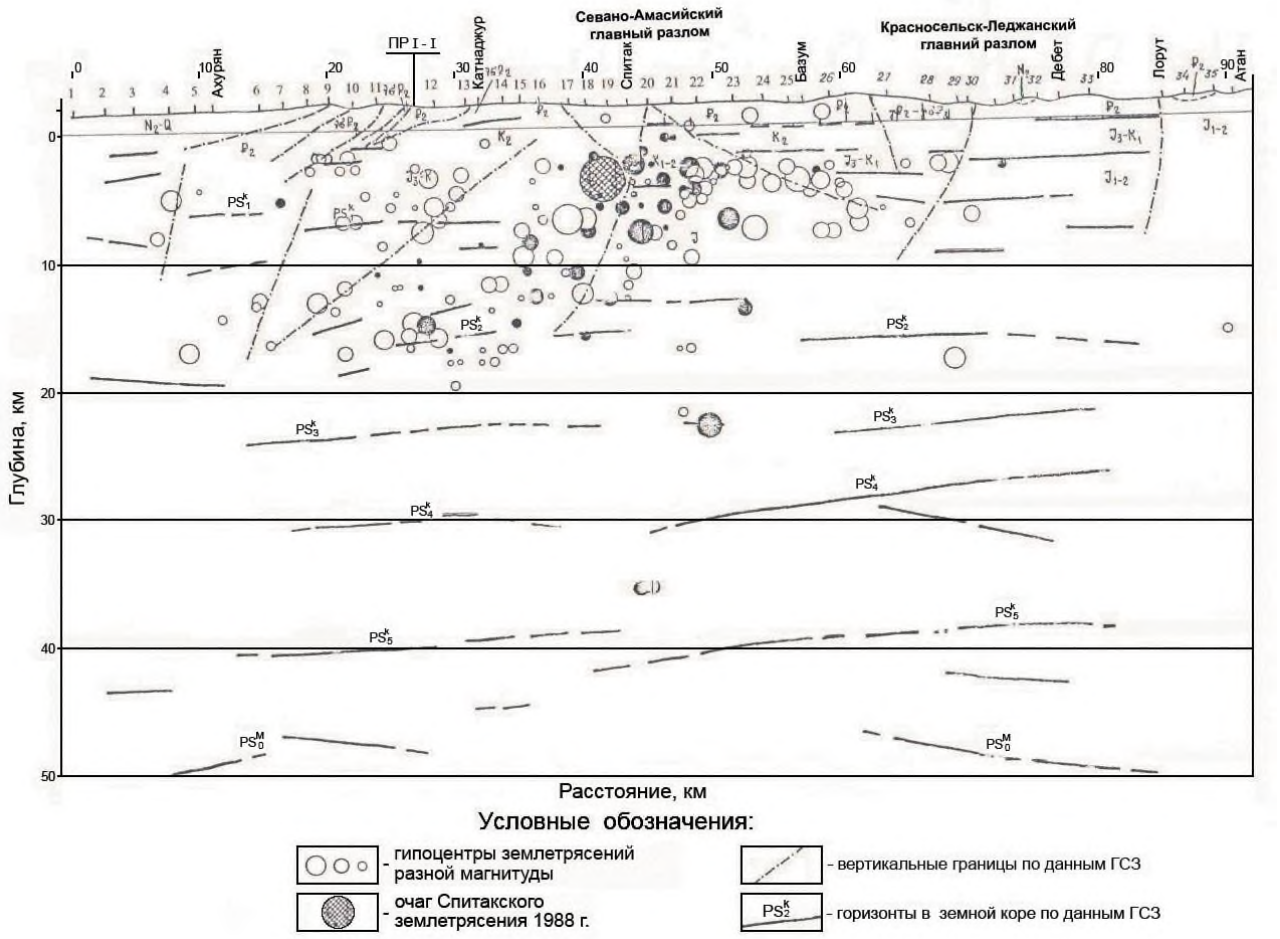


Рис. 3. Распределение гипоцентров землетрясений на профиле Гюмри-Атан

Полученные на ГСЗ профилях данные показали, что для земной коры и верхней мантии изученной территории характерна существенная неоднородность. Это выражается в изменчивости сейсмических скоростей с глубиной и в наличии резких сейсмических границ с переменным рельефом. В земной коре аномалеобразуюшими факторами являются, в основном, измененеие мощности осадочного чехла. Внутренняя структура коры для большей части северной территории Армении достаточно выдержанная. Она может быт описана тремя основными слоями: в верхней коре скорость изменяется от 6.0 до 6.4 км/с, в средней от 6.4 до 6.7 км/с, в нижней коре от 6.7 до 7.1 км/с.

Таким образом, проведенная интерпретация материалов ГСЗ по профилям Аспиндза-Бавра и Гюмри-Атан позволила выявить ряд важных особенностей структуры земной коры и верхов мантии северной части Армении, изучит скоростные характеристики среды, уточнит пространственное распределение очагов местных землетрясений. Главной особенностью коры на разрезах является четко выраженная разломная тектоника, охватывающая всю земную кору и верхи мантии. Начиная с нижнекорового слоя характер распределения плотности изменяется, корреляция с границами тектонических структур нарушается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

1. Аракелян Ф.О., Кадурин И.Н., Ракитов В.А. Глубинное строение территории Армении по данным ГСЗ и МОВЗ //Материалы девятой международной сейсмологической школы, Обнинск: ГС РАН, 2014, С. 46-48.

2. Геология Армянской ССР, Том X, «Геофизика» // Изд. АН Арм. ССР, г. Ереван, 1972, С. 125-187.
3. Назаретян С.Н., Дургарян Р.Р., Шахбекян Т.А., Григорян А.Г., Мирзоян Л.Б. Региональные разломы территории Армении по геофизическим данным и их сейсмичность. Изд. "Гитутюн" НАН РА, Ереван, 2015.- 186 с.
4. Назаров А.Г., Акопян Ц.Г. Геофизические и сейсмологические исследования строения земной коры территории Армянской ССР. Изд. АН Арм. ССР, Ереван, 1975.
5. Научно-технический отчет по теме: «Геолого-геофизические условия очаговой зоны Спитакского землетрясения 1988 г. МГ СССР, НПО «Нефтегеофизика», М., 1990, Армгеофонд, С. 109.
6. Оганесян А.О., Аветисян А.М., Авдалян А.Г. Комплексная геофизическая модель земной коры территории Армении по сейсмогеологическим данным // Сборник статей X Всероссийской молодежной конференции, г. Уфа, 2022, С. 53-57.
7. Оганесян С.М., Оганесян А.О., Гаспарян Г.С., Фиданян Ф.М. Структурно динамическая характеристика земной коры территории Армении по комплексу геофизических данных. Изв. НАН РА, Науки о Земле, 2005, LVIII, N3, с. 46-53
8. Саакян Б.В., Мурадян А.Р., Оганесян А.Л. Глубинное строение и напряженно-деформационное состояние земной коры северной Армении //Материалы IV Всероссийской молодежной геологической конференции, г. Уфа, 2016, С. 313-318.
9. Фиданян Ф.М., Оганесян А.О. Корреляционный анализ физических параметров горных пород по профилю ГСЗ Армаш-Бавра. Сб. Научных трудов конференции, посвященной 60-летию основания НАН РА (28-31 октября 2003 г., г. Гюмри), Изд-во НАН РА, г. Гюмри, 2004, С. 143-148.

УДК 550.8.023

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ФИЛЬТРАЦИОННО-ЁМКОСТНЫХ СВОЙСТВ РАЗНОТИПНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ПО ЭКСПРЕСС-ИССЛЕДОВАНИЯМ КЕРНА (НА ПРИМЕРЕ ТАС-ЮРЯХСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)

Белькович Михаил Леонидович
belkovichmikhail@yandex.ru
Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты комплексных экспресс-петрофизических исследований керна (ЭИК), выполненных на одной из скважин Тас-Юряхского нефтегазоконденсатного месторождения. Исследования охватывают три продуктивных горизонта: $Є_1bl^{o-ll}$ (Осинский), Vbk_1^{bt} (Ботуобинский) и Vcr^{tl} (Талахский). В ходе работы получен и проанализирован обширный массив данных, включающий определения открытой пористости, абсолютной проницаемости, остаточной водонасыщенности и углеводородонасыщенности, карбонатности.

COMPARATIVE ASSESSMENT OF RESERVOIR PROPERTIES IN DIFFERENT RESERVOIR TYPES USING EXPRESS CORE ANALYSIS: A CASE STUDY OF THE TAS-YURYAKH FIELD

Mikhail Belkovich
belkovichmikhail@yandex.ru
Irkutsk National Research Technical University, Russia

Abstract. The article presents the results of comprehensive express petrophysical core studies (EPCS) conducted at one of the wells of the Tas-Yuryakh oil and gas condensate field. The research covers three productive horizons: $Є_1bl^{o-ll}$ (Osinsky), Vbk_1^{bt} (Botuobinsky), and Vcr^{tl} (Talakhsky). The study obtained and analyzed an extensive dataset, including measurements of open porosity, absolute permeability, residual water and hydrocarbon saturation, carbonate content, and rock surface properties.

Эффективная и достоверная оценка фильтрационно-ёмкостных свойств (ФЕС) коллекторов является одной из ключевых задач на всех стадиях геологоразведочных работ и разработки месторождений углеводородов. От точности определения таких параметров, как пористость, проницаемость и характер насыщения, напрямую зависят подсчет запасов, построение адекватных геологических и гидродинамических моделей, а также планирование и оптимизация системы разработки [17, 18]. Особую сложность представляют собой разрезы, состоящие из разнотипных коллекторов – терригенных и карбонатных, которые могут кардинально различаться по строению пустотного пространства и, как следствие, по условиям фильтрации флюидов [3, 10].

В этом контексте особую ценность приобретают экспресс-петрофизические исследования керна (ЭИК), выполняемые непосредственно на скважине в процессе бурения [4, 6]. Они позволяют в кратчайшие сроки получить первичный массив высококачественных данных о свойствах пород, минуя длительные стадии подготовки и транспортировки образцов в стационарные лаборатории [9]. Данные ЭИК служат основой для оперативного принятия технологических решений, корректировки проектного разреза, а также являются фундаментом для последующей интерпретации данных геофизических исследований скважин (ГИС). Без надежной петрофизической привязки, которую предоставляет керн, данные ГИС могут быть неверно истолкованы, что ведет к риску недооценки или переоценки продуктивного потенциала пластов.

Оценка фильтрационно-ёмкостных свойств (ФЕС) горных пород составляет фундаментальную основу прогнозирования продуктивности и подсчёта запасов

углеводородных месторождений [1]. Теоретической базой для таких исследований служит петрофизика, устанавливающая количественные связи между физическими параметрами пород и их способностью аккумулировать и фильтровать флюиды.

Ключевыми параметрами, определяющими потенциал коллектора, являются открытая пористость ($К_п$), характеризующая объём пустотного пространства, способного содержать флюиды, и абсолютная проницаемость (Кпр), отражающая способность породы пропускать через себя флюиды при перепаде давления. Эти параметры не являются независимыми; их взаимосвязь, описываемая корреляционными зависимостями, служит важнейшим диагностическим признаком типа коллектора.

Пористость песчаников вскрытого интервала ($Vbk1^{bt}$; Vcr^{tl}), за исключением его карбонатных разностей, варьируется от 6.1 % до 27.5 %, при этом проницаемость изменяется в диапазоне 4.98-833.26 мД (10-3 мкм^2).

Осинский горизонт сложен карбонатными породами (рис.1), демонстрирующими вертикальную литологическую неоднородность. Коллектор относится к трещинному типу. Интерпретация данных ГИС указывает на продуктивный характер пласта

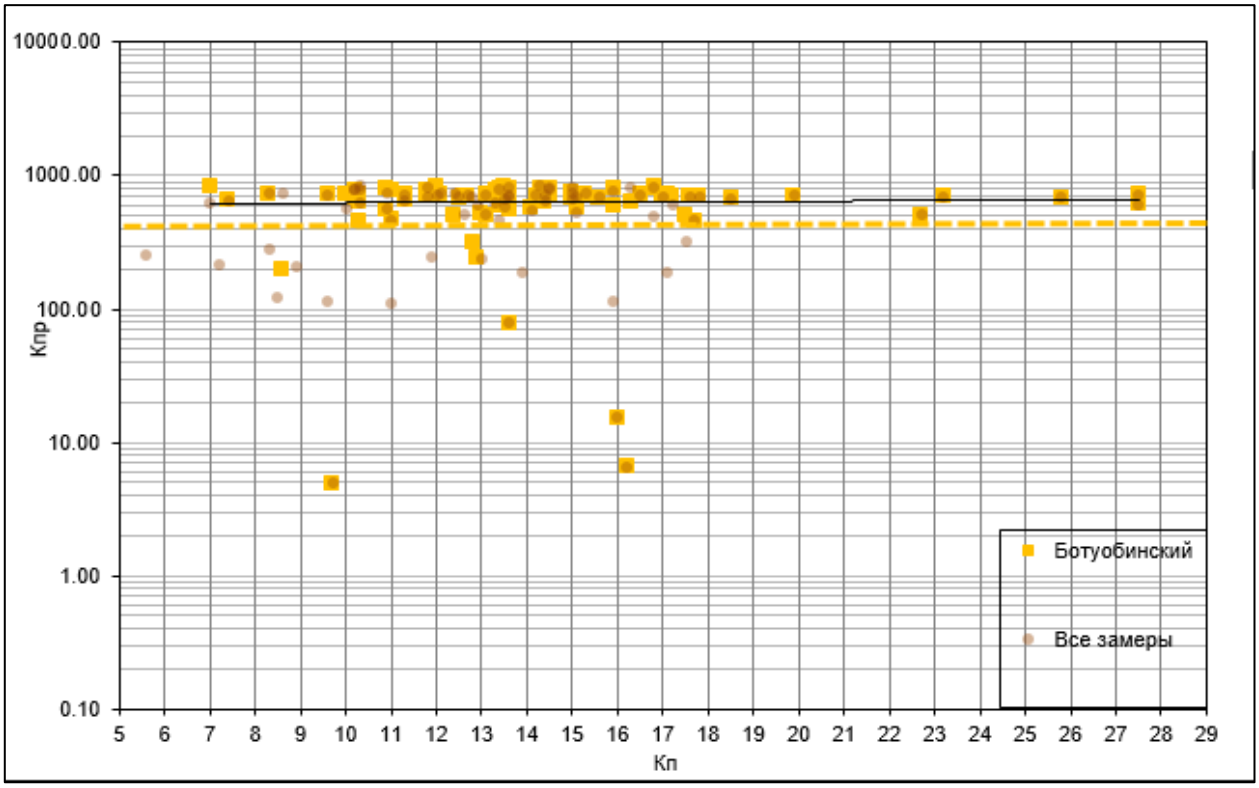


Рис. 1. Соотношение Кп/Кпр песчаников в пласте $Vbk1^{bt}$

Литологическое строение Ботуобинского горизонта характеризуется вертикальной зональностью. Верхняя часть разреза характеризуется ухудшенными коллекторскими свойствами. При вскрытии пласта зафиксирован рост фоновых газопоказаний с 0.0021% до 0.534%. Газовый состав отличается высоким содержанием метана. Лабораторные исследования керна выявили высокие фильтрационно-ёмкостные свойства песчаников: открытая пористость варьирует от 7.0% до 27.5% (среднее 14.4%), проницаемость достигает 837.10 мД (среднее 686.54 мД). Анализ остаточной насыщенности показывает преобладание газовой фазы.

Литологическое строение Талахского горизонта отличается значительной сложностью и неоднородностью. Экспресс-петрофизические исследования керна выявили низкие коллекторские свойства песчаников: пористость не превышает 4.8% (среднее 2.8%),

проницаемость варьирует в диапазоне 2.6-4.9 мД (среднее 3.5 мД). Критически важным результатом является отсутствие корреляционной зависимости между пористостью и проницаемостью (рис.2), что указывает на изолированный характер порового пространства.

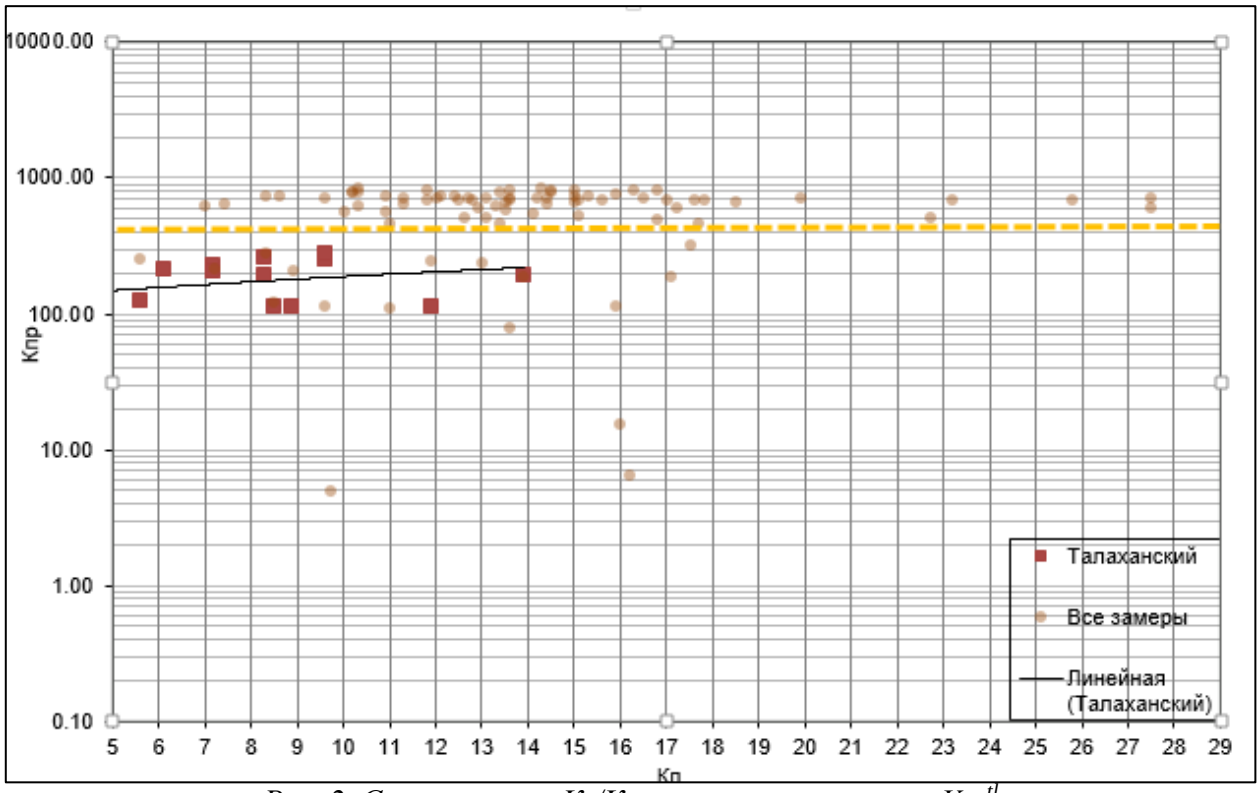


Рис. 2. Соотношение $К_п/К_{пр}$ песчаников в пласте Vcr^{tl}

Проведенный комплексный анализ трех продуктивных горизонтов выявил принципиальные различия в их фильтрационно-емкостных и флюидальных характеристиках, определяющие промышленный потенциал и подходы к их освоению. Осинский горизонт ($Є_1bl^{o-ll}$), представленный карбонатными породами, демонстрирует крайне низкие показатели пористости (3.4%) и проницаемости (0.42 мД) матрицы, однако благодаря развитой трещиноватости и признакам газонасыщенности относится к категории продуктивных. Ботуобинский горизонт (Vbk_1^{bt}) характеризуется высококачественными терригенными коллекторами с исключительно благоприятными ФЕС (пористость 14.4%, проницаемость 686.54 мД) и четкой вертикальной зональностью распределения флюидов: газонасыщенная верхняя часть (до ~1997 м) сменяется нефтеносной зоной, подстилаемой водонасыщенными породами. Талахский горизонт (Vcr^{tl}), несмотря на наличие остаточной углеводородной насыщенности, обладает изолированным поровым пространством и низкими фильтрационными свойствами (проницаемость 3.5 мД), что исключает его промышленную значимость.

Проведенные комплексные экспресс-петрофизические исследования керна на скважине Тас-Юряхского НГКМ позволили дать обоснованную характеристику фильтрационно-ёмкостных свойств трех продуктивных горизонтов и оценить их промышленный потенциал. Ботуобинский горизонт идентифицирован как высококачественный терригенный коллектор с исключительно благоприятными ФЕС, демонстрирующий прямую корреляционную связь между пористостью и проницаемостью и четкую вертикальную зональность распределения газовой и нефтяной фазы. Напротив, для Осинского горизонта, сложенного карбонатными породами, выявлен парадокс низкой проницаемости матрицы при одновременных признаках углеводородного насыщения, что указывает на трещинный тип коллектора, где фильтрация осуществляется преимущественно по системе трещин. Талахский горизонт характеризуется изолированным поровым

пространством и низкими ФЕС, что, несмотря на наличие остаточной битуминизации, исключает его промышленную ценность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аметов И.М., Ковалев А.Г., Мирзаджанзаде А.Х. Физика нефтяного и газового пласта. Москва: Недра, 1992. - 269 с;
2. Багринцева К.И. Трещиноватость осадочных пород, Москва: Недра, 1982. - 241 с;
3. Багринцева К.И., Бочко Р.А., Дмитриевский А.Н. Атлас карбонатных коллекторов месторождений нефти и газа Восточно-Европейской и Сибирской платформ. Под ред. К.И. Багринцевой. - [СПб.], [2003] (ОАО Иван Федоров). - 253 с;
4. Белохин В.С., Иванов М.К., Калмыков Г.А., Корост Д.В., Хамидуллин Р.А. Петрофизические методы исследования кернового материала. Учебное пособие. Книга 2. Лабораторные методы петрофизических исследований кернового материала. Издательство Московского университета, Москва, 2008 г., 113 стр., УДК: 549.08; 552.08; 550.4.08, ISBN: 978-5-211-05628-2;
5. Беляков Е. О., Мухидинов Ш. В. Привлечение результатов петрографического анализа шлифов при обосновании методики выделения коллекторов в условиях терригенных пород с вторичными процессами минералообразования (на примере одного из месторождений Восточной Сибири). Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2018.
6. Бурлин Ю.К., Иванов М.К., Калмыков Г.А., Карнюшина Е.Е., Коробова Н.И. Петрофизические методы исследования кернового материала (терригенные отложения). Учебное пособие. Книга 1. Издательство Московского университета, Москва, 2008 г., 112 стр., УДК: 549.08; 552.08; 550.4.08, ISBN: 978-5-211-05628-2;
7. Бурова И.А. Карбонатные коллекторы вендско-нижнекембрийского нефтегазоносного комплекса Восточной Сибири // Нефтегазовая геология. Теория и практика, 2010, Т. 5. № 2. 18 с;
8. Вахромеев Г.С., Ерофеев Л.Я., Канайкин В.С., Номоконова Г.Г. Петрофизика. Издательство Томского университета, Томск, 1997 г., 462 стр., УДК: 550.83 (075.8), ISBN: 5-7511-0851-5;
9. Дахнов В.Н. Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефтегазонасыщенности горных пород / В.Н. Дахнов. – М.: Недра, 1975. – 334 с;
10. Дорогиницкая Л.М., Еникеев Б.Н., Ефимов В.А., Исаев Г.Д., Костеневич К.А., Мальшаков А.В., Ратников И.Б., Семенов В.В., Сокова К.И., Федорцов И.В., Шнурман И.Г. Актуальные вопросы петрофизики сложнопостроенных коллекторов. Просвещение-Юг, Краснодар, 2010 г., 306 стр., УДК: 550.3:550.822.3, ISBN: 978-5-93491-271-1;
11. Жуков В.С. Динамика физико-механических свойств горных пород (динамическая петрофизика) / В.С. Жуков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2002. – № 9. – С. 59–63;
12. Жуков В.С., Основные причины изменения комплекса физических свойств коллекторов при разработке месторождений углеводородов. Научно-технический сборник «Вести газовой науки», 2014;
13. Жуков В.С., Плешков И.В. Влияние водонасыщенности на изменение физических свойств коллектора. Научно-технический сборник «Вести газовой науки», 2018;
14. Жуков В.С., Семёнов Е.О., Кузьмин Ю.О. Динамика физических свойств коллекторов при разработке месторождений нефти и газа. Научно-технический сборник «Вести газовой науки», 2018;
15. Золоева Г.М., Куликов Б.Н., Силина Л.В., Фарманова Н.В., Царева Н.В. Изучение карбонатных коллекторов методами промысловой геофизики, Недра, Москва, 1977.А;
16. Кошкарова Е.Ф., Наумов В.А., Бухарова И.А., Тихонова К.В., Чиргун А.С. Неоднозначность определения нефтегазонасыщенности карбонатных коллекторов осинского горизонта и пути решения данной проблемы // Экспозиция Нефть Газ. 2023. № 6. С. 32–36;

17. Магид М.Ш. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика / М.Ш. Магид, Г.М. Авчян, Н.Б. Дортман и др.; под ред. Н.Б. Дортман, – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1984. – 455 с.;
18. Некрасов А.С. Физика горных пород. Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, 2025 г., 190 стр., УДК: 622.02 (075.8), ISBN: 978-5-7944-4251-9;
19. Оленич П.А., Бухарова И.А., Новикова М.С., Хорольский Г.О., Чиргун А.С. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности Юряхского горизонта Среднеботуобинского месторождения // Экспозиция Нефть Газ. 2021. № 6. С. 58–61;
20. Чуриков Ю.М., Пылёв Е.А., Поляков Е.Е. Обобщенные зависимости между фильтрационноемкостными и физическими свойствами вендских отложений на месторождениях, входящих в газотранспортную систему «Сила Сибири». Научно-технический сборник «Вести газовой науки», 2019;

УДК 550.83

КОМПЛЕКС ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ ПОИСКАХ ЗОЛОТО-КВАРЦ-МАЛОСУЛЬФИДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ НА ПРИМЕРЕ КРЫЛАТОВСКО-ЧЕСНОКОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Беспалова Екатерина Андреевна[1,2], Мирошниченко Юлия Владимировна[2], Андреенок Анжелика Андреевна[2]
[1]kbesapalova4@gmail.com; [2]geocomplex@szggk.ru
[1]*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*
[2]*ООО «Северо-Западная Геолого-Геофизическая Компания «Геокомплекс», Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. В статье рассмотрен комплекс геофизических методов, применённый при поисках золото-кварц-малосульфидной минерализации на Крылатовско-Чесноковском месторождении. По результатам работ выполнено структурно-тектоническое районирование, выделены зоны метасоматоза и аномалии, соответствующие кварцевым жилам. Установлено, что выявленные геофизические аномалии приурочены к разрывным нарушениям и согласуются с геологической моделью локализации оруденения. Подтверждена эффективность применённого комплекса для обнаружения кварцево-жильного и золото-сульфидного типов минерализации.

REASSESSMENT AND UPDATING OF ARCHIVAL MATERIALS BASED ON INTEGRATED GEOPHYSICAL EXPLORATION FOR GOLD–QUARTZ–LOW-SULFIDE TYPE LODE GOLD AT THE KRYLATOVSKOYE DEPOSIT

Bespalova Ekaterina Andreevna[1,2], Miroshnichenko Yulia Vladimirovna[2], Adreenok Anzhelika Vasilievna[2]
[1]kbesapalova4@gmail.com; [2]geocomplex@szggk.ru
[1]Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia
[2]OOO "North-Western Geological and Geophysical Company "Geocomplex", Saint Petersburg, Russia

Abstract. The article discusses a set of geophysical methods used in the search for gold-quartz-low-sulfide mineralization at the Krylatovsko-Chesnokovskoye deposit. Based on the results of the work, a structural and tectonic zoning was performed, and zones of metasomatism and anomalies corresponding to quartz veins were identified. It was established that the identified geophysical anomalies are associated with tectonic faults and are consistent with the geological model of mineralization localization. The effectiveness of the applied complex for detecting quartz-vein and gold-sulfide types of mineralization has been confirmed.

Введение

Золото-кварцевые малосульфидные месторождения относятся к числу наиболее распространённых и промышленно значимых типов рудных объектов, особенно в пределах складчатых поясов и орогенных областей. В современных условиях истощения легко обнаруживаемых рудных тел возрастает необходимость повышения эффективности геологоразведочных работ за счёт оптимизации применяемых методов поисков.

Традиционные геологические методы поисков в условиях недостаточной обнаженности и развитых заболоченных пространств зачастую малоэффективны. Поэтому возрастает роль геофизических технологий, способных предоставить достоверную информацию о глубинном строении пород и локализации потенциально рудоносных зон. Целью данной работы является применение наземных геофизических методов — магниторазведки, электроразведки методом вызванной поляризации (ВП) и гамма-

спектрометрии — для решения геолого-поисковых задач в условиях Крылатовско-Чесноковского месторождения. В задачи исследования входило структурно-тектоническое районирование участка, выделение перспективных зон, связанных с кварцевыми жилами и метасоматитами, а также обоснование поисковых критериев для последующих этапов геологоразведочных работ.

Физико-географическая характеристика района работ

Территория исследований в пределах Крылатовской площади, частично расположена в Дегтярском, Ревдинском и Полевском городском округе Свердловской области. На севере граница проходит в 2,5 км юго-восточнее г.Дегтярск, на юге в 1,5 км севернее р. Раскуишки. Восточнее, в 0,5 км от западной границы располагается д. Кунгурка, западная граница участка проходит по восточной части Кислянского и Мостовского болота.

В орографическом отношении район характеризуется малорасчлененным холмисто-увалистым рельефом с абсолютными высотными отметками 340-370 м. Речная сеть района работ принадлежит бассейну р. Чусовой. Левые притоки её – речки Исток, Дегтярка, Ельчевка, Вязовка, Каменушка, Кунгурка и другие берут начало в западной гористой части и протекают по центральной и восточной частям района в субширотном направлении. Пониженный рельеф и небольшие уклоны рек способствовали образованию значительных заболоченных пространств (Кислянского, Вязовского, Моховского, Базановского болот), распространяющихся и на восточную часть района.

Экономика района имеет резко выраженный промышленный уклон. Ведущее место занимает горнометаллургическая промышленность: известковый карьер по добыче флюсовых известняков, Средне Уральский медеплавильный завод, Ревдинский метизно-металлургический завод и др. Снабжение электроэнергией предприятий Ревдинского района осуществляется от Уральского энергетического кольца.

Геологическая характеристика

Район работ является одним из старейших золоторудных районов Урала, первые упоминания датируются 1803 годом, тогда данный район относился к Северской даче, входящей в бывший Сысертский горный округ, с 1876 года имеются уже систематические статистические сведения о добычи золота по отдельным участкам входящих в кунгурскую группу золотых приисков. А со времен открытия Дегтярского медноколчеданного месторождения, в районе активно проводились поисковые работы на медь. В настоящее время проводится доразведка рудного поля с помощью геофизических методов, а также актуализация ретро данных, с целью подтверждения наличия золотого оруденения и постановки запасов на государственный баланс [2].

В геолого-структурном отношении Крылатовско-Чесноковское рудное поле располагается в области сочленения двух региональных структурно-формационных зон – Тагильского прогиба и Восточно-Уральского поднятия. Западная часть лицензионной площади захватывает восточный комплекс вулканогенно- осадочных пород приуроченных к субмеридиональному Серовско- Маукскому глубинному разлому, центральная часть включает собственно рудное поле Крылатовско-Чесноковского месторождения, а восточная часть захватывает западную часть Базановской зоны в восточной части которой располагается Прачесноковская структурно-эрозионная депрессия [1].

В геологическом строении участка преобладают плагиограниты Новоалексеевского интрузивного массива, занимающие 57% территории. Остальная часть сложена вулканогенно-осадочными образованиями нижнего-среднего девона (D1-2). К западу от массива залегают породы контрастной базальт-липаритовой формации (туфы, порфириты, туфопесчаники и парасланцы), тогда как к востоку распространены пироксеновые и плагиоклаз-пироксеновые порфириты, характерные для базальтовой ассоциации. Вдоль западного и восточного контактов массива протягиваются меридиональные тела диоритов, кварцевых диоритов и габбро-диоритов, достигающие мощности до 500 м и длины в несколько километров. В экзоконтактовой зоне вмещающие породы интенсивно насыщены дайками и апофизами гранитоидов.

Обобщая все собранные материалы по изучению Крылатовской площади, нами было выдвинуто предположение, что в пределах лицензионной площади, возможно обнаружение нескольких типов оруденения, а именно:

1. Кварцево-жильный тип. Аналогом которого является само Крылатовско-Чесноковское месторождение золотокварцевых флюсов;Золотосульфидно прожилково вкрапленный тип в рассланцованных метасоматически измененных породах, которые являются вмещающими зонами кварцевых жил;

2. Золото-сульфидно прожилково вкрапленный тип в рассланцованных метасоматически измененных породах, которые являются вмещающими зонами кварцевых жил;

3. Золотоносные коры выветривания (как линейные, так и площадные), ведущую роль в формировании которой играли рудообразующие процессы связанные с метасоматитами березит-лиственитовой и кварц- серицитовой формацией с сульфидной минерализацией

Основные методы проведения работ

В период с 13.06.2025 по 15.09.2025 гг. компанией ООО "СЗГГК "Геокомплекс" на участках геофизических работ «Центральный», «Южно-Дегтярский», «Южный», «Северный», «Восточный» были выполнены опытно-методические работы, включающие: наземную магниторазведку, гамма-спектрометрию, электроразведку методом вызванной поляризации (ВП) с установкой срединного градиента, электрозондирование в варианте электротомографии методом ВП. В данной работе более подробна речь будет идти об участке «Центральный».

Наземная магниторазведка была ориентирована на решение структурно-картировочных задач, включая выделение пликативных и дизъюнктивных нарушений, а также прочих линеаментных структур. Кроме того, данный метод позволил уточнить границы потенциально рудоносных массивов и выявить особенности их внутреннего строения. Электроразведка методом вызванной поляризации (ВП) использовалась для выделения и локализации аномальных зон по параметрам проводимости и поляризуемости, определения основных геометрических параметров и пространственного положения аномалообразующих объектов, а также для их дифференциации и классификации на основе объемного содержания электронопроводящих включений. Завершающим этапом стала гамма-спектрометрия, которая помимо решения структурно-картировочных задач позволила выделить участки и зоны метасоматоза, перспективные для обнаружения связанного с ними оруденения.

Результаты геофизических работ

Магниторазведка на данном участке позволила решить задачи структурно-тектонического районирования. Площадь участка работ была разделена на три крупных блока пород по магнитным свойствам, а внутри блоков выделены предположительные интрузивные тела. При помощи различных трансформант были выделены тектонические нарушения различного простирания. Также было проведено разделение тектоники по этапам образования – на нарушения первого и второго порядка. Границы тел, разрывные нарушения и контуры блоков будут уточняться в совокупности с данными гамма-спектрометрии и площадной электроразведки.

Методом гамма-спектрометрии выделены контуры зон повышенного содержания калия и распространения калий-радиевой специализации, отвечающие по своим параметрам предполагаемым участкам метасоматического изменения (березитизация, лиственитизация, серицитизация).

Благодаря данным гамма-спектрометрических работ были успешно решены структурно-картировочные задачи: ориентируясь на общее распределение радиоактивности и содержания естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ), удалось выделить блоки, отличающиеся по радиоактивным свойствам и представляющие собой различные структурно-вещественные комплексы. Также были определены основные факторы поиска золоторудных объектов гамма-спектрометрическим методом, а именно: аномально высокие

концентрации калия; высокие, нормализованные по стандартному отклонению значения содержания калия; высокие положительные значения доминанты калия в системе калий–торий; приуроченность калиевых аномалий к повышенному содержанию радия, а также приуроченность самих аномалий к зонам разрывных нарушений.

Электроразведка на исследуемом участке показала выделены основные блоки структурно-вещественных комплексов и тектонические нарушения, рудоносная зона уверено отражается в поле ВП градиентной линейно протяженной аномалией. Она согласуется с предполагаемыми зонами развития кварцевых жил, выделенных на геологической карте. В ходе ТЭЗ-ВП были получены детальные разрезы по параметрам поляризуемости и удельного электрического сопротивления. По ним построены структурно-корреляционные схемы-разрезы, на которых выделены аномальные зоны с повышенными значениями УЭС и поляризуемости, характерные для кварцевых жил. Области высоких значений ρ, которые могут быть связаны с перспективными областями, на большинстве геоэлектрических разрезах выделяются отчетливо.

В результате опытно-методических работ были выделены ключевые поисковые критерии для выявления золоторудных кварцевых жил с использованием электроразведочных методов. К ним относятся зоны, характеризующиеся высоким удельным электрическим сопротивлением (УЭС) и повышенными значениями поляризуемости. Важным индикатором является сопряженность аномалий повышенных значений вызванной поляризации (ВП) и УЭС. Кроме того, перспективные участки часто имеют линейную или жилообразную форму аномальных зон, которые могут уверенно прослеживаться на глубину.

По результатам площадных работ была составлена структурно-корреляционная схема (рис.1). На ней выделены основные блоки, отличающиеся по петрофизическим свойствам.

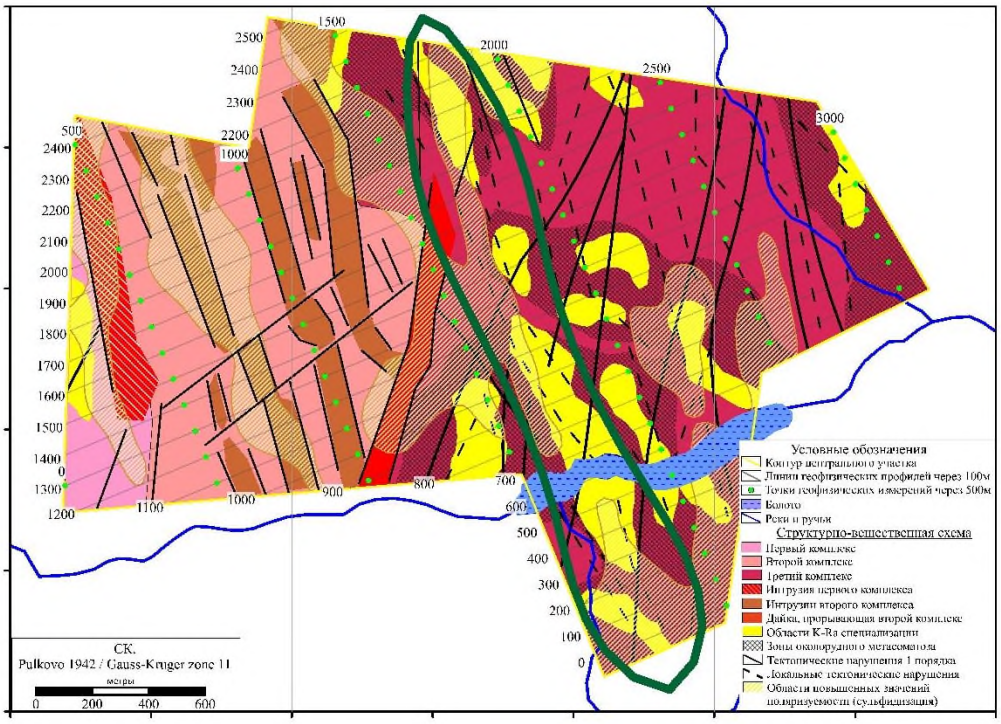


Рисунок. 1. Структурно-корреляционная схема Центрального участка крылатовской площади

Выводы

Подводя итоги проделанной работы, на основе комплекса проведённых геофизических исследований, включавшего магниторазведку, электроразведку в модификациях СГ-ВП и ТЭЗ-ВП, а также гамма-спектрометрию, с последующей обработкой

данных методом главных компонент, получены результаты, позволяющие сформулировать следующие выводы.

Применённая методика исследований показала высокую эффективность и позволила подтвердить исходные геолого-генетические представления о характере и локализации золотого оруденения на Крылатовском месторождении. В результате интерпретации геофизических данных были выделены структурные блоки с контрастными петрофизическими характеристиками, построена структурно-корреляционная схема и идентифицированы аномальные зоны, соответствующие целевым поисковым объектам.

В пределах изученной территории чётко закартированы зоны с повышенными значениями поляризуемости на фоне аномально высокого удельного электрического сопротивления, что рассматривается как прямой геофизический признак присутствия кварцевых жил. Одновременно по данным гамма-спектрометрии установлены контуры площадей с повышенной калиевой и калий-радиевой специализацией, интерпретируемые как отражение развития метасоматических процессов — березитизации, лиственитизации и серицитизации, которые являются ведущими факторами контроля золото-сульфидного прожилково-вкрапленного типа минерализации.

Важно отметить, что все выявленные геофизические аномалии приурочены к зонам разрывных нарушений, выделенным по данным магниторазведки, что согласуется с региональной структурно-тектонической моделью локализации оруденения в районе работ. Таким образом, совокупность полученных геофизических данных подтверждает наличие в пределах лицензионной площади геологических образований, перспективных на рудное золото, соответствующих как кварцево-жильному, так и метасоматически изменённому золото-сульфидному типа у минерализации, а также потенциально золотоносным корам выветривания.

Результаты проведённых исследований обосновывают исходную геологическую концепцию, демонстрируют высокую разрешающую способность применённого комплекса методов и показывают целесообразность проведения дальнейших детальных поисково-оценочных работ направленных на рудное золото.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зенков И.И., Южаков И.Г. (1984). Объемное геологическое картирование мастаба 1:50000 Дегтярской площади в пределах листов О-41-109-В, О-41-121-А, О-41-121-В, по работам Дегтярской геолого-съемочной партии за 1979-1984 гг. Свердловск.
2. Субботин И.А., Емельянова Л.В. (2007). Поисковые работы на рудное золото в пределах Крылатовской площади. Верхняя-Пышма

УДК 550.832

О МЕХАНИЗМЕ ОБРАЗОВАНИЯ АНОМАЛИЙ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ РАДОНА ПРИ ПРОЦЕССЕ ПОДГОТОВКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Бирюлин Сергей Викторович
serrega2009@gmail.com
Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. Рассмотрен механизм образования аномалий объёмной активности радона (ОАР) в зонах сжатия и растяжения при процессе подготовки тектонических землетрясений. Показана причинно-следственная связь деструктивных процессов в очаге готовящегося события с образованием аномалий ОАР. Обосновано разное время появления аномалий ОАР для зоны сжатия и зоны растяжения относительно момента землетрясения.

ON THE MECHANISM OF VOLUMETRIC RADON ACTIVITY ANOMALIES FORMATION IN DURING THE PROCESS OF EARTHQUAKES PREPARATION

Sergey Biryulin
serrega2009@gmail.com
Institute of geophysics Ural Branch of Russian Academy of sciences, Ekaterinburg, Russia

Abstract. The mechanism for the formation of volume radon activity (VRA) anomalies in compression and extension zones during the preparation of tectonic earthquakes is considered. The causal relationship of destructive processes in the focus of the impending event with the formation of VRA anomalies is shown. The different time of occurrence of VRA anomalies for the compression zone and the stretching zone relative to the moment of the earthquake is justified.

Сейчас, по мнению автора, основанному на результатах более чем тридцатилетних исследований сотрудников ИГФ УрО РАН процесса подготовки горных ударов и землетрясений, при разработке методов краткосрочного прогноза, основное внимание нужно уделить физическим явлениям, которые вызываются изменением напряженно-деформированного состояния горных пород в зоне готовящегося события. В конечном результате именно достижение критических значений напряженно-деформированного состояния горных пород приводит к образованию магистрального разрыва – землетрясению. Изменение напряженно-деформированного состояния непосредственно сказывается на вариациях пористости, проницаемости горных пород и вызывает трещинообразование. Среди методов, которые дают информацию о перечисленных процессах, выделяются сейсмологические наблюдения, изучение изменений в подземной гидросфере и подземной атмосфере [1]. Следует отметить, что единичные реальные прогнозы землетрясений были сделаны на основе наблюдений за вариациями почвенного радона и изменениями в подземной гидросфере [2; 3]. Исследования горных ударов в шахтах Среднеуральского бокситового рудника на основе наблюдений за почвенным радоном позволили выяснить основные моменты процесса их подготовки и разработать методику радоновых наблюдений при принудительной доставке почвенного радона к детектору. Близкие и далекие события ассоциируются с зонами сжатия и растяжения соответственно. Впервые были установлены отличия времени отражения горных ударов в кривых объемной активности радона (ОАР) в зависимости от расстояния от точки наблюдения до его эпицентра [4].

Основным районом для изучения процесса подготовки землетрясений, начиная с 2006 года, стали Южно-Курильские острова. С 2011 года, получен практически непрерывный ряд наблюдения объемной активности почвенного радона. На основе многолетних данных установлены закономерности поведения ОАР при подготовке землетрясений и разработана методика интерпретации. Оказалось, что, как и для горных ударов, отражение процесса

подготовки землетрясений разной удаленности от точки наблюдения происходит на различных участках кривой ОАР. Для ближних событий точка измерения находится в зоне сжатия, для дальних в зоне растяжения. Между растяжением и сжатием существует причинно-следственная связь. Величины радиусов «ближней» и «дальней» зон для геолого-тектонических условий Южно-Курильского геодинамического полигона (зоны субдукции) составили менее 130 км и более 180 км, соответственно (рис.1). Интервал времени проявления дальних событий составляет до 6 суток после прохождения максимума аномалии ОАР, а ближних событий в интервале от момента выхода аномалии ОАР на фоновые значения до 28 суток [5].

При интерпретации вариаций ОАР в качестве точки начала отсчёта взят момент окончания аномалии (рис. 1). Положительные значения соответствуют землетрясениям, которые проявились после выхода предшествующей аномалии ОАР на фоновые значения. Отрицательные значения соответствуют землетрясениям, которые проявились после максимума предшествующей радоновой аномалии, до её выхода на фоновые значения [6].

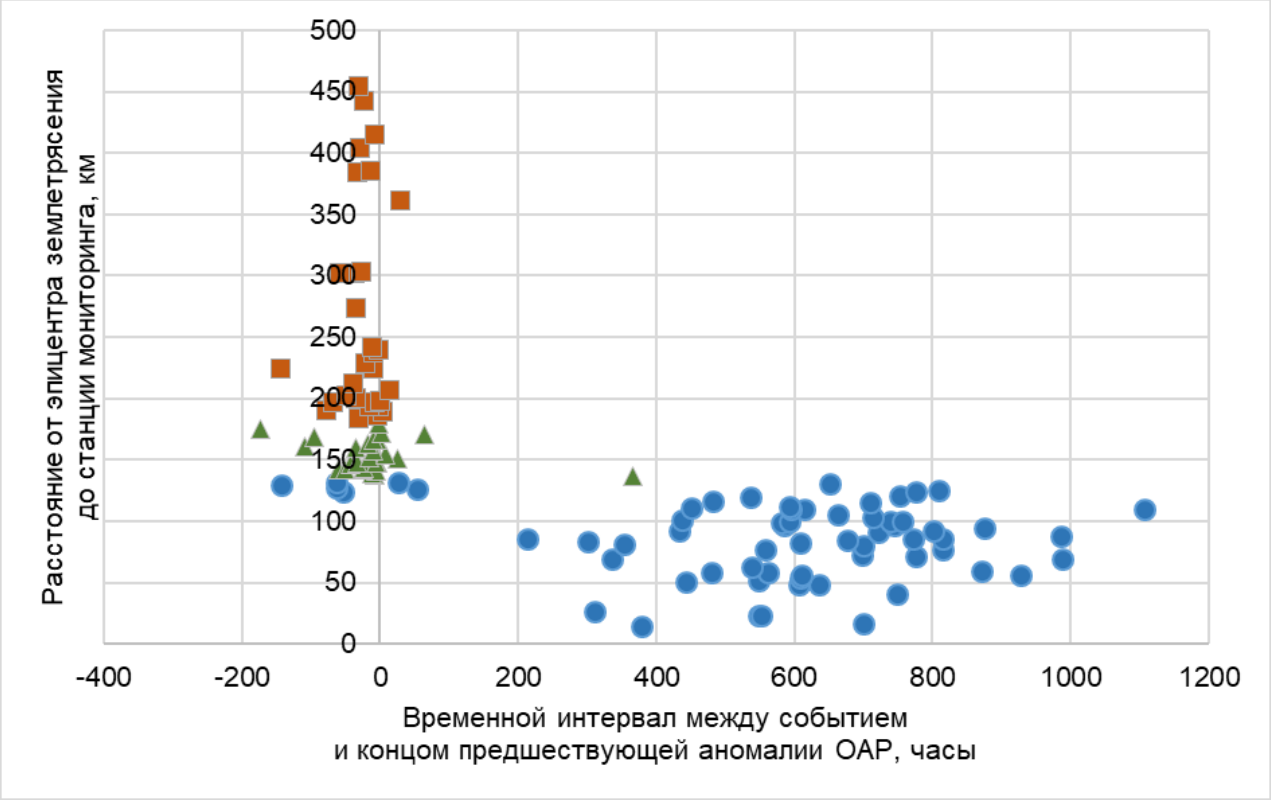


Рис.1. Распределение землетрясений по наблюдениям за 2019-2022 года. Квадратами обозначены события «дальней зоны»; треугольники — события «промежуточной» зоны; круги — события «ближней» зоны.

Граница «ближней» и «промежуточной» зоны проведена по последним событиям, которые отражались как во временном интервале между экстремумом и окончанием аномалии, так и в интервале после окончания аномалии и выхода на фоновые значения. Граница «промежуточной» и «дальней» зоны проведена по последним событиям, которые отражались как во временном интервале между экстремумом и окончанием аномалии, так и в интервале после окончания аномалии и выхода на фоновые значения. Аналогично проведена граница «промежуточной» и «дальней» зоны (рис. 1).

При интерпретации результатов, важно понимать в какой зоне, сжатия или растяжения, находится точка наблюдения, так как механизмы образования радоновых аномалий различны.

Было проанализировано 111 аномалий, предшествующих событиям с магнитудой больше 4. 61 аномалия предшествовала событиям «ближней» зоны. 50 аномалий предшествовали землетрясениям «дальней» зоны. Измерения выполнялись в каждом случае один раз в 4 часа. За точку начала отсчёта взят максимум аномалий (рис. 2, рис. 3). По каждой точке измерений рассчитывалось среднее значение по всем аномалиям, отдельно для аномалий, предшествовавших землетрясениям «ближней» и «дальней» зоны.

На рисунке 2 приведены усреднённые аномалии ОАР для ближней и дальней зон и кривые распада радона. Хорошо видно, что спад аномалии ОАР не определятся кривой распада радона. Определяющую роль играет изменение проницаемости среды. Отмечаемая разница в максимальных величинах ОАР в ближней и дальней зонах связана с различным механизмом образования аномалий. В ближней зоне, зоне сжатия. «выдавливается» весь накопленный объем радона, так как объем порового пространства становится очень маленьким. В зоне растяжения уменьшение объема порового пространства, после снятия нагрузки, происходит до первоначального фонового уровня, то есть «выдавливается» не весь накопленный радон.

На рисунке 2 представлена осредненная аномалию ОАР при измерениях в зоне сжатия (ближняя зона). Аномалия ОАР связана с «выдавливанием» радона из пор и трещин при сжатии горных пород. Спад аномалии связан с уменьшением поступления радона к детектору при снижении проницаемости среды и распадом выделившегося радона. Кратковременное существование аномалии определяет ведущую роль уменьшения проницаемости среды, что хорошо видно и на рисунке 3. После прекращения поступления радона из порового пространства, характер кривой спада ОАР определяется распадом уже выделившегося радона. На это указывает характер поведения кривой спада ОАР после завершения аномалии, которая хорошо аппроксимируется кривой распада радона.

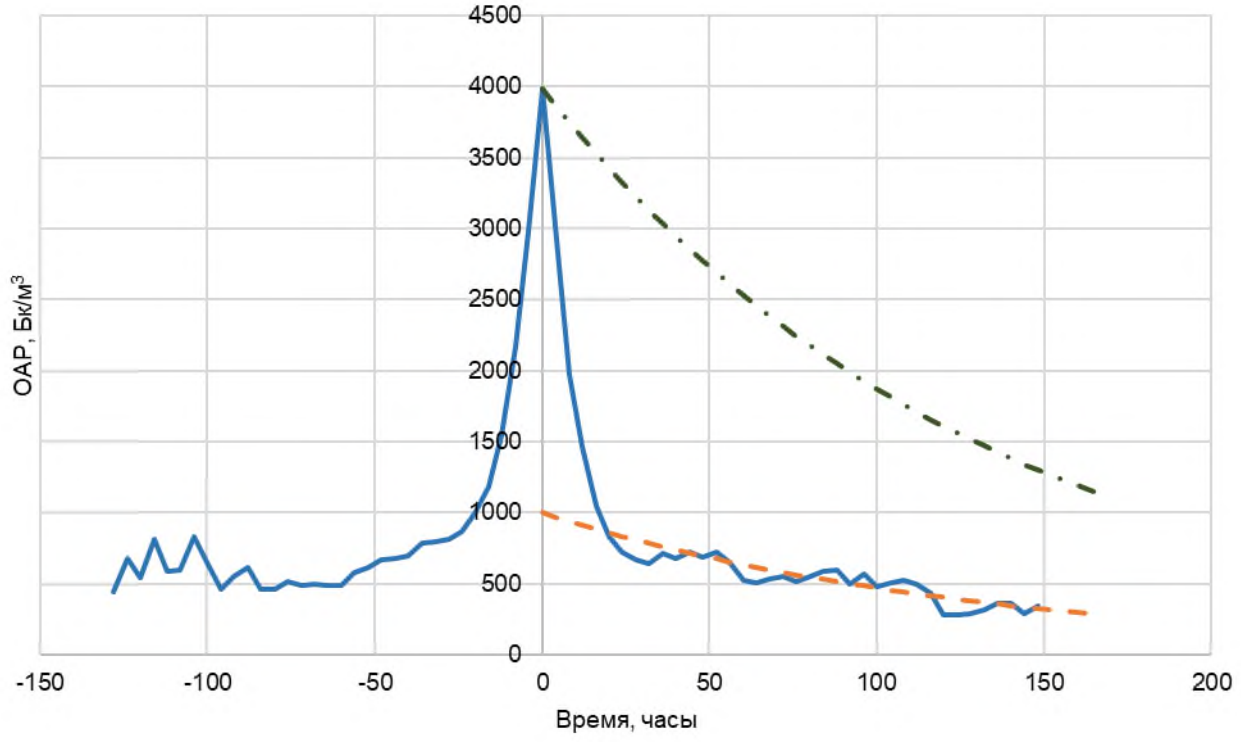


Рис.2. Наложение кривой распада радона на усреднённую аномалию ОАР при измерениях в зоне сжатия (ближняя зона). Синяя сплошная линия — усреднённые значения аномалий ОАР перед событиями «ближней» зоны. Зелёная штрих-пунктирная линия — кривая распада радона, за начальное значение взят максимум усреднённой аномалии. Оранжевая прерывистая линия — аппроксимация значений ОАР, после завершения аномалии, кривой распада радона.

Образования аномалии ОАР при измерениях в зоне растяжения (дальней зоне) является не таким очевидным (рис.3). В качестве возможного механизма может выступать следующий процесс.

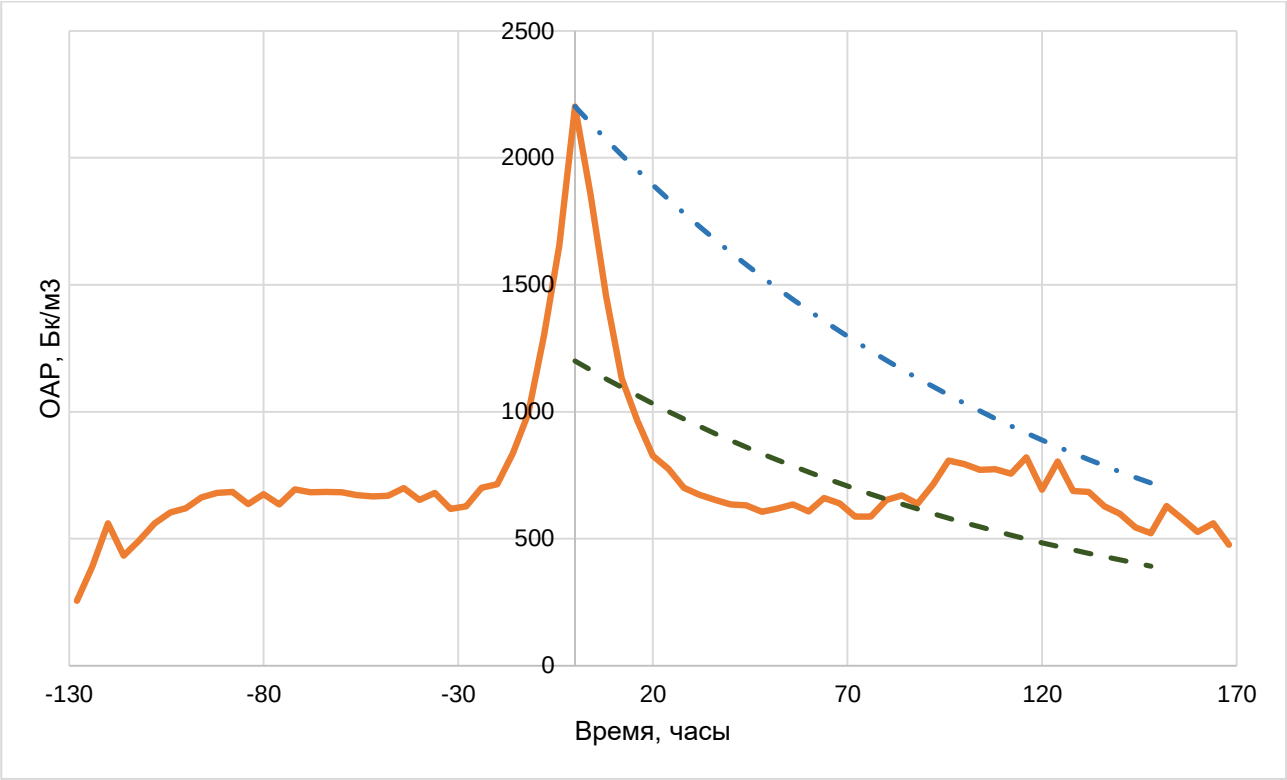


Рис.3. Наложение кривой распада радона на усреднённую аномалию ОАР при измерениях в зоне растяжения. Оранжевая сплошная линия — усреднённые значения аномалий ОАР перед событиями «дальней» зоны. Синяя штрих-пунктирная линия — кривая распада радона, за начальное значение взят максимум усреднённой аномалии, предшествовавшей событиям «дальней» зоны. Зелёная пунктирная линия — аппроксимация значений кривой ОАР, после аномалии, по закону распада радона.

Увеличение проницаемости горных пород при растяжении, которое происходит в течение всего промежутка времени, пока накапливаются критические напряжения в очаге готовящегося землетрясения, обуславливает только повышение фонового уровня ОАР, а не наблюдаемую короткопериодную высокоамплитудную аномалию. Учитывая, что аномалии ОАР в зоне растяжения появляются незадолго до самого землетрясения, то понятно, что они обусловлены и связаны с процессами, происходящими в очаге. Интенсивное трещинообразование в очаге непосредственно перед землетрясением и образование магистрального разрыва снимает или уменьшает растягивающие напряжения, существующие в дальней зоне. Геологическая среда в зоне растяжения возвращается к исходному состоянию. Уменьшается раскрытие пор и трещин, что приводит к «выдавливанию» радона в сообщающее поровое пространство и образованию аномалии. Поступление радона к детектору после аномалии определяется восстановленной проницаемостью горных пород и значения ОАР возвращаются к фоновому уровню, существующему до появления аномалии. Поведение кривой ОАР не соответствуют кривой распада радона.

Проведенное моделирование механизма образования аномалий ОАР в зоне сжатия и растяжения подтверждает экспериментальными данными. В рамках предложенного механизма объясняется наблюдаемая разница в величинах объемной активности радона при измерениях в зоне растяжения и сжатия и положение землетрясений на кривой ОАР. Различная величина максимумов ОАР в зонах сжатия и растяжения, объясняется тем, что в

зоне сжатия объем порового пространства уменьшается практически до нуля, то есть весь накопленный радон «выдавливается». В зоне растяжения, при снятии напряжений, уменьшение объема пор и трещин происходит только до уровня, предшествующего аномалии, в следствии чего максимальная величина ОАР будет меньше, чем в зоне сжатия. И для ближних землетрясений, и для дальних их подготовка отражается в кривых ОАР появлением короткопериодной аномалии. В обоих случаях кривая ОАР не соответствует закону радиоактивного распада, при начальном значении ОАР в точке максимума. Для «ближней» зоны, после завершения аномалии, кривая ОАР аппроксимируется кривой распада радона. Это подтверждает предложенный механизм образования аномалии радона. Полученные результаты подтверждают наличие причинно-следственной связи деструктивных процессов в очаге готовящегося события с образованием аномалий объемной активности радона. Продолжительность аномалий радона находится в пределах нескольких суток, что служит предпосылкой для разработки методики краткосрочного прогноза катастрофических событий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фирстов П.П., Макаров Е.О. Динамика подпочвенного радона на Камчатке и сильные землетрясения. Монография. 2018. 148 с.
2. Fengming Z., Ge W. Prediction of the Haicheng earthquake and measures taken for disaster prevention // Seismological Bureau Liaoning Province, Liaoning, China. 1975. p. 18.
3. Giuliani G.G. et al. Radon observations by gamma detectors PM-4 and PM-2 during the seismic period (January-April 2009) in L'Aquila Basin // Abstr. AGU Fall Meeting, December 14–18, San-Francisco 1. 2009. p. 3.
4. Булашевич Ю.П., Уткин В.И., Юрков А.К., Николаев В.Н. Изменение концентрации радона в связи с горными ударами в глубоких шахтах. // Доклады РАН. 1996. Т. 345. № 2. С. 245-248.
5. Козлова И.А., Бирюлин С.В., Юрков А.К. Поведение аномалий объемной активности почвенного радона во время подготовки тектонических землетрясений // Литосфера. 2021. № 21(5). с. 724–733. DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-5-724-733.
6. Козлова И.А., Бирюлин С.В., Юрков А.К., Демежко Д.Ю. Изменения объемной активности почвенного радона и температурные вариации в скважине во время процесса подготовки землетрясения // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2021. №6. с. 28-36. DOI: 10.31857/S0869780921060059.

УДК 3179

СТЕПЕНЬ ОСВЕЩЕННОСТИ КЕМИНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В СИБИРСКОЙ ПЕРИОДИКЕ

Ватокина Анна Александровна
aav@ifz.ru
Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

Аннотация. Ежедневная периодическая печать, оперативно фиксирующая события, представляет собой уникальный источник для реконструкции природных катастроф прошлого. В докладе на материале сибирских газет «Сибирская жизнь» и «Жизнь Алтая» исследуется Кеминское землетрясение 1910 г. — одно из сильнейших сейсмических событий в истории Центральной Азии. Хроникальный характер газетных сообщений позволяет восстановить динамику и географию катастрофы. Обращение к ежедневной прессе даёт возможность существенно дополнить данные макросейсмическими наблюдениями и зафиксировать подлинные масштабы бедствия, включая малоизвестные факты о разрушениях, жертвах и восприятии трагедии современниками.

THE COVERAGE OF THE 1910 KEMIN EARTHQUAKE IN SIBERIAN PERIODICALS

Vatokina Anna Alexandrovna
aav@ifz.ru
Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. Daily newspapers, which promptly recorded events as they unfolded, serve as a unique source for reconstructing natural disasters of the past. This study examines the 1910 Kemin earthquake—one of the strongest seismic events in Central Asian history—based on materials from the Siberian periodicals Sibirskaya Zhizn and Zhizn Altaya. The chronicle nature of newspaper reporting allows for a detailed reconstruction of the disaster's dynamics and geographical extent. Drawing on daily press materials provides an opportunity to significantly supplement instrumental data with macroseismic observations and to capture the true scale of the catastrophe, including little-known facts about destruction, casualties, and contemporaries' perception of the tragedy.

Кеминское землетрясение случилось 22 декабря 1910 года по старому стилю. Первые сведения о случившейся катастрофе были доставлены из города Верный 23-его декабря[1]. Землетрясение было такой силы, что подземные толчки ощущались Ташкенте, Копале, Верном, Джарканте, Коканде, Новой Бухаре, также Екатеринбургской обсерваторией было зафиксировано два подземных толчка в 3 часа 22 минуты, а телеграмма о бедствии в Семиреченской области была доставлена лишь часом позже[2]. Современные сейсмологи оценивают магнитуду минувшего землетрясения M=8.2 и интенсивность в эпицентре Io=10–11 баллов[3]. Последствия были катастрофическими. В Верном оказались повреждены практически все здания: каменные и глинобитные дома разрушились или дали трещины, печи пришли в негодность, а в церквях были сломаны или согнуты кресты[4]. В окрестностях города образовались гигантские трещины шириной до двух аршин, из некоторых забила

[1] Богданович К.И. Землетрясение 22-го декабря 1910 г. (4-го января 1911 г.) в северных цепях Тянь-Шаня между Верным и Иссык-кулем // Известия Геологического комитета. – СПб., 1911. – Т. 30, № 4. – С. 330.
[2] Землетрясение в Средней Азии // Сибирская жизнь. – Томск, 1910. – № 287 (25 дек.). – С. 2.
[3] Стрельников А.А. Параметризация палео- и исторических землетрясений Иссык-Кульской впадины, Северный Тянь-Шань: дис. … канд. геол.-минерал. наук: 25.00.03. – М.: ИФЗ РАН, 2022. – С. 3.
[4] Землетрясение в Средней Азии // Сибирская жизнь. – Томск, 1910. – № 288 (28 дек.). – С. 1.

вода[5]. В горах сошли обвалы, похоронившие множество киргизов со скотом[6]. В данной работе мы постараемся хронологически восстановить картину трагедии Кеминского землетрясения, отраженную в периодической Сибирской печати, конкретно в газетах «Сибирская Жизнь» (Томск) и «Жизнь Алтая» (Барнаул).

Газета «Жизнь Алтая» начала выходить 1 января 1911 года, сведения о минувшем землетрясении появляются со второго выпуска, поэтому логично начать изучение с «Сибирской Жизни», к тому времени уже активно издававшейся ежедневно. Первое упоминание землетрясения было опубликовано в номере от 25 декабря 1910 года. Информация содержащаяся там довольно скудна, не изобилует подробностями, что естественно объясняется отсутствием оперативных оценок минувшей катастрофы и перебоями телеграфной связи. Телеграммой из Петербурга уточняется, что бедствие невелико по сравнению с Вернинским землетрясением 1887 года, так как большинство построек деревянные, изучение последствий землетрясения Богдановичем подтверждает, что деревянные постройки и правда сохранились относительно неплохо – «…ни одна деревянная постройка не была приведена в совершенную негодность для пользования…»[7]. В номере от 28 декабря появляются подробности минувшей катастрофы в цифрах, больше всего по приблизительным оценкам погибло киргизов в окрестностях Верного, ни одна юрта, ни одно глинобитное здание не устояли. Уточняется, что телеграфная связь с Пржевальском разорвана, оттуда сведений нет. Дороги в город больше не было в связи с сильным изменением ландшафта[8]. На фоне отсутствия связи с Пржевальском появились слухи, что город был полностью разрушен, а на его месте образовалось озеро[9], однако вскоре слухи были опровергнуты, когда почта, наконец, добралась до Ташкента. В самом городе всё спокойно, здания не пострадали, однако, как уже упоминалось выше, дорога была разрушена расщелинами, провалами, много людей погибло под обвалами[10]. Данные о бесчисленных афтершоках появляются в газетах до конца января: ночь в 26 января толчок в четыре балла; 27 января в три часа утра продолжительное колебание почвы[11].

В последующие дни газеты продолжали публиковать новые подробности. Стоит заметить, что полученные телеграммы публиковались дословно в двух изданиях, поэтому разделять их не будем. В ночь на 31 декабря в Верном был зафиксирован толчок в шесть баллов, сопровождавшийся сильным гулом. В урочище Кебен Пишпекского уезда было обнаружено 204 трупа киргизов и множество погибшего скота. Особенно сильные колебания произошли 1 января: в 13 часов 40 минут в Верном наблюдалось десятисекундное волнообразное колебание, завершившееся ударом в десять баллов — это была максимальная зафиксированная интенсивность за всё время. Вечером того же дня, в 23 часа 40 минут, последовал семибалльный толчок с гулом, а в 2 часа 30 минут ночи — шестибалльный. Население было объято ужасом, люди проводили ночи на улицах при пятнадцатиградусном морозе[12]. Дополняется эта душераздирающая картина публикацией воспоминания очевидца: «…Колебания были волнообразны и, как мне показалось, шли с северо-востока на северо-запад. Это ужасное состояние, которому нет имени, для описания которого нет слов, этот сплошной ужас, продолжается более минуты и казалось вечностью. А на дворе стоял мороз в 12 градусов Реомюра, но люди его не замечали и выбегали на улицу в одном белье. Выбегали и падали от подземных толчков прямо на снег»[13]. Мороз и правда отягощал и без того

[5] Туркестанское землетрясение // Жизнь Алтая. – 1911. – № 6 (9 янв.). – С. 4.
[6] Землетрясение // Жизнь Алтая. – 1911. – № 2 (4 янв.). – С. 2.
[7] Богданович К.И. Землетрясение 22-го декабря 1910 г. (4-го января 1911 г.) в северных цепях Тянь-Шаня между Верным и Иссык-кулем // Известия Геологического комитета. – СПб., 1911. – Т. 30, № 4. – С. 335.
[8] Землетрясение в Средней Азии // Сибирская жизнь. – Томск, 1910. – № 288 (28 дек.). – С. 1.
[9] Землетрясение // Жизнь Алтая. – 1911. – № 2 (4 янв.). – С. 2.
[10] Землетрясение в Средней Азии // Сибирская жизнь. – Томск, 1910. – № 288 (28 дек.). – С. 1.
[11] Отголоски землетрясения в Семиреченской области // Жизнь Алтая. – 1911. – № 23 (29 янв.). – С. 1.
[12] Землетрясение // Жизнь Алтая. – 1911. – № 2 (4 янв.). – С. 2.
[13] Землетрясение в Семиреченской области // Сибирская жизнь. – Томск, 1911. – № 7 (11 янв.). – С. 3.

бедственное положение населения – люди боясь войти в уцелевшие жилища, вынуждены были проводить ночи на улице, однако, даже те, кто решились вернуться в дома, не могли обогреться, ведь девять десятых печей было разрушено[14], 800 семей остались без крова[15].

География отголосков землетрясения, основываясь на изученном материале, оказалась обширной. Помимо непосредственно пострадавших городов Семиречья — Верного, Джаркента, Пржевальска, Токмака, Пишпека — подземные толчки зафиксированы в Ташкенте, Коканде, Новой Бухаре, Чимкенте, Аулие-Ата, Копале, а также в Дербенте, где 4 января в 3 часа 40 минут утра в течение пяти секунд ощущалось колебание почвы[16]. На северо-востоке колебания ощущались в Семипалатинской области, в частности в Каркалинске и Семипалатинске, и как уже было указано выше в Екатеринбурге, где обсерватория отметила два толчка.

Первые сообщения о жертвах появились в газетах 25 декабря 1910 года: в Верном погиб 41 человек, в Джаркенте под развалинами сакли задавило мальчика[17]. Три дня спустя цифры уточнились — в самом Верном насчитали 36 убитых, в его окрестностях ещё 8, в Токмаке погибло 11, в Буамском ущелье 20 человек, а десятки убитых киргизов оставались не погребёнными в горах[18]. В начале января стали известны масштабы трагедии в урочище Кебен, о котором уже упоминалось выше, там обнаружили 204 тела, и в Сазановке с окрестностями, где погиб ещё 41 человек[19]. Почти одновременно поступили сведения о 155 погибших в Сарыбагишевской волости, позже это число возрастет до 250[20] и 13 убитых на станции Джиль-Арык[21]. К середине января Туркестанский генерал-губернатор обобщил данные: общее число жертв достигло 390 человек, из которых лишь 14 были русскими, остальные — киргизы, таранчинцы и сарты. По области материальный урон понесли более 100 тысяч человек оседлого населения и 15 тысяч киргизских кибиток[22]. В горах обвалы уничтожили целые стада скота и множество зимовок, а в некоторых местах земля разверзлась настолько, что в трещины уходили запасы зерна[23]. Однако, учитывая, что большая часть погибших вела кочевой образ жизни, точное количество подсчитать, к сожалению, невозможно по сей день.

Интересные наблюдения публиковались и о поведении животных. Из Ташкента сообщали, что перед землетрясением кошки вскакивали и начинали мяукать раньше, чем люди ощущали толчки. Птицы, ночевавшие на деревьях, с испугом взлетали, собаки стремились вырваться из помещений и выли, лошади и коровы также проявляли беспокойство. Спокойнее всех оказались утки[24].

Население переживало не только физические лишения, но и глубокий психологический шок. По улицам Верного бродили люди, лишившиеся рассудка, состоятельные жители покидали город[25]. Паника усугублялась слухами и суевериями. Муллы, считая землетрясение карой Божией, наложили на мусульман эпитимию — ночной

[14] Землетрясение в Средней Азии // Сибирская жизнь. – Томск, 1910. – № 288 (28 дек.). – С. 1.
[15] К землетрясению в Средней Азии // Сибирская жизнь. – Томск, 1911. – № 9 (13 янв.). – С. 1.
[16] Землетрясение // Сибирская жизнь. – Томск, 1911. – №6 (9 янв.). – С. 2.
[17] Землетрясение в Средней Азии // Сибирская жизнь. – Томск, 1910. – № 287 (25 дек.). – С. 2.
[18] Землетрясение в Средней Азии // Сибирская жизнь. – Томск, 1910. – № 288 (28 дек.). – С. 1
[19] Землетрясение // Жизнь Алтая. – 1911. – № 2 (4 янв.). – С. 2.
[20] Отголоски землетрясения в Семиреченской области // Жизнь Алтая. – 1911. – № 22 (28 янв.). – С. 2.
[21] Из газет // Сибирская жизнь. – Томск, 1911. – № 4 (6 янв.). – С. 3.
[22] Заседание комитета для сбора пожертвований в пользу пострадавших от землетрясения. // Жизнь Алтая. – 1911. – № 10 (14 янв.). – С. 1.
[23] Разные // Жизнь Алтая. – 1911. – № 17 (20 янв.). – С. 2.
[24] Землетрясение и животные // Жизнь Алтая. – 1911. – № 8 (12 янв.). – С. 2.
[25] Землетрясение в Верном // Жизнь Алтая. – 1911. – № 3 (5 янв.). – С. 2.

обход города с пением молитв. Дервиши предсказывали, что 20 января Семиречье провалится, что вызывало беспокойство среди тёмного населения[26].

Таким образом, сибирские газеты «Сибирская жизнь» и «Жизнь Алтая» с поразительной оперативностью и полнотой отразили ход одного из сильнейших землетрясений в истории региона. Благодаря их публикациям мы можем восстановить не только хронологию подземных ударов и масштабы разрушений, но и живую картину человеческих страданий, паники, суеверий. Пресса стала не просто летописцем бедствия, но и важным каналом информации, который связывал отрезанные от мира города с остальной Россией, позволяя современникам и потомкам осознать всю грандиозность происшедшего.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданович К.И. Землетрясение 22-го декабря 1910 г. (4-го января 1911 г.) в северных цепях Тянь-Шаня между Верным и Иссык-Кулем // Известия Геологического комитета. — СПб., 1911. — Т. 30, № 4. — С. 329–419.
2. Заседание комитета для сбора пожертвований в пользу пострадавших от землетрясения // Жизнь Алтая. — Барнаул, 1911. — № 10 (14 янв.).
3. Землетрясение // Жизнь Алтая. — Барнаул, 1911. — № 2 (4 янв.).
4. Землетрясение // Жизнь Алтая. — Барнаул, 1911. — № 3 (5 янв.).
5. Землетрясение // Сибирская жизнь. — Томск, 1911. — № 6 (9 янв.).
6. Землетрясение в Верном // Жизнь Алтая. — Барнаул, 1911. — № 3 (5 янв.).
7. Землетрясение в Семиреченской области // Сибирская жизнь. — Томск, 1911. — № 7 (11 янв.).
8. Землетрясение в Средней Азии // Сибирская жизнь. — Томск, 1910. — № 287 (25 дек.).
9. Землетрясение в Средней Азии // Сибирская жизнь. — Томск, 1910. — № 288 (28 дек.).
10. Землетрясение и животные // Жизнь Алтая. — Барнаул, 1911. — № 8 (12 янв.).
11. Из газет // Сибирская жизнь. — Томск, 1911. — № 4 (6 янв.).
12. К землетрясению в Средней Азии // Сибирская жизнь. — Томск, 1911. — № 9 (13 янв.).
13. Отголоски землетрясения в Семиреченской области // Жизнь Алтая. — Барнаул, 1911. — № 22 (28 янв.).
14. Отголоски землетрясения в Семиреченской области // Жизнь Алтая. — Барнаул, 1911. — № 23 (29 янв.).
15. Разные // Жизнь Алтая. — Барнаул, 1911. — № 17 (20 янв.).
16. События в Средней Азии, землетрясение // Сибирская жизнь. — Томск, 1910. — № 289 (29 дек.).
17. Стрельников А.А. Параметризация палео- и исторических землетрясений Иссык-Кульской впадины, Северный Тянь-Шань: Дис. … канд. геол.-минерал. наук. ИФЗ РАН. — М., 2022. — С. 3.
18. Суеверия // Жизнь Алтая. — Барнаул, 1911. — № 16 (21 янв.).
19. Туркестанское землетрясение // Жизнь Алтая. — Барнаул, 1911. — № 6 (9 янв.).

[26] Суеверия // Жизнь Алтая. – 1911. – № 16 (21 янв.). – С. 3.

УДК550.380

МОДЕЛИРОВАНИЕ БОКОВЫХ АНОМАЛИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В СКВАЖИНАХ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Дорогань Ульяна Васильевна
viryasova.u@mail.ru
Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. В статье представлены экспериментальные данные моделирования боковых аномалий магнитного поля в скважинах в лабораторных условиях. Также описаны результаты применения методики интерпретации на примере измерений магнитной восприимчивости и трех составляющих геомагнитного поля в скважине Северо-Тараташского участка. Анализ каротажных диаграмм и картины векторов геомагнитного поля даёт возможность определить местоположение магнитных тел в околоскважинном пространстве.

MODELING OF LATERAL MAGNETIC FIELD ANOMALIES IN WELLS IN LABORATORY CONDITIONS

Dorogan Ulyana Vasilievna
viryasova.u@mail.ru
Institute of Geophysics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

Abstract. The article presents experimental data on modeling lateral magnetic field anomalies in wells under laboratory conditions. It also describes the results of applying the interpretation methodology using measurements of magnetic susceptibility and three components of the geomagnetic field in the North-Taratashsky well. The analysis of logging diagrams and the pattern of geomagnetic field vectors allows for the determination of the location of magnetic bodies in the near-well space.

Скважинная магнитометрия является одним из наиболее эффективных методов при поисках и разведке месторождений, связанных с магнитной минерализацией. Преимущество метода заключается в том, что горные породы изучаются в естественном залегании. По измерениям магнитного поля исследуется околоскважинное пространство в радиусе десятков и даже сотен метров. Скважинная магнитометрия используется для решения широкого круга геологических задач, к числу которых относятся поиски магнитных рудных тел в околоскважинном пространстве, определение элементов залегания, формы и размеров намагниченных рудных тел и их оконтуривание при подсчёте запасов, расшифровка природы магнитных аномалий [3].

Скважинная магнитометрия, как и наземная магниторазведка, является методом изучения аномалий земного магнитного поля и выявления их связей с локальными намагниченными объектами и базируется на тех же теоретических принципах.

Однако существуют значительные различия, которые на практике усложняют решение данного вопроса:

1. В скважинной магнитометрии аномальный объект относительно профиля расположен произвольно.

2. В скважинной магнитометрии к услугам наблюдателя всего только один профиль наблюдения (одна скважина), причем часто он даже не дает выхода в нормальное магнитное поле, знание которого необходимо для большей части методов интерпретации в полевой магниторазведке.

3. При скважинных наблюдениях возможны измерения внутри намагниченных тел.

4. Аномалии Z-составляющей в скважинной магнитометрии имеют "обратный" вид по сравнению с наземными аномалиями. При этом по одной лишь аномалии Z-составляющей невозможно установить, с какой стороны от скважины находится аномальный объект [4].

Из перечисленных различий и вытекает необходимость трёхкомпонентных измерений в скважинах и разработка специфических приемов их интерпретации.

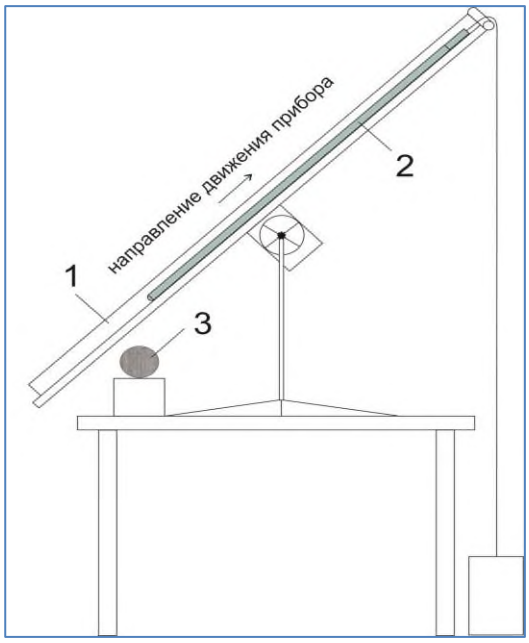


Рис.1. Установка для моделирования магнитных аномалий
1 –жёлоб, по которому двигался прибор;
2 – магнитометр МИ-3803М;
3 – магнитовозмущающий объект

Целью проведения данной работы явилась апробация методики интерпретации данных скважинной магнитометрии, в случае аномалий, обусловленных телами, расположенными в стороне от скважины – боковыми аномалиями.

В лаборатории скважинной геофизики Института геофизики УрО РАН была сконструирована установка (рис.1), с помощью которой осуществлялось перемещение трёхкомпонентного скважинного магнитометра-инклинометра МИ-3803М по линии наблюдения, в стороне от которой был локализован магнитовозмущающий объект [2]. В ходе опытов пространственное положение данного объекта изменялось, для того чтобы проследить как изменяется форма и знак компонент магнитного поля в зависимости от направления намагниченности *J* объекта.

Азимут сконструированной установки составил 314°, угол наклона 44°, объект изометричной формы располагался на северо-востоке от модели скважины.

В результате проведённых экспериментов были смоделированы 4 аномалии. Первые две представляют собой аномалии с намагниченностью вдоль оси скважины: первая — с направлением вниз (прямая), вторая — с направлением вверх (обратная). Были получены практически симметричные кривые, что подтвердило тот факт, что тело имеет форму, близкую к изометричной.

В случае с прямой намагниченностью, изображённой на рис.2(а) величина аномалии Z_a относительно нормального поля составила около минус 26 000 нТл, величина аномалии H_a около 48 000 нТл, азимут сместился от 314° практически до 0°. В случае с обратной намагниченностью, изображённой на рис.2(б) кривая Z приняла противоположный вид и величина аномалии Z_a относительно нормального поля составила около 13 300 нТл, аномалии H_a около 26 000 нТл, азимут сместился от 314° до 0°.

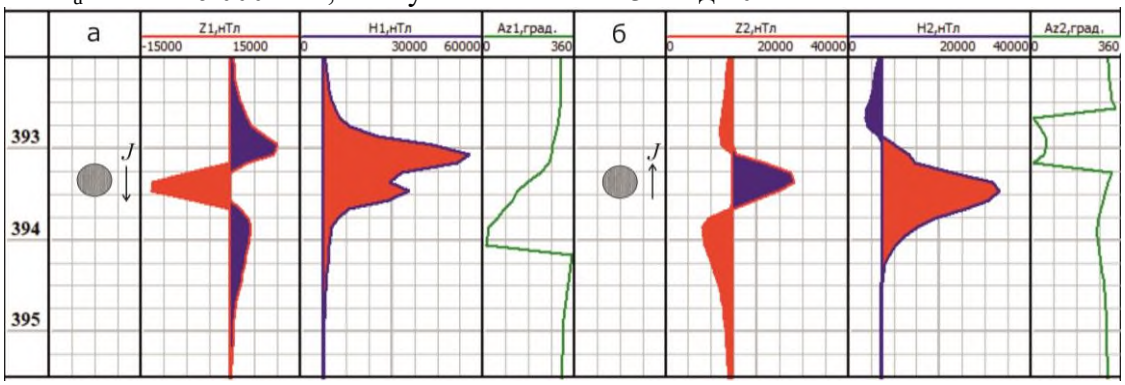


Рис.2. Боковые аномалии, полученные путем моделирования в лабораторных условиях, намагниченность направлена вдоль оси скважины: а-прямая; б-обратная

На основании интерпретации картины векторов в разных плоскостях можно определить пространственное положение тела относительно скважины. Тело с прямой намагниченностью, ориентированной параллельно оси скважины было установлено с северо-востока относительно модели скважины, что подтверждается сходимостью верхнего веера векторов и расхождением нижнего веера в указанном направлении (рис.3).

В случае же с аномалией, полученной от тела, имеющего обратную намагниченность, также параллельную оси скважины, вектора интерпретируются обратным образом, из чего следует, что тело расположено с той стороны, откуда расходится верхний и куда сходится нижний веер векторов, то есть на северо-востоке (рис.4).

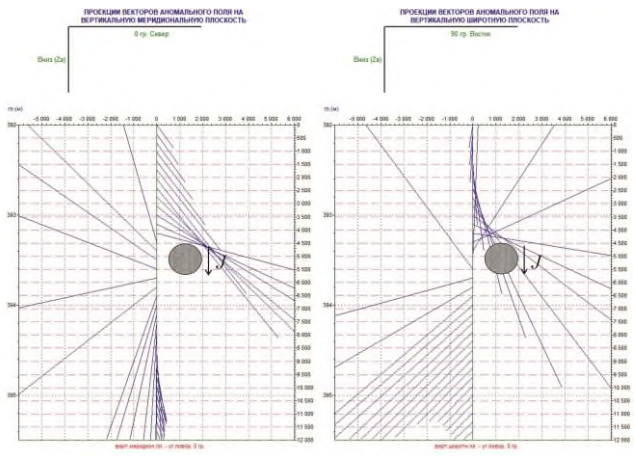


Рис. 3. Проекции векторов аномального поля, намагниченность направлена вдоль оси скважины, прямая

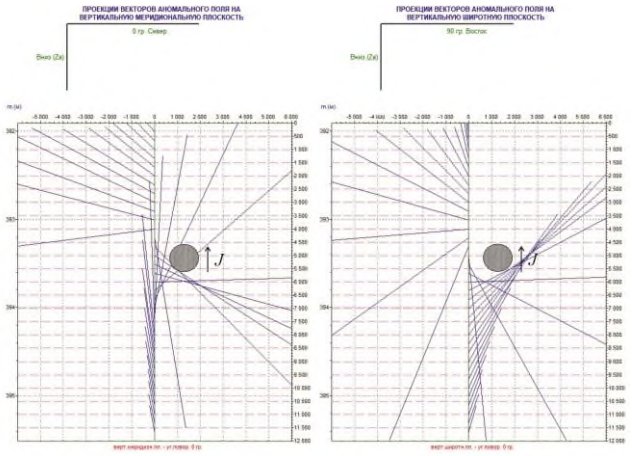


Рис.4 Проекции векторов аномального поля, намагниченность направлена вдоль оси скважины, обратная

Также были проведены эксперименты в одном из которых, изображённом на рис.5(а), магнитовозмущающий объект был расположен таким образом, что его намагниченность была направлена к оси скважины под углом 90°. В данном случае кривые характеризуются двумя знакопеременными аномалиями и изменяются: $Z_a \approx$ от -6 700 до 9 300 нТл, $H_a \approx$ от -7400 до 12 600 нТл, Азимут сместился от 314° до 90°

В другом эксперименте магнитовозмущающий объект был расположен вертикально вверх и, учитывая, что угол наклона скважины составлял 44°, то угол между направлением намагниченности и осью скважины составил 46° (рис.5(б)). Величина аномалии Z_a относительно нормального поля составила около 30 000 нТл, аномалии H_a около 35 000 нТл, азимут сместился от 314° до 280°.

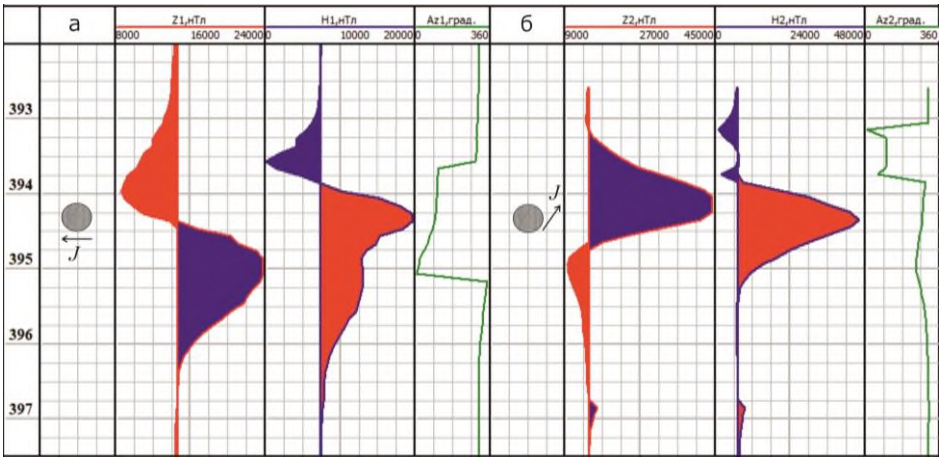


Рис.5. Боковые аномалии, полученные путем моделирования в лабораторных условиях, намагниченность: а-под углом 90° к оси скважины; б-под углом 46° к оси скважины

Картина векторов также была проинтерпретирована и были сделаны выводы, что в случае, когда намагниченность, направлена к оси скважины под углом 90°, по расходящимся с северо-востока векторам можно утверждать, что с этой стороны от скважины, и расположено тело (рис.6). В случае, когда намагниченность направлена под углом 46° к оси скважины, по сходящемуся вееру векторов расположение тела на северо-востоке также подтверждается (рис.7).

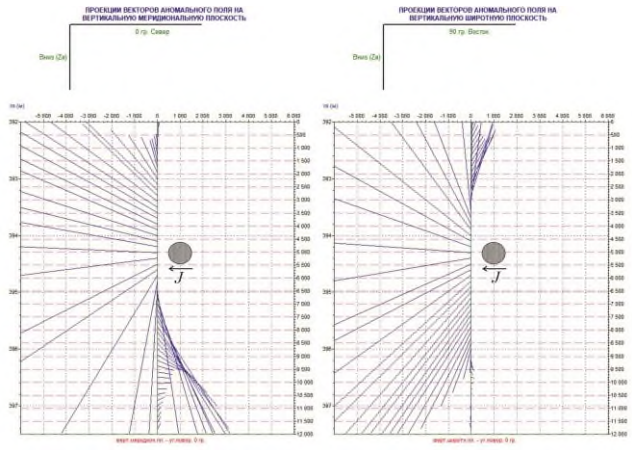


Рис.6. Проекции векторов аномального поля, намагниченность, под углом 90° к оси скважины

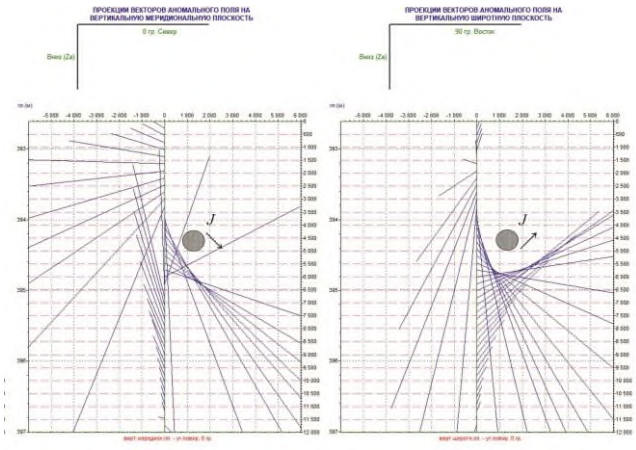


Рис.7. Проекции векторов аномального поля, намагниченность, под углом 46° к оси скважины

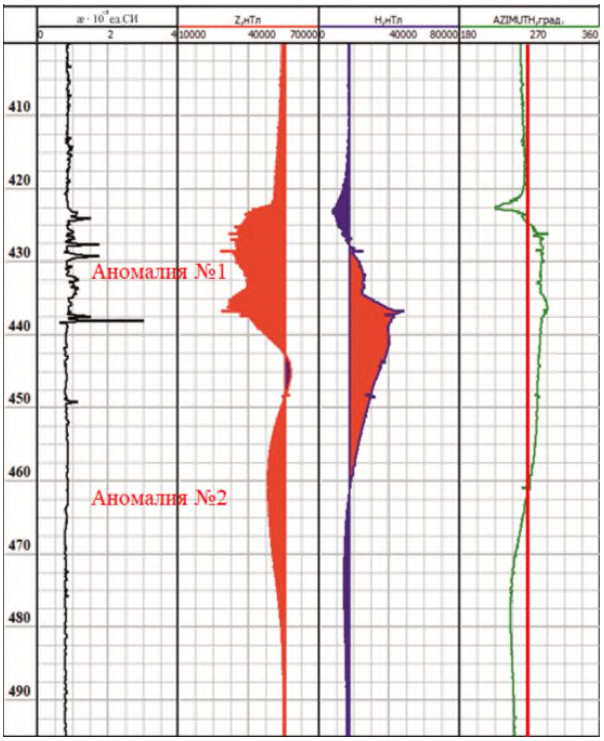


Рис.8 Результаты скважинной магнитометрии в скважине на месторождении Куватал

В результате проведения экспериментов была апробирована методика интерпретации боковых аномалий по данным скважинной магнитометрии. Далее была выполнена интерпретация данных скважинной магнитометрии для скважины месторождения Куватал Северо-Тараташского участка, расположенного в Челябинской области. Месторождние Куватал локализовано в породах, представленных комплексом глубоко метаморфизованных пород: гнейсов и мигматитов, пироксен-плагиоклазовых кристаллических сланцев, магнетитовых кварцитов. Магнитные свойства пород изменяются в соответствии с увеличением в них среднего содержания магнетита, обусловленного увеличением степени метаморфизма и увеличением основности магматических пород [1].

По данным скважинной магнитометрии, проведенной в скважине, было выделено две боковые аномалии: в интервале глубин 420-442 м (аномалия№1) и в интервале 448-480 м (аномалия №2). Нормальное поле в скважине составляет Z = 56 500 нТл и H = 17 240 нТл (рис.8).

Величина аномалии №1 относительно нормального поля составила: Z_a = -23 000 нТл, H_a = 22 000 нТл. Судя по кривой æ, в данном интервале наблюдается пересечение рудного тела, но величина æ слишком мала, для подтверждения таких интенсивных аномалий составляющих магнитного поля, так что вероятнее всего это боковая аномалия краевого

сечения. А небольшая величина магнитной восприимчивости и повышенная дифференцированность кривой указывает на то, что скважина пересекла ореол рассеяния рудного тела. Плавный подход к аномалии №2, без выхода в нормально поле обусловлен, скорее всего, верхней аномалией краевого сечения. Азимут скважины в данном интервале по данным инклинометрии равен 270°, под влиянием объекта он изменятся до 285°.

Величина аномалии №2 относительно нормального поля составила: Z_a = 9 000 нТл, аномалия H_a изменяется от -2200 до 7700 нТл. Азимут скважины в данном интервале под влиянием объекта изменятся от 270 до 250°, смещаясь в противоположную сторону.

Вероятно, аномалии от тел накладываясь друг на друга, смазывают картину векторов, но, тем не менее, достаточно четко просматриваются расходящиеся веера векторов, что позволяет определить расположение объектов (рис.9).

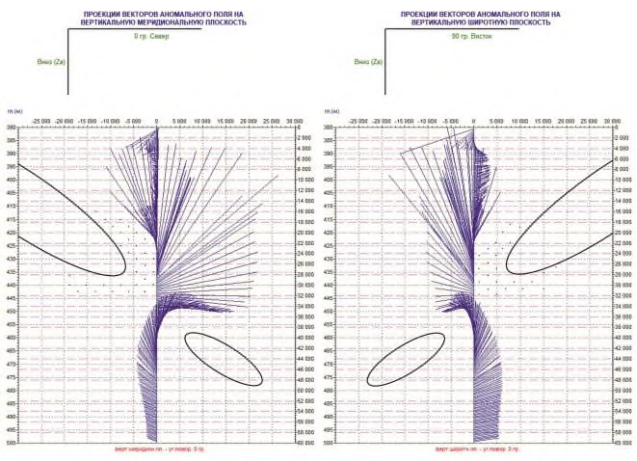


Рис.9. Проекция векторов аномального поля по скважине на месторождении Куватал

Вне зависимости от того, какую конфигурацию и какое направление намагниченности имеет тело, можно достоверно определить его местоположение относительно скважины при помощи интерпретации кривых компонент скважинной магнитометрии и построенных по этим данным векторов магнитного поля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипин А.Н., Баженова Е.А., ВдовинА.Г., Федосов М.А., Хацкевич Б.Д. Результаты комплексирования наземных геофизических методов на Северо-Тараташском участке//Уральский геофизический вестник. 2017. №2. С.4 — 8
2. Астраханцев Ю.Г., Белоглазова Н.А. Комплексная магнитометрическая аппаратура для исследований сверхглубоких и разведочных скважин. Екатеринбург: УрО РАН, 2012г. 119 с.
3. Магниторазведка: Справочник геофизика / Под ред. В.Е. Никитского, Ю.С. Глебовского. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Недра, 1990. 470 с.
4. Сковородников И.Г. Геофизические исследования скважин: учебник для вузов. 4-е изд., переработ. и дополн. - Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. 456 с.

УДК 551.24.02

ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЮЖНОЙ АТЛАНТИКИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ФИЗИЧЕСКОГО И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Егоров Демид Геннадьевич[1], *Боголюбский Вячеслав Андреевич*[2]
[1]*demid22101721@mail.ru*; [2]*bogolubskiyv@gmail.com*
[1,2]*Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова, г. Москва, Россия*

Аннотация. Представлены особенности структурной сегментации и термического режима осевой зоны приантарктического сегмента Срединно-Атлантического хребта. Анализ геофизических данных позволил проверить достоверность физической модели и установить корректные параметры для математического моделирования. Объединение результатов моделирования позволило сделать выводы о строении литосферы в исследуемом регионе.

GEODYNAMIC MODEL OF THE SOUTH ATLANTIC BASED ON THE RESULTS OF PHYSICAL AND MATHEMATICAL MODELING

Demid Egorov[1], *Vyacheslav Bogolubskiy*[1]
[1]*demid22101721@mail.ru*; [2]*bogolubskiyv@gmail.com*
[1,2]*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

Abstract. The structural segmentation and thermal regime of the axial zone of the Antarctic segment of the Mid-Atlantic Ridge are presented. Analysis of geophysical data allowed us to validate the physical model and establish correct parameters for mathematical modeling. Combining the modeling results allowed us to draw conclusions about the structure of the lithosphere in the study region.

Район исследования включает приантарктический сегмент Срединно-Атлантического хребта (САХ), ограниченный Агульяс-Фолклендским трансформным разломом (АФТР) на севере (48° ю.ш.) и тройным соединением Буве (ТСБ) на юге (55° ю.ш.). Скорость спрединга варьирует от 3,2 до 3,6 см/год. Особенности рельефа и наблюдаемые геофизические поля, позволяют выделить 3 крупных сегмента. Самый северный сегмент I, простирается от АФТР до трансформного разлома 51° ю.ш. Его осевая область представлена рифтовой долиной, глубина которой закономерно увеличивается с 2,5 км на севере до 3,5 км на юге, а в северо-восточной части сегмента расположен поперечный к простиранию САХ хребет Литл Ридж. Южнее расположен сегмент II, где глубина рифтовой долины составляет 4 км. На всём протяжении этого отрезка отсутствуют нетрансформные смещения (НТС), но выделяются 2 трансформных разлома. Сегмент III простирается от 52° ю.ш. до ТСБ и характеризуется морфологией осевого поднятия. С востока к оси подходит поперечный хребет Шона. Сегмент I приурочен к району влиянию горячей точки (ГТ) Дискавери, тогда как сегмент III тяготеет к ГТ Шона.

Гравитационные аномалии в свободном воздухе (рис.1А) хорошо соотносятся с морфологией хребта. Осевая долина самого северного сегмента характеризуется отрицательными аномалиями, а осевое поднятие сегмента III выражается положительными аномалиями. Амплитуда гравитационных аномалий поперечного поднятия Литл-Ридж достигает максимума (110 мГал) в его центральной части и снижается до минимума (30 мГал) на окраинах. Хребет Шона, в свою очередь, также отмечается схожим распределением значений: в восточной части структуры аномалии закономерно увеличиваются с 100 мГал до 160 мГал, а в западной части снижаются до 70 мГал . Это отражает уменьшение магматической активности, по мере приближения к современной рифтовой зоне. Аномалии Буге (рис.1В) достигают максимума в самом южном сегменте III (500 мГал) и минимума в сегменте II (360 мГал), что указывает на увеличение мощности океанической коры в районе влияния ГТ Шона. В пределах сегмента I наблюдается большая амплитуда аномалий: в

северной части аномалии Буге равны 440 мГал, а в южной части этого же сегмента аномалии составляют 400 мГал. Подобное распределение аномалий позволило предположить, что в пределах сегмента I мощность коры колеблется от 7 км на юге до 8 км на севере; для сегмента II - 6 км, как средняя мощность океанической коры, не подверженной термическому влиянию [1]; для сегмента III - 9 км. Интенсивность магнитных аномалий (рис.1С) увеличивается к югу, что указывает на большую толщину магнитоактивного слоя, и, вероятно на более интенсивный магматизм.

Для выявления условий формирования структур описанных сегментов САХ использовалось физическое моделирование. Установка представляла собой текстолитовую ванну, заполненную модельным веществом, которое обладало реологическим критерием подобия океанической литосфере [2]. Горячие точки имитировались локальным источником нагрева.

Для численного анализа по алгоритму [1] была написана программа на языке Fortran, которая позволила создать модель термического режима путём периодических внедрений осевых интрузий. Внедрение интрузий рассматривалось как мгновенное событие, а в промежутках между ними термическое возмущение, вызванное внедрением, релаксировало согласно уравнению (1). Спрединг имитировался смещением предшествующего поля температур на ширину интрузии и заменой температуры в области расчёта на температуру интрузии. Предполагалось, что температура внедряющегося расплава на 50°С ниже, чем температура мантии.

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\rho c_p T\right) = \frac{\partial}{\partial x}\left(k\frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(k\frac{\partial T}{\partial z}\right) + A \quad (1)$$

Физические модели показали, что для сегмента I характерны нетрансформные смещения (НТС), которые формируются в областях разогретой литосферы (области подверженные термическому влиянию ГТ Дискавери). Поднятие Литл Ридж формируется в результате миграции мантийного материала через АФТР. Проведённая серия экспериментов для сегмента II показала, что для данного сегмента характерно формирование трансформных разломов (ТР), тяготеющих к относительно холодным участкам литосферы. Для сегмента III установлен переход от ТР к НТС, что отражает изменение термического состояния осевой зоны. Модель также демонстрирует, что формирование хребта Шона непосредственно связано с действием расплава, поступаемого от ГТ Шона (рис.3). Профили рельефа, построенные в физических моделях, хорошо коррелируют с наблюдаемым природным рельефом.

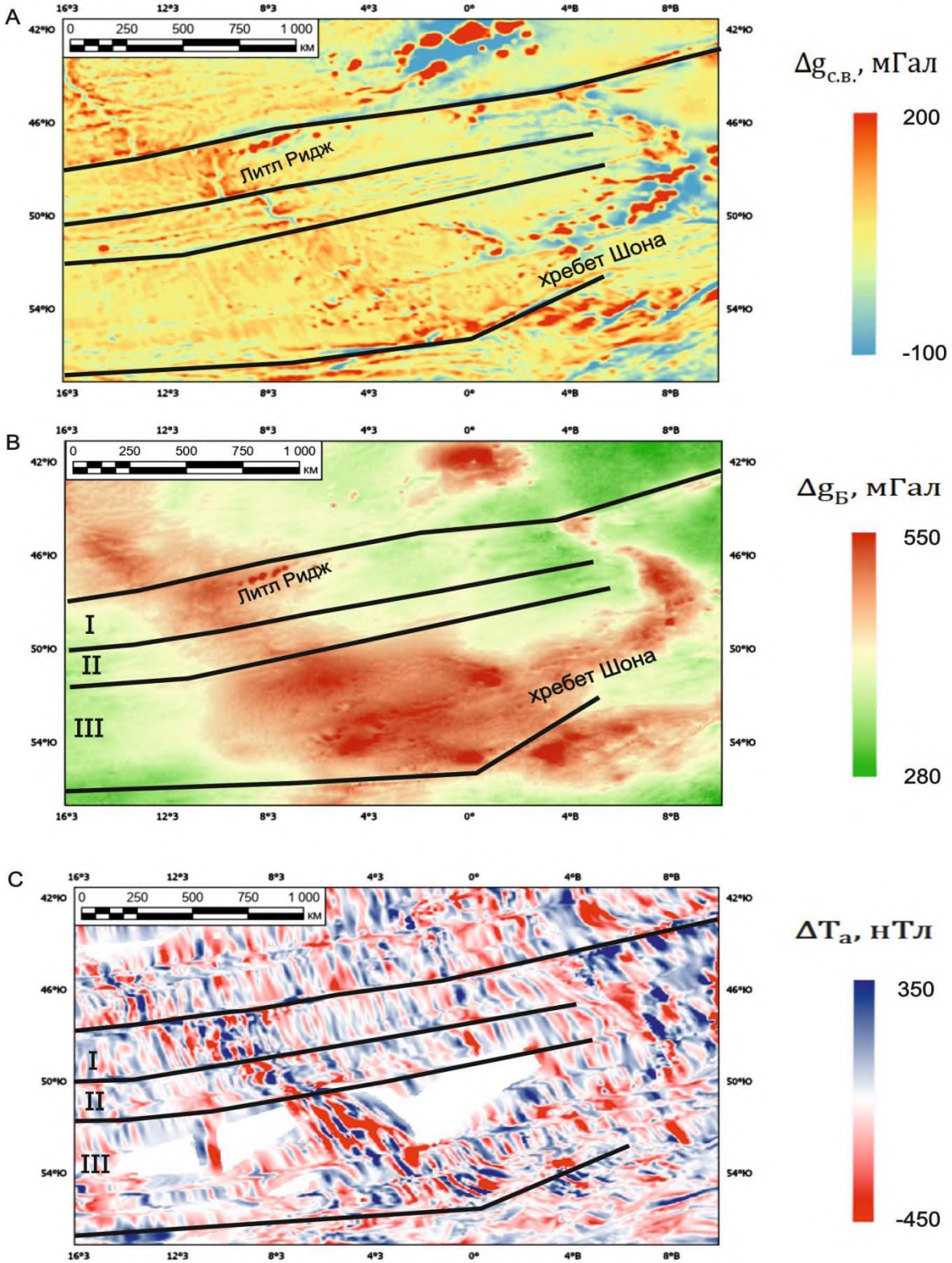


Рис.1. Геофизические характеристики Южной Атлантики. А - аномалии силы тяжести в свободном воздухе, В - аномалии силы тяжести в редукции Буге, С - аномальное магнитное поле [3,4].

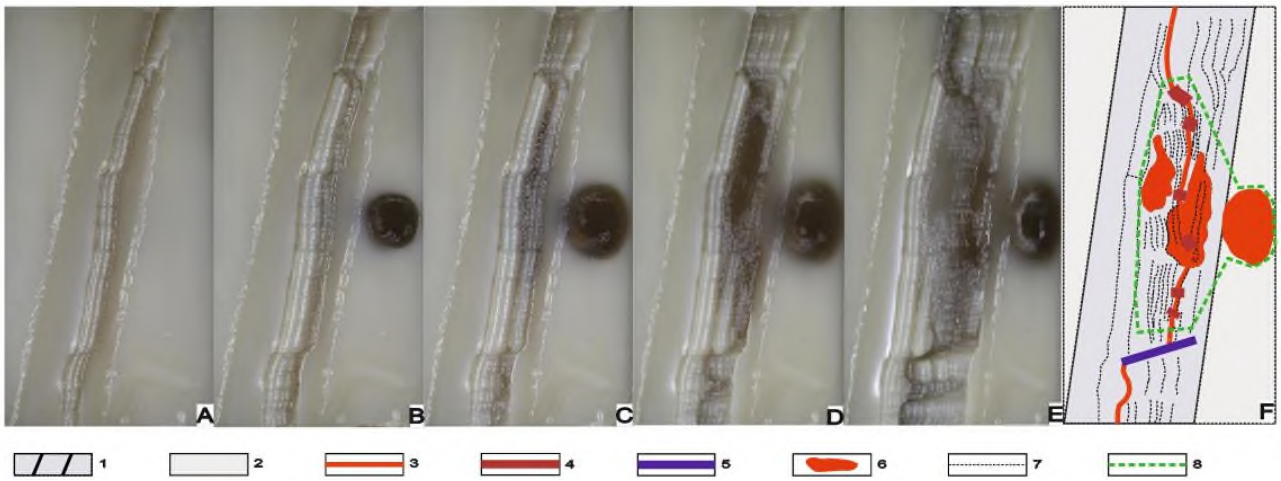


Рис.2. Особенности структурной сегментации в процессе эволюции сегмента III под влиянием горячей точки Шона. A-E – стадии эксперимента, F - схематическое дешифрирование стадии «E»: 1 – граница и область ослабленной зоны, 2 – вмещающие плиты, 3 – ось растяжения, 4 – нетрансформные смещения, 5 – трансформный разлом, 6 – область расплава, 7 – границы аккреционных валов, 8 – область влияния горячей точки.

Используя результаты физического моделирования, мы сделали предположение, что наиболее интенсивно термическому влиянию подвержен III сегмент, а, следовательно, температура мантии в этом регионе будет аномально высокой по сравнению с сегментами I и II. Численный анализ показал, что в самом южном сегменте, в осевой зоне формируется устойчивая коровая магматическая камера, которая появляется через 300 тыс.лет. активности спрединга. Её кровля фиксируется на глубине 7 км, степень плавления в камере не превышает 10%. Температура в мантии в этом сегменте оценивается в 1300°C (рис.3). Для сегмента I коровая камера не наблюдается, однако на границе Мохо предполагается формирование зоны сфокусированного мантийного апвеллинга, ширина которой растёт с течением времени. В северной части сегмента, вероятно имеющую более толстую кору, ширина зоны мантийного апвеллинга через 500 тыс.лет. составляет 10 км, а для южной части сегмента через такое же время – 6 км. Также в модели сегмента I формируются локальные коровые короткоживующие очаги, которые формируются в слое 3Б (расслоенный комплекс основных габбро и ультраосновных базитов). Появление таких очагов можно объяснить повышенным магматическим бюджетом, связанным с действием ГТ Дискавери. Для сегмента II, не подверженного термическому влиянию горячих точек, температура мантии оценивается в 1200°C, что способствует появлению мантийного апвеллинга, не доходящего до границы Мохо через 100 тыс.лет. Через 500 тыс.лет. мантийный расплав достигает границы кора-мантия, однако максимальная степень плавления в этой области не превышает 10%, тогда как для сегмента I это значение составляет 30%.

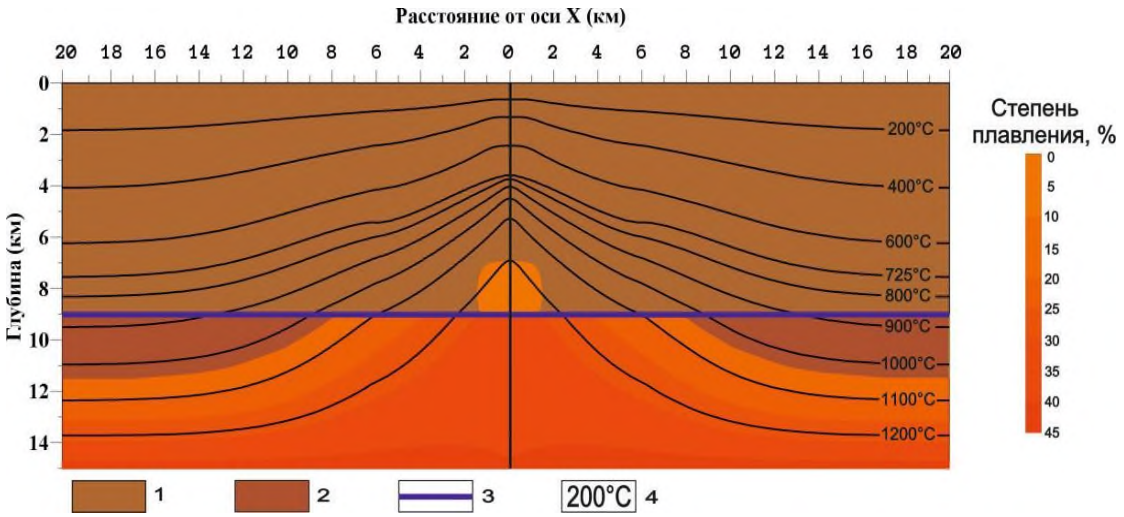


Рис.3.Термическое состояние осевой зоны сегмента III через 500 тыс.лет активности спрединга при температуре мантии 1300°C. 1 – океаническая кора, 2 – мантия, 3 – граница Мохо, 4 - изотермы.

Объединив результаты физического и численного моделирования, нам удалось создать геодинамическую модель для каждого сегмента Южной Атлантики. Сегмент I, вероятно имеет уменьшающуюся к югу мощность океанической коры. Изменение мощности объясняется распределением значений аномалии Буге и уменьшением термического воздействия ГТ Дискавери. Для всего сегмента предполагается формирование зоны мантийного апвеллинга, доходящего до границы кора-мантия. Для сегмента II мощность коры оценивается в 6 км, а зона апвеллинга достигает границы Мохо через 500 тыс. лет. активности спрединга. Предположительно, для сегмента III формируется устойчивая магматическая камера, ширина кровли которой составляет 2 км.

Работа выполнена при поддержке госзадания Московского государственного университета имени М.В.Ломонсова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

7. Галушкин Ю.И., Дубинин Е.П., Свешников А.А. Нестационарная модель термического режима осевых зон СОХ: проблема формирования коровых и мантийных магматических очагов //Физика Земли. 2007. № 2. С. 33-50.
8. Шеменда А.Н. Критерии подобия при механическом моделировании тектонических процессов. //Геология и геофизика. 1983. № 10. С.11.
9. Sandwell, D. T., Müller, R. D., Smith, W. H. F., Garcia, E. and Francis, R. 2014. New global marine gravity model from Cryo-Sat-2 and jason-1 reveals buried tectonic structure. Science, Vol. 346, 6205, pp. 65-67, doi: 10.1126/science.125821.
10. Meyer B., Saltus R., Chulliat A. EMAG2v3: Earth Magnetic Anomaly Grid (2-arc-minute resolution). Version 3. NOAA National Centres for Environmental Information https://doi.org/10.7289/V5H70CVX.

УДК 550.31

НОВАЯ МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ СЕЙСМИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

Конвисар Алексей Максимович
alexkonvisar@gmail.com
Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

Аннотация. Рассматривается подход к моделированию поверхностей сейсмических разрывов на основе данных спутниковой геодезии. Поскольку обратная задача восстановления распределения смещений по разрыву является некорректно поставленной, особое внимание уделяется методам регуляризации. Предлагается новый двухэтапный подход: сначала поверхность разрыва задаётся заведомо больших размеров, а задача решается при условии минимума вторых производных от поля смещений (условие гладкости), что позволяет определить область основных подвижек, затем уточняется направление подвижки с привлечением априорной сейсмологической и геологической информации. Методика апробирована на синтетических тестах для различных типов механизмов очага, а также применена к реальным землетрясениям. Результаты демонстрируют хорошее соответствие независимым данным и подтверждают эффективность предлагаемого подхода для получения устойчивых и физически обоснованных решений.

NEW METHOD OF SEISMIC RUPTURE MODELS CONSTRUCTING FROM SATELLITE DATA

Konvisar Alexey, Mikhailov Valentin
alexkonvisar@gmail.com
Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. An approach to modeling seismic rupture slip distributions based on satellite geodesy data is discussed. Since the inverse problem of retrieving slip distribution on a fault is ill-posed, special attention is paid to regularization methods. The authors propose a new two-stage approach: first, a deliberately oversized fault plane is used, and the problem is solved with condition of minimizing the second derivatives of the slip field (smoothness condition), which helps to identify the main rupture area, second, the slip direction is refined using prior seismological and geological information. The methodology was tested on synthetic benchmarks for different focal mechanism types and applied to real earthquakes. The results show good agreement with independent data and confirm the effectiveness of the proposed approach for obtaining stable and physically consistent solutions.

Спутниковая радарная интерферометрия (DInSAR) позволяет получать данные о смещениях земной поверхности с субсантиметровой точностью в любое время суток и при любых погодных условиях. Метод основан на вычислении разности фаз между двумя радиолокационными снимками одной территории, что дает информацию о деформациях земной поверхности в направлении на спутник $\Delta\varphi = -W\left(\frac{4\pi}{\lambda}u_{LOS}\right)$, где $W(\dots)$ — оператор свертки по модулю 2π, а u_{LOS} — смещение поверхности Земли в направлении на спутник, которое является сверткой трех компонент вектора смещений (на север, восток и по вертикали) с косинусами и синусами углов наклона зондирующего луча и азимута орбиты.

Эти данные широко используются для построения моделей поверхностей разрыва землетрясений путем решения обратных задач. Однако такие задачи являются некорректно поставленными и требуют применения регуляризации.

В работе предлагается новый комплексный подход, включающий модифицированный метод А.Н. Тихонова и использование геометрически обусловленных ограничений на основе

данных сейсмологии и геологии. Поверхность разрыва аппроксимируется набором прямоугольных элементов с применением аналитического решения задачи теории упругости для сферической радиально-слоистой Земли [6].

Обратная задача решается в такой постановке: определить распределение смещений на поверхности разрыва заданной конфигурации так, чтобы среднеквадратическое отклонение расчетных и измеренных смещений поверхности Земли было минимально.

Авторами ранее с использованием данных спутниковой геодезии был выполнен ряд исследований нескольких крупных землетрясений последних лет (Чигник 2021 [1], Айкол 2025 [5], Шипунское-1 2024 [2]). Модели поверхностей разрыва этих землетрясений были получены путем решения обратных задач только регуляризацией в виде условия близости направления подвижки на поверхности разрыва к заданному направлению. Несмотря на то, что использованная ранее методика продемонстрировала возможность моделирования землетрясений на основе данных спутниковой геодезии, она во многом опирается на некоторую априорную информацию о геометрии поверхности разрыва исследуемого землетрясения, например, область распределения афтершоков. Однако подобных данных может быть недостаточно для уверенного определения размеров и пространственного положения поверхности разрыва. Поэтому, как дальнейшее развитие опробованного метода, разработана модифицированная методика, основанная на использовании нескольких методов регуляризации обратной задачи, позволяющая отойти от неопределенности выбора геометрии поверхности разрыва и упростить процесс моделирования. В предлагаемой методике построение модели поверхности разрыва производится в два этапа (рис. 1). На

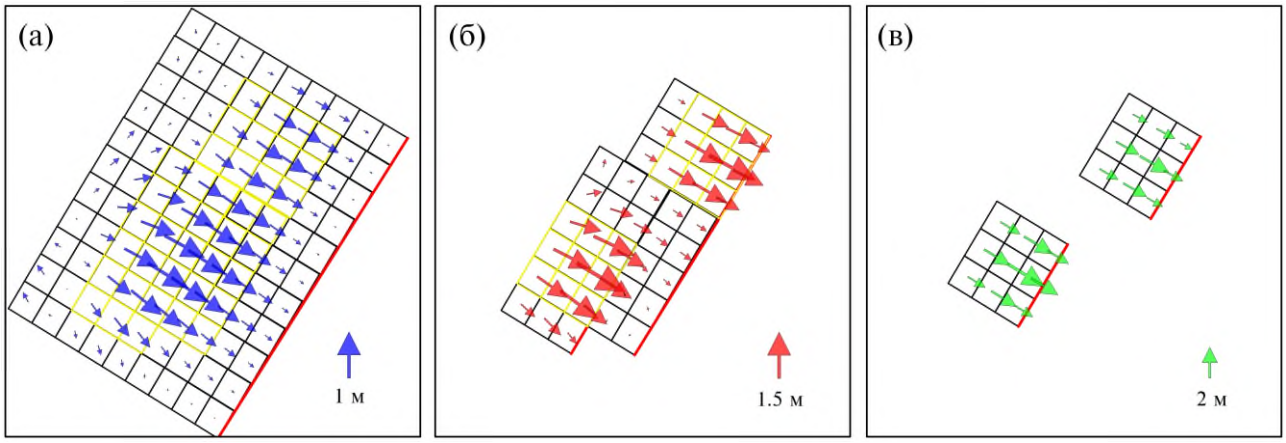


Рис. 1. Схема моделирования поверхности разрыва согласно предлагаемой методике: а — первое решение обратной задачи; б — второе решение обратной задачи; в — полученная модель. Прямоугольниками показаны элементы поверхностей разрыва, а стрелками — смещения, получаемые на них. Красные линии показывают верхние кромки моделей.

первом этапе для решения обратной задачи задается поверхность разрыва заведомо больших размеров, чем ожидаемая для рассматриваемого землетрясения. Углы падения и простирания задаются по морфологии полей РСА-смещений и данным сейсмологии и могут варьироваться в процессе решения обратной задачи. Обратная задача решается с регуляризирующим условием минимума нормы вторых производных от поля смещений на поверхности разрыва. В данной постановке задача остаётся линейной по компонентам вектора смещений на элементах модели. При вычислении вторых производных смещения на внешнем периметре аппроксимирующей плоскости задаются равными нулю. В результате, получаемое поле смещений имеет один или несколько экстремумов в пределах поверхности разрыва и плавно сходит к нулю на её границах (рис. 1а). Для дальнейшего рассмотрения выбираются элементы разбиения, на которых по результатам первого решения получились смещения, превосходящие некоторый заданный предел. Далее для выбранных элементов решается еще одна обратная задача, но уже с условием минимального отклонения вектора

смещений от заданного (по данным сейсмологии или полевой геологии) направления подвижки. Это позволяет избегать резких изменений в поле смещений как по модулю, так и по направлению (рис. 1в). Такой комбинированный подход позволяет на первом этапе ограничить область подвижки без использования априорной информации о ее размерах, а на втором этапе получить решение, с минимальным количеством запертых участков, которые разделяют области разлома со значительными смещениями. Также нужно заметить, что первый этап — решение обратной задачи с условием гладкости получаемого поля — может быть выполнен несколько раз, в зависимости от конкретных результатов. В таком случае рассматриваемая на плоскости разрыва область будет «стягиваться» ближе к истинной с каждой итерацией (рис. 1).

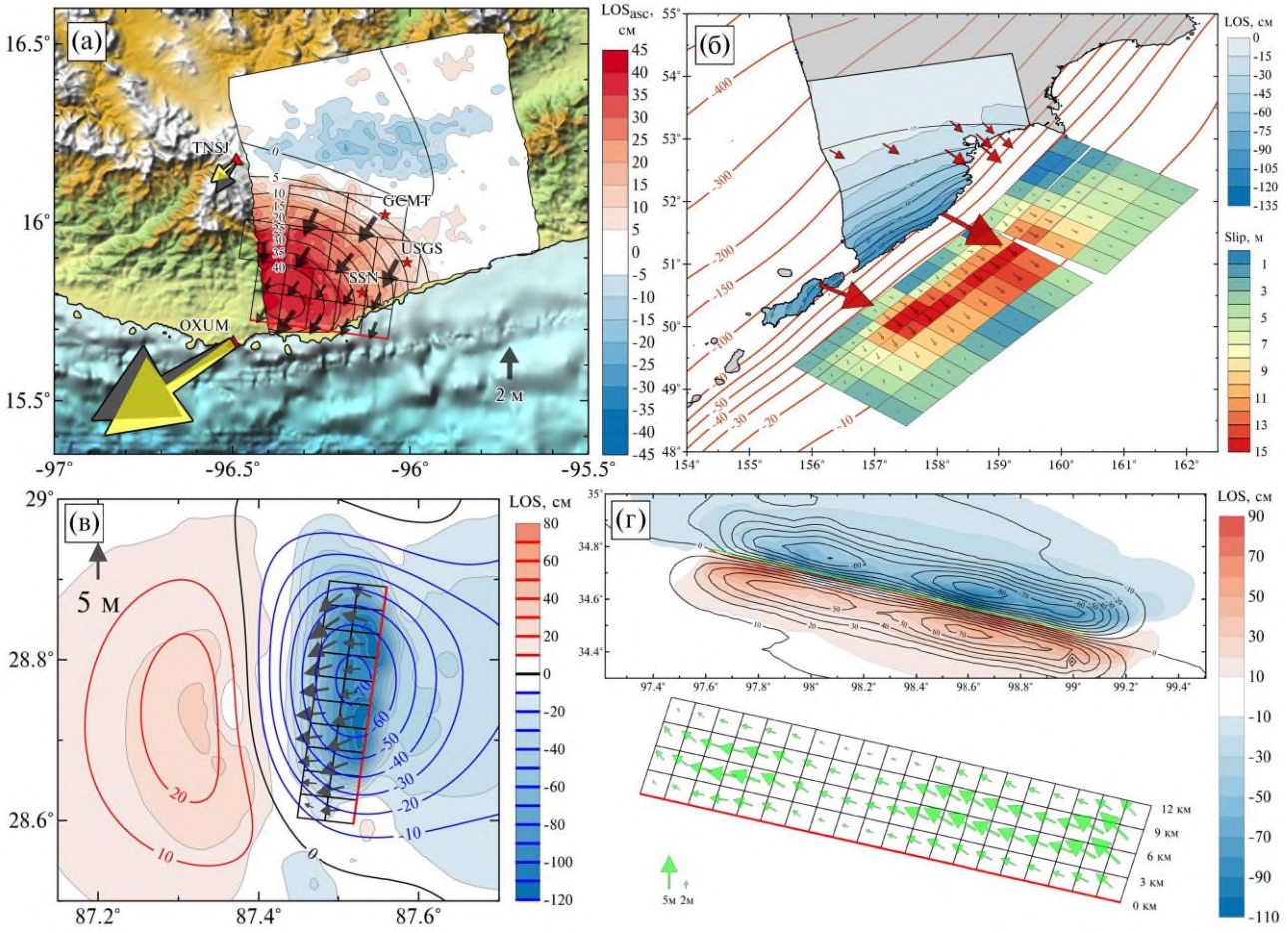


Рис. 2. Модели поверхностей разрыва землетрясений: а — 23.06.2020 в Мексике; б — 29.07.2025 на Камчатке; в — Динггье 07.01.2025; г — 21.05.2021 в Китае. Цветом показаны поля смещений, полученные с восходящей (а, б, в) и нисходящей (г) орбит методами спутниковой радарной интерферометрии, изолиниями — поля, полученные из рассчитанных моделей. На рис. 2а и 2б представлено сравнение горизонтальных косейсмичсеких смещений пунктов GPS: серые стрелки — реальные смещения, желтые и красные — модельные. На рис. 2г для более удобного отображения снизу отдельно показана проекция модели на вертикальный разрез. Красные прямые обозначают верхнюю кромку моделей поверхностей разрыва.

Для подтверждения корректности и работоспособности предлагаемого метода был проведен ряд синтетических тестов, и методика была применена к нескольким крупным землетрясениям разных типов механизма очага (Динггье 2025 [4], Мексика 2020, Китай 2021, Камчатка 2025 [3] (рис. 2)). Полученные результаты показали высокую эффективность

предлагаемой методики в синтетических тестах и при анализе реальных землетрясений различных типов, демонстрируя хорошее согласование с независимыми данными. Двухэтапный алгоритм (сначала определение геометрии разрыва через минимизацию вторых производных, затем уточнение направления подвижки) позволяет существенно упростить процесс моделирования, минимизировать влияние априорных допущений и получать устойчивые физически обоснованные решения.

Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю, д.ф.-м.н. Михайлову В.О. (ИФЗ РАН) за неоценимую помощь в формировании научного подхода, плодотворные обсуждения результатов и всестороннюю поддержку на всех этапах исследования. Представленная работа выполнена при непосредственном участии В.О. Михайлова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конвисар А.М., Михайлов В.А., Волкова М.С., Смирнов В.Б. Модель поверхности сейсмического разрыва землетрясения «Чигник» (Аляска, США) 29.07.2021 г. по данным спутниковой радарной интерферометрии и ГНСС // Вулканология и сейсмология. 2023. № 5. С. 74–83.
2. Конвисар А.М., Тимошкина Е.П., Титков Н.Н., Михайлов В.О., Волкова М.С., Смирнов В.Б., Чебров Д.В. Модель поверхности сейсмического разрыва Шипунского землетрясения 17.08.2024 на Камчатке // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2025. № 1. С. 18–27.
3. Михайлов В.О., Конвисар А.М., Смирнов В.Б., Тимошкина Е.П., Титков Н.Н., Хайретдинов С.А., Чебров Д.В. Модель поверхности разрыва землетрясения на Камчатке 29.07.2025 M 8.8 по данным спутниковой геодезии и интерферометрии // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2025. № 2. С. 330–338.
4. Михайлов В.О., Конвисар А.М., Тимошкина Е.П., Смирнов В.Б., Хайретдинов С.А. Землетрясение Динггье на юге Тибетского нагорья 07.01.2025: Растяжение в зоне континентальной коллизии // Доклады российской академии наук. Науки о Земле. 2025. № 1. С. 117–123.
5. Тимошкина Е.П., Конвисар А.М., Михайлов В.О., Пономарев А.В., Смирнов В.Б. Модель очаговой зоны землетрясения Айкол, Китай, 22 января 2024, по данным спутниковой радарной интерферометрии // Вулканология и сейсмология. 2024. № 6. С. 9–17.
6. Pollitz F.F. Coseismic deformation from earthquake faulting on a layered spherical Earth // Geophys. J. Int. 1996. V. 125. P. 1–14.

УДК 550.34

ИЗУЧЕНИЕ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА СЕЙСМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Косоротова Елена Александровна
kosorotiha30@gmail.com
Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация

Аннотация. Перед геофизическими методами при инженерных исследованиях, как правило, стоит задача определения глубины и рельефа залегания скальных пород. Из всего многообразия геофизических методов для решения поставленной задачи самые информативные и мобильные – это сейсмические. В данной работе сопоставляются результаты совместного использования и интерпретации метода преломленных волн и метода регистрации микросейсм. Зная скорость поперечных волн в рыхлом слое, используется формула пересчета из частотной области (передаточная характеристика Накамуры) в глубину. Таким образом, в точках наблюдения микросейсм может быть вычислена и прослежена глубина контрастных по акустической жесткости границ.

STUDY OF THE UPPER PART OF THE GEOLOGICAL SECTION BY SEISMIC METHODS

Elena A. Kosorotova
kosorotiha30@gmail.com
Institute of geophysics Ural Branch of Russian Academy of sciences, Ekaterinburg, Russian Federation

Abstract. Geophysical methods in engineering studies are usually faced with the task of determining the depth and relief of rock occurrence. Of the variety of geophysical methods, the most informative and mobile are seismic. In this work, the author compares the results of the joint use and interpretation of the refracted wave method and the microseismic sounding method. Knowing the speed of shear waves in the loose layer, a conversion formula from the frequency domain (Nakamura transfer characteristic) to depth is used. Thus, at the observation points of microseisms, the depth of boundaries contrasting in acoustic rigidity can be calculated and traced.

В инженерных исследованиях одна из основных задач наземных геофизических методов – это получение информации о свойствах геологической среды, находящейся между пробуренными скважинами. Геофизические методы отличаются друг от друга регистрацией и анализом различных по своей природе физических полей искусственного и естественного происхождения.

Зачастую возникает необходимость получения данных с минимальным количеством геологических данных или без проведения инженерно-геологических исследований (далее – ИГИ), когда объект находится в труднодоступных местах. В таком случае может помочь применение различных наземных сейсмических методов.

Один из самых распространенных наземных сейсмических методов – это метод преломленных волн (далее – МПВ). Применяется для определения глубины залегания и рельефа кровли коренных пород [1, 2, 3]. МПВ применим одинаково эффективно в городской среде [4] и в полевых условиях [5]. Техногенные помехи (территории городов, линии электропередач и др.), безусловно, мешают проведению работ, однако существуют методические, а также программные подходы (при обработке полученных данных) для повышения отношения сигнал/шум [6]. Для получения более подробной информации о свойствах грунтов необходимо проведение исследования на продольных Vp и поперечных Vs волнах. Получая вертикальные 2D скоростные разрезы, можно определить уровень грунтовых вод [7], мощность рыхлых грунтов и наличие структурных нарушений [8, 9].

В инженерной сейсморазведке также успешно применяется метод регистрации микросейсмических колебаний. Система наблюдения не предполагает активных воздействий на окружающую среду, датчики регистрируют фон, состоящий из множества упругих колебаний от разных источников (эндогенных и техногенных). В данной работе применяется метод Накамуры [10]. Этот метод зарекомендовал себя в последнее время, как источник дополнительной полезной информации при интерпретации данных основных методов сейсморазведки [11, 12, 13, 14].

Метод преломленных волн, как и любой другой наземный геофизический метод, не может дать однозначный достоверный результат по определению глубины и рельефу контрастных границ. Учет результатов обработки микросейсм при интерпретации данных МПВ полезен для снижения уровня неопределенности, вызванной вышеописанными факторами.

Метод регистрации микросейсм полезен в случае, когда изучаемая площадка находится в труднодоступных местах. Анализ записей микросейсм по профилю может показать наличие аномальных зон, которые характеризуются изменением формы кривой спектральных отношений. За счет разграничения зон равномерных и аномальных HVSR характеристик возможно уменьшение количества профилей МПВ. Совместное применение различных сейсмических методов направлено на более качественный анализ структуры и свойств верхней части геологического разреза (далее – ВЧР).

Целью данной работы является применение сейсмических методов для определения глубины залегания и рельефа кровли скальных пород при инженерно-геологических исследованиях.

В работе описаны результаты с площадки в Челябинской области, на которой были проведены ИГИ. По данным ИГИ коренные породы залегают на глубине 4.8 метра (рис. 1).

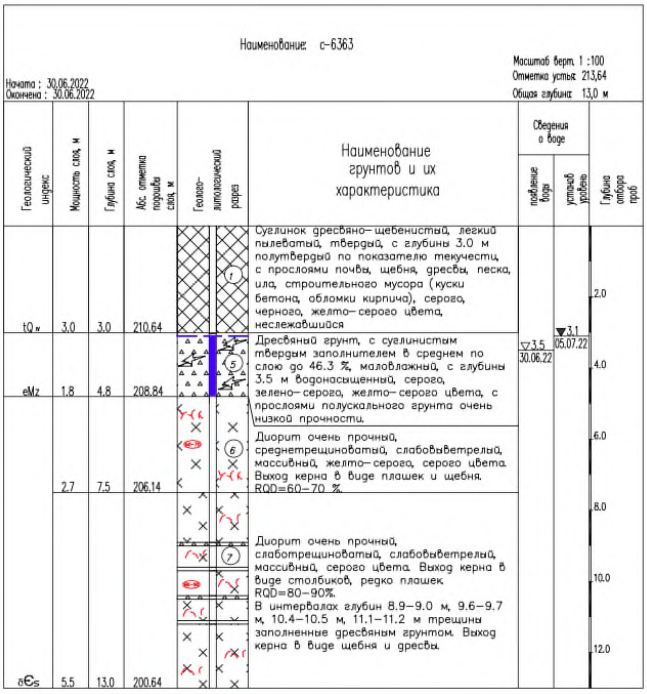


Рис. 1. Геолого-литологический разрез по скважине на профиле (соответствует местоположению канала №2)

На рис. 2б приведен результат МПВ – разрез по поперечным волнам (программа ZondST, автор Каминский А.Е.). В верхней части рисунка (рис. 2а) изображены годографы на каждом пункте возбуждения. Контрастная граница по Vs прослеживается по профилю на глубине 5-7 метров: Vm – пластовая скорость; градиент цвета в легенде к рисунку – это диапазон изменения скорости; черные цифры в слое – значение скорости в км/с. На рисунке

по горизонтали указано расстояние в метрах (расстановка косы 24 канала, длиной 46 метров, слева и справа от косы вынос по 25 метров), по вертикали в нижней части рисунка значения указаны в метрах (глубина от планировочной отметки), по вертикали в верхней части – время в миллисекундах (годографы для каждого пункта возбуждения).

Полевые работы по методу преломленных волн выполнены на инженерной сейсмической 24-канальной станции «Синус» [15].

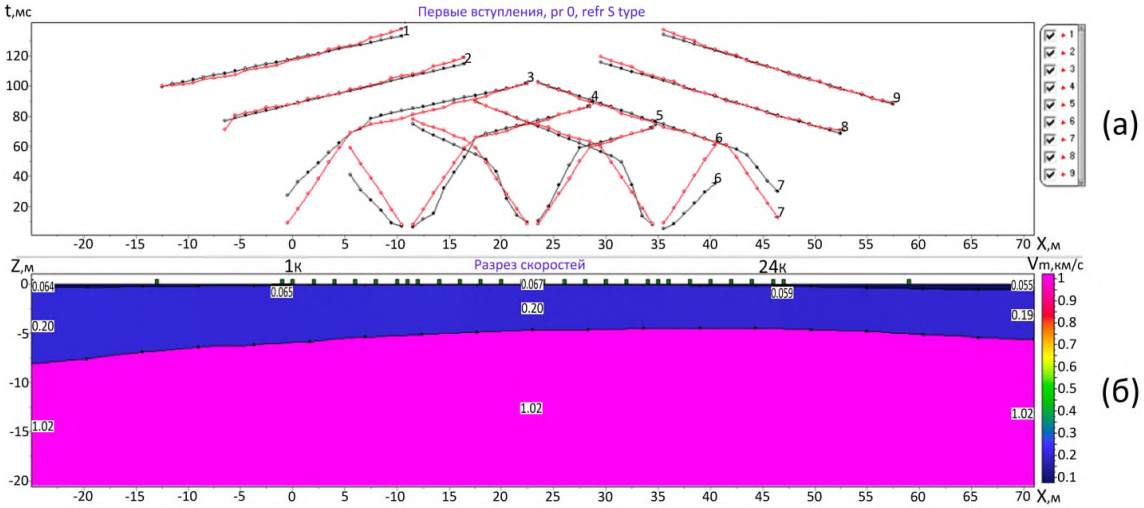


Рис. 2. Годографы (а) и скоростной разрез по поперечным волнам Vs (б)

На концах сейсмической косы на данном профиле в двух точках зарегистрированы микросейсмические колебания, длительность записи по 15 минут. Для регистрации упругих колебаний использован комплект из трехканального сейсмического регистратора Reftek DAS-130 и велосиметра Le-3d-lite (напряжение на выходе датчика пропорционально скорости смещения). Частота дискретизации 100 Гц, для анализа выбран частотный диапазон от 0 до 20 Гц. Рассчитана спектральная плотность мощности скорости и построена кривая спектральных отношений (метод HVSR), также известен в литературе, как метод Накамуры (рис. 3).

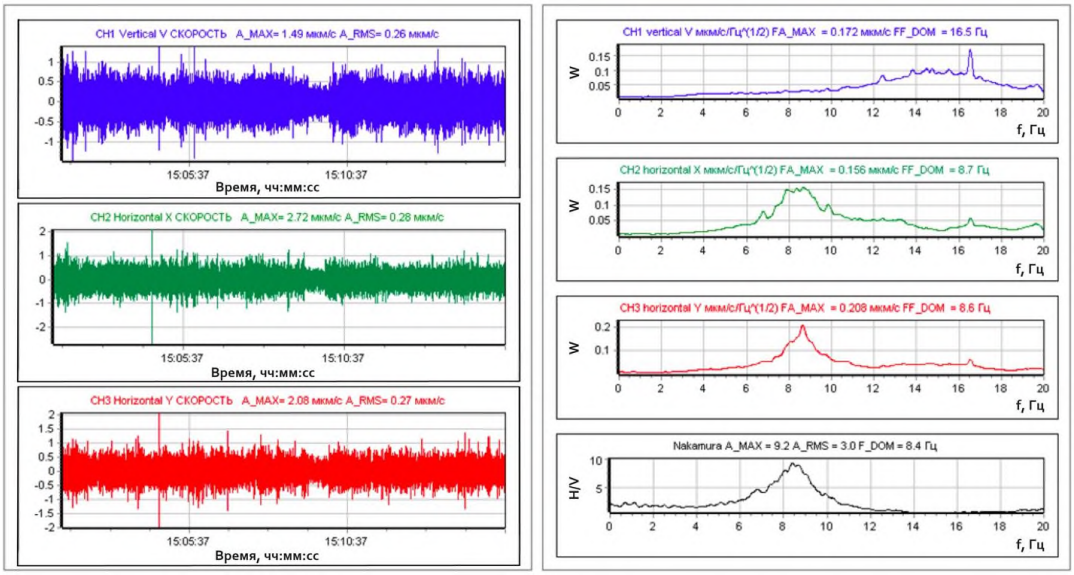


Рис. 3. Запись микросейсмических колебаний (слева во временной области, справа в частотной)

На рис. 3 в левой части изображена трёхканальная сейсмограмма (три ортогональные канала для регистрации микросейсмических колебаний) во временной области. В правой части – спектральные характеристики (изображение записанного сигнала в частотной

области). Помимо спектральной плотности мощности скорости смещения для каждого канала, рассчитано значение спектральных отношений (H/V).

На передаточной характеристике (рис. 3, нижний график, справа) наблюдается максимум на частоте 8.4 Гц. Применяя формулу (1), получаем расчетную глубину залегания контрастной границы порядка 6 метров.

$$h = Vs/4f, \quad (1)$$

где h – это мощность рыхлого слоя до контрастной границы в метрах, Vs – скорость поперечных волн в рыхлом слое до «скалы», определенная по МПВ в м/с, f – резонансная частота максимального пика на кривой спектральных отношений (HVSR) в Гц.

В формуле (1) подставлена поперечная скорость, равная 200 м/с, как скорость в рыхлом слое по профилю (рис. 2). Данная формула применяется различными авторами в инженерных сейсмических исследованиях [16, 17].

Данный пример приведен для демонстрации корреляции результатов расчета глубины залегания контрастной границы между двумя различными сейсмическими методами. Совместный анализ МПВ и метода Накамуры показывает сопоставимый результат, на профиле в месте установки 1-го и 24-го каналов скальные грунты находятся на глубине порядка шести метров. Полученный результат хорошо соотносится с данными бурения. Следует помнить, что наземные косвенные геофизические методы носят оценочный характер.

Рассмотрена возможность совместного использования двух сейсмических методов при инженерно-геологических исследованиях. Результаты расчетов демонстрируют наличие связи между резонансными характеристиками грунта, кривой спектральных отношений (H/V), скоростью поперечных волн и глубиной залегания скальных пород. Другими словами – формула (1) применима в данном случае для оценки уровня залегания контрастной по плотности пород границы. Прослеживается корреляция между данными ИГИ, скоростным разрезом МПВ и результатом обработки записей микросейсм. Таким образом, если инженерная задача состоит в определении глубины (или рельефа) залегания скальных пород, то для получения более достоверной информации рекомендуется совместное использование методов МПВ и метода регистрации микросейсм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давыдов В.А. Малоглубинное сейсмическое зондирование на основе изучения эллиптичности микросейсм. *Георесурсы*, **21**(1), 2019, 78-85. https://doi.org/10.18599/grs.2019.1.78-85

2. Бобров В.Ю., Герасимова И.Ю. Применение метода преломленных волн при условии сложной конфигурации преломляющей границы. *Инженерная и рудная геофизика 2021*. Геленджик, Россия, 61-69. https://doi.org/10.3997/2214-4609.202152061

3. Hunter J.A., Crow H.L., Stephenson W.J., Pugin A.J.-M., Williams R.A., Harris J.B., Odum J.K., Woolery E.W. Seismic site characterization with shear wave (SH) reflection and refraction methods. *Journal of Seismology*, **26**, 2022. 631-652. https://doi.org/10.1007/s10950-021-10042-z

4. Воскресенский М.Н. Инженерные сейсмические изыскания в различных грунтовых условиях. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, **5**(1), 2022. 56-69. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_51_0_56

5. Турчков А.М., Ошкин А.Н., Вязниковцев А.А. Опыт применения сейсморазведочных методов отражённых и преломленных волн для изучения строения тела плотины. *Инженерная и рудная геофизика 2021*. Геленджик, Россия, 2021. 75-82. https://doi.org/10.3997/2214-4609.202152075

6. Романов В.В. Возможности повышения разрешенности сейсмограмм метода преломленных волн (МПВ). *Технологии сейсморазведки*, **4**, 2013. 67-73.

7. Давыдов В.А. Поиски подземных ходов с помощью сейсморазведки на примере заброшенного монастыря. *Уральский геофизический вестник*, **2**(44), 2021. 21-27. https://doi.org/10.25698/UGV.2021.2.3.21
8. Горбатиков А.В., Степанова М.Ю., Камшилин А.Н. Специфика применения метода микросейсмического зондирования в инженерных задачах. *Вопросы инженерной сейсмологии*, **35**(2), 2008. 25-30.
9. Vargemezis G., Tsourlos P., Fikos I., Diamanti N., Angelis D., Amanatidou E. Void Detection and Consolidation Filling Verification by ERT, GPR and Seismic Refraction Methods. *1st Conference on Geophysics for Infrastructure Planning Monitoring and BIM*, The Hague, Netherlands. 2019. https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902525
10. Nakamura Y. What Is the Nakamura Method? *Seismological Research Letters*, **90**(4), 2019. 1437-1443. https://doi.org/10.1785/0220180376
11. Плотников Б.С., Черкашнев С.А. Реальность и перспективы технологии микросейсмического мониторинга. *Приборы и системы разведочной геофизики*, **3**(70), 2021. 29-32.
12. Биряльцев Е.В., Вихорева А.А., Захарчук В.А., Комаров А.Ю., Пыхалов В.В. Метод обработки данных пассивной сейсмики для выявления контрастных внутрисолевых пропластков в геологическом разрезе Астраханского свода. *Георесурсы,* **23**(3), 2021. 109-117. https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.14
13. Яблоков А.В., Дергач П.А., Лисейкин А.В. Обработка записей микросейсмических колебаний методом Накамуры на территории Быстровского вибросейсмического полигона. *Интерэкспо ГЕО-Сибирь*, **2**(4). 2023. https://doi.org/10.33764/2618-981X-2023-2-4-86-93
14. Hellel M., Oubaiche E.H., Chatelain J.L., Bensalem R., Amarni N., Boukhrouf M., Wathelet M. Efficiency of ambient vibration HVSR investigations in soil engineering studies: backfill study in the Algiers (Algeria) harbor container terminal // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 2019. V. 78, no. 7. Pp. 4989–5000. https://doi.org/10.1007/s10064-018-01458-y
15. Сенин Л.Н., Сенина Т.Е. Сейсмическая станция "Синус". Приборы и техника эксперимента. **5**, 2005. 162-163.
16. Konno K., Ohmachi T. Ground-Motion Characteristics Estimated from Spectral Ratio between Horizontal and Vertical Components of Microtremor. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **88**(1), 1998. 228-241.
17. Тарасов С.А., Гоев А.Г., Волосов С.Г., Горбунова Э.М., Иванченко Г.Н., Королёв С.А. Уточнение скоростного разреза осадочной толщи методом Накамуры на новых сейсмических станциях ИДГ РАН. *Российский сейсмологический журнал,* **2**(4), 2020. 43-50. https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.4.04

УДК 550.8+551(476)

РЕГИОНАЛЬНЫЕ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫЕ РАБОТЫ НА ВОСТОКЕ БЕЛАРУСИ

Куликов Алексей Александрович
kulikov_alekseysrr@mail.ru
Государственное предприятие «НПЦ по геологии», 220141, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Купревича, д. 7

Аннотация. В статье рассмотрены региональные сейсморазведочные работы 2016-2025 гг. на востоке Беларуси. Данные работы проведены в пределах южной части Оршанской впадины, Жлобинской седловины, Воронежской антеклизы (белорусская часть). В результате уточнено строение платформенного чехла и кристаллического фундамента территории.

REGIONAL SEISMIC EXPLORATION WORKS IN EASTERN BELARUS

Kulikov Aleksey Aleksandrovich
kulikov_alekseysrr@mail.ru
State Enterprise "Scientific and Practical Center for Geology", 220141, Republic of Belarus, Minsk, Kuprevicha str., 7

Abstract. This article examines regional seismic surveys conducted 2016-2025 in eastern Belarus. These surveys were conducted within the southern part of the Orsha Depression, the Zhlobin Saddle, and the Voronezh Anteclise (Belarusian part). These surveys resulted in a more precise understanding of the structure of the platform cover and crystalline basement of the region.

Введение. Государственным предприятием «НПЦ по геологии» в 2016-2025 гг. выполнены региональные сейсморазведочные работы методом отраженных волн способом общей глубинной точки 2Д (МОВ-СОГТ-2Д) по опорным профилям XIV0116-18 (224 км), XV0119-20 (64,95 км), XVI0119-20 (55,05 км) и XVII0122-24 (км) (рис. 1), сопровождаемые гравиметрическими, магнитометрическими и газово-геохимическими исследованиями. Сеть профилей охватывает обширную территорию востока Беларуси в пределах тектонических структур, выделенных по поверхности кристаллического фундамента: Воронежская антеклиза (на территории Беларуси), Жлобинская седловина и южная часть Оршанской впадины [11]. Данные работы являются опережающими для государственного геологического картирования масштаба 1:200 000 листов N-36-XIII (Орша), N-36-XIV (Мстиславль), N-36-XIX (Могилев), N-36-XX (Кричев), N-36-XXI (Хотимск), N-36-XXV (Жлобин), N-36-XXVI (Светиловичи), N-36-XXVII (Унеча), N-36 XXXI (Гомель) и N-36-XXXII (Добруш) [9]. В предыдущие годы были проведены региональные сейсморазведочные работы по профилям: XII0786, XVIII0785, I-IA0901-02, I-IБ0902, III0108, IV0108 и др., в Припятском прогибе и Оршанской впадине (рис. 1) [3, 4].

Задачей сейсморазведочных работ являлось прослеживание целевых отражающих горизонтов, приуроченные к поверхности кристаллического фундамента и разновозрастным отложениям осадочного чехла, выявление разрывных нарушений и уточнение границ основных структурных элементов.

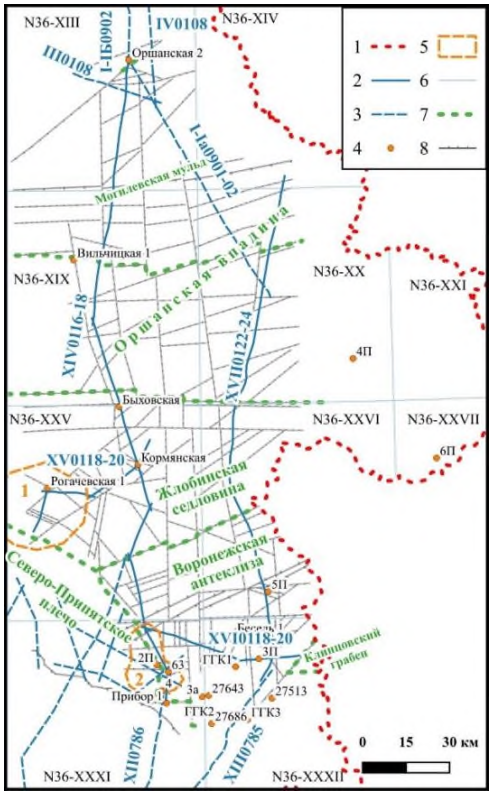


Рис. 1. Схема расположения региональных сейсморазведочных профилей на тектонической схеме.
1 – Государственная граница РБ; 2 – Профили 2016-2024 гг.; 3 – Профили 1985-2008 гг.;
4 – Скважины; 5 – Магматические поля:
1. Жлобинское магматическое поле; 2. Уваровичское магматическое поле. 6 – Границы листов М 1 : 200 000; 7 – Границы тектонических структур; 8 – Разрывные нарушения.

Методика работ. При отработке региональных профилей использовалась сейсмическая станция SERSEL-428 XL и сейсмоприемники GS-20DX-«Геофон». Кратность накопления сигнала 24–48; система наблюдений симметричная. Источник упругих волн – взрывчатое вещество при общей массе заряда в одиночных скважинах от 0,2 до 1,0 кг. Шаг пунктов взрыва 50 м; расстояние между центрами групп сейсмоприемниками 25 м; шаг дискретизации 1 мс. Уровень приведения принят равным +120 м. Обработка была выполнена на программном комплексе SDS-PC. Интерпретация проводилась в программном комплексе Petrel 2009.1.

Кристаллический фундамент вскрыт небольшим числом скважин и их распределение крайне неравномерно. К примеру, вдоль профиля XVII0122-24 приходится всего одна скважина 5П, вскрывшая кристаллический фундамент.

Сведения о скоростных характеристиках сейсмических разрезов с учетом акустического каротажа и вертикального сейсмического профилирования глубоких скважин: Оршанская 2, Кормянская 3, Богушевская 2, Суражская 1С2, Быховская 2 рассчитаны Живицей А.В. в 2021 г. Позже эти сведения в 2025 г дополнены данными скважин 3П и 5П. В Воронежской антеклизе, где не хватало информации со скважин использовались эффективные скорости.

В результате проведенных работ на временных разрезах выделены следующие отражающие горизонты (рис 2):

1. Отражающий горизонт IV – поверхность терригенно-карбонатных отложений верхнего девона. Хорошо прослеживается, встречается на юго-западе исследуемой территории;
2. Отражающий горизонт IVa – поверхность карбонатных и терригенных отложений среднего девона. Прослеживается на всей исследуемой территории по отрицательному экстремуму довольно интенсивного двухфазного колебания;
3. Отражающий горизонт Vend – поверхность вендских отложений. Хорошо прослеживается на большей части территории;
4. Отражающий горизонт RF – поверхность терригенных рифейских отложений. Сейсмическая картина неоднородна, местами трудно отследить;
5. Отражающий горизонт V – поверхность кристаллического фундамента. Хорошо прослеживается практически на всей исследуемой территории.

В работах 2003 г. Кудрявец И.Д. на Оршанской впадине в девонских отложениях выделял отражающие горизонты, приуроченные к кровле костюковичского (D_2ks) и кровле освейского (D2os) горизонтов. Данные отражающие горизонты можно проследить также в Жлобинской седловине [10].

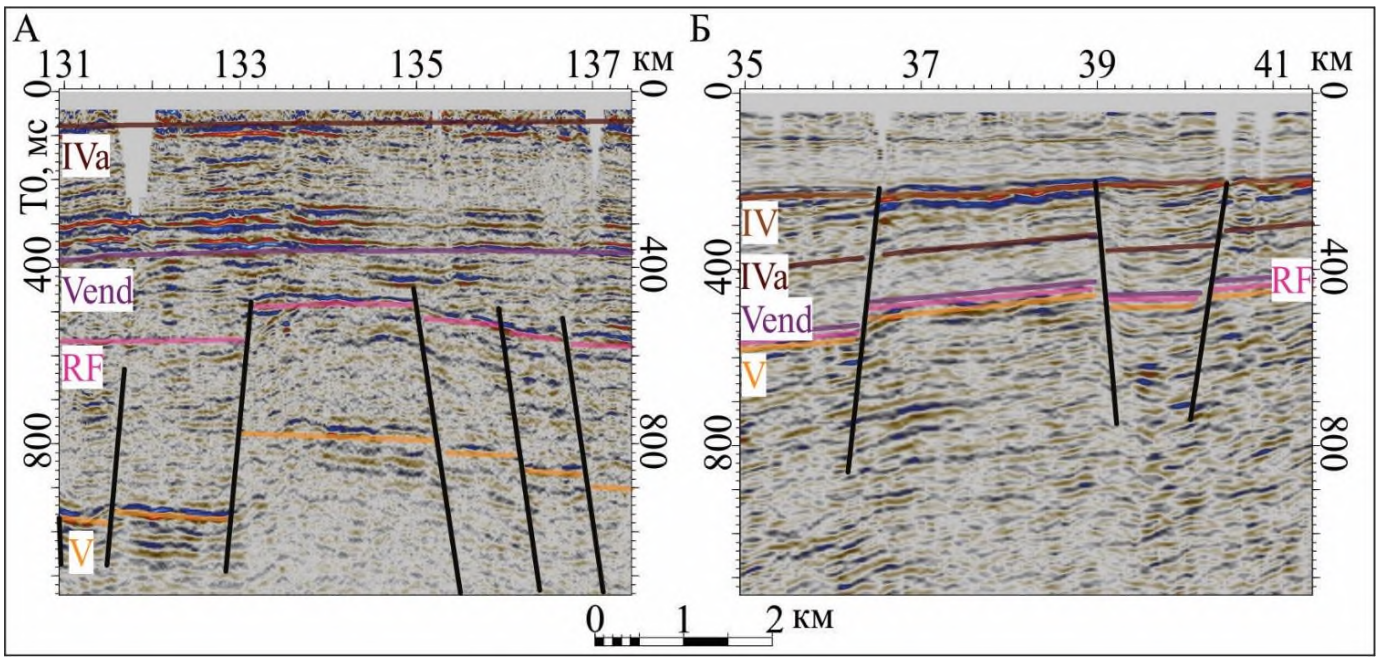


Рис. 2. Фрагменты временных разрезов региональных профилей: А –ПР XVII0122-24; Б – ПР XIV0116-18.

Региональные профили XIV0116-18 и XVI0118-20 проходят через Уваровичское магматическое поле, а XV0118-20 – через Жлобинское магматическое поле. И на временных разрезах можно наблюдать погребенные вулканические тела (рис. 3) [7, 9].

Кристаллический фундамент состоит из пород: кулажинской серии (AR_1kl), копаньского ($\check{c}\gamma PR_1kp$), микашевичского ($\delta,\gamma\delta PR_1mk$) и волхвинского ($\beta PR1vl$) комплексов. Глубина залегания порядка от -200 метров Воронежской антеклизе до – 1800 метров в Могилевской мульде Оршанской впадины. Глубина Воронежской антеклизы составляет от – 200 до -650 метров, Жлобинской седловине порядка от -500 до 900 метров, в Оршанской впадине от – 800 до -1800 метров. Поверхность фундамента представляет из себя систему блоков.

На кристаллическом фундамента залегают терригенные отложения верхнего рифея, сложенные шеровичской ($RF_3\check{s}hr$) и белорусской (RF_3bl) серии мощностью от 0 до 900 метров [2]. В районе пересечения ПР XVI0118-20 и ПР XVII0122-24 рифейские отложения выклиниваются. Глубина залегания поверхности рифея составляет порядка от -300 до -700 метров. Глубина залегания в среднем увеличивается с юга на север.

Выше залегают вендские терригенные отложения вильчанской (V_1vlc), волынской (V_1vl) и валдайской (V_2vd) серий мощностью от 0 до 520 метров. В районе пересечения ПР XVI0118-20 и ПР XVII0122-24 вендские отложения выклиниваются. Глубина залегания кровли в Оршанской впадине составляет порядка от -250 до -300 метров, в Жлобинской седловине от -350 до -250 метров, а в Воронежской антеклизе примерно от -200 до -650 метров.

На вендских отложениях залегают девонские отложения, кроме области на юго-востоке, где девон залегает на кристаллическом фундаменте или рифейских отложениях. Карбонатные и терригенные девонские отложения витебского (D_1vt), адровского (D_2ad) горизонтов, наровского надгоризонта (D_2nr), полоцкого горизонта (D_2plc) и ланского надгоризонта ($D_{2\text{-}3}ln$) мощностью от 40 до 350 метров. Верхний девон, сложенный карбонатными отложениями саргаевского (D_3sr) и семилукского (D_3sm) горизонтов; терригенно-карбонатные отложения речицкого ($D_3r\check{c}$), воронежского (D_3vr) и евлановского (D_3ev) горизонтов мощностью от 0 до 230 метров. Вулканические образования сложены породами Уваровичского магматического поля уваровичской свиты (D_3uv), Жлобинского магматического поля – мадорской свиты (D_3md) [5, 6]. Отложения верхнего девона распространены на юго-западе изучаемой территории, а также на севере и выклиниваются в

центре изучаемой территории. Однако на севере невозможно проследить кровлю верхнего девона из-за малой глубины залегания. Кровля девонских отложений представляет из себя моноклиналь глубина залегания, которой на севере составляет +122,5 м, а на юге -195 метров.

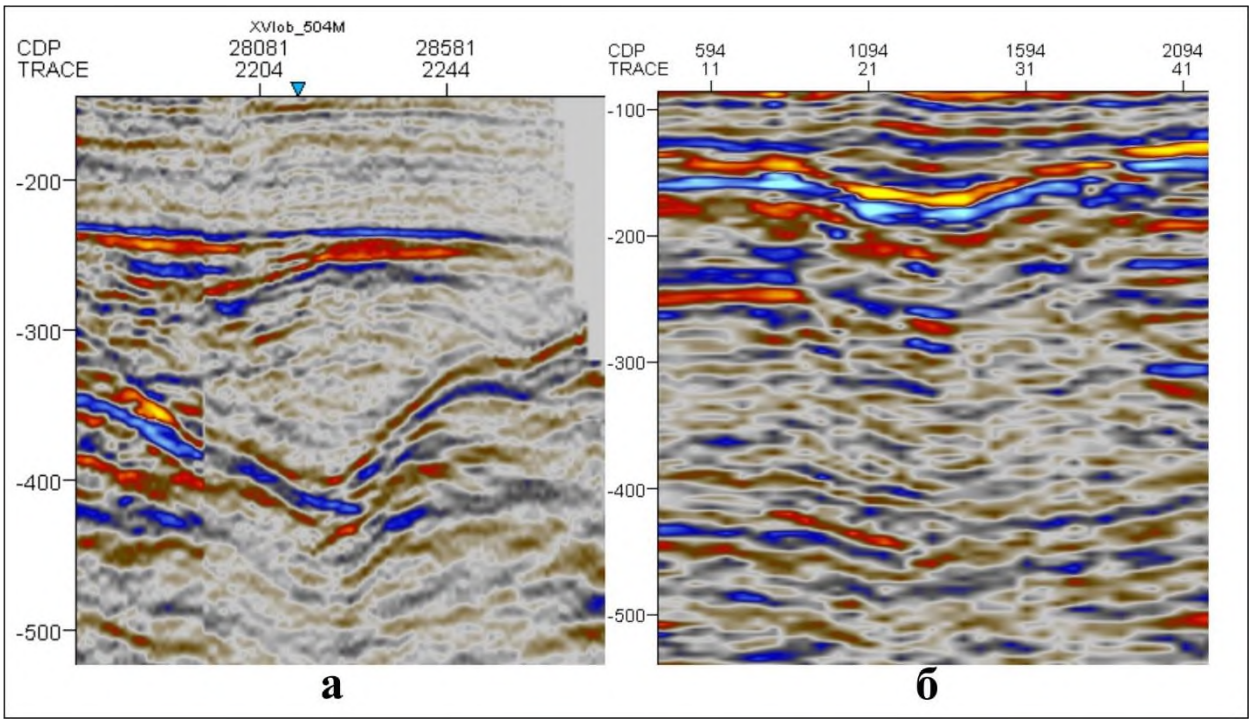


Рис. 3. Палеовулканы на временных разрезах:
А – Северо-Уваровиский палеовулкан на ПР XIV0116-18;
Б – Трубка взрыва Антоновская на ПР XV0118-20.

Сейсморазведочные работы позволили выявить систему разрывных нарушений в осадочном чехле. Установлено, что эти разрывы с вертикальной амплитудой от десятков до 340 метров нарушают поверхность кристаллического фундамента. Разрывные нарушения проникают в различные горизонты верхнего протерозоя, девона и мезозоя. Совместно с другими геофизическими методами (гравиразведка и магниторазведка) в соавторстве с Кузьменковой О.Ф. и Полещуком С.В. была составлена тектоническая схема кристаллического фундамента (рис. 1). На ней видно, что разрывные нарушения имеют субмеридиональное, северо-восточное, северо-западное и субширотное простирания.

Так же в результате интерпретации геолого-геофизических материалов было установлено, что Суражский погребенный выступ не нашел своего отражения в данных структурных построениях. Было уточнено положение западного окончания Клинцовского грабена, которое оказалось западнее, чем ранее предполагалось [1].

Таким образом, на исследуемой территории были прослежены отражающие горизонты (IV, IVa, Vend, RF, V), определенны глубины кристалического фундамента, рифейских, вендских, девонских отложений, выявлены разрывные нарушения и уточнены границы тектонических структур. Результаты в дальнейшем используются для проведения глубинного геологического картирования масштаба 1:200000 [12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гарецкий Р.Г., Айзберг Р.Е. и др. Тектоническая карта Белоруссии. Масштаб 1:500 000. Институт геохимии и геофизики АН БССР, Белорусский научно-исследовательский геологоразведочный институт Управления геологии при Совете

Министров БССР, Комиссия по тектонике Белоруссии и Прибалтики Межведомственного тектонического комитета СССР. Минск, 1974.

2. Зайцева Т.С., Кузьменкова О.Ф., Кузнецов А.Б., Ковач В.П., Гороховский Б.М., Плотникова Ю.В., Адамская Е.В., Лапцевич А.Г. U-Th-Pb возраст детритового циркона из рифейских песчаников Волыно-Оршанского палеопрогиба, Беларусь // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2023. Т. 31 №5. С. 42–62.

3. Копылова Т.И., Силуянов В.Н., Воскобойникова Т.В., Жуковская О.В. Особенности сейсмической записи в породах кристаллического фундамента Оршанской впадины // Літасфера. 2019. №2 (51). С. 56–63.

4. Кудрявец И.Д., Айзберг Р.Е., Гарецкий Р.Г., Грибик Я.Г., Старчик Т.А, Шкуратов В.И. Региональное сейсмопрофилирование методом общей глубинной точки в Оршанской впадине // Доклады Национальной академии наук Беларуси, г. Минск, Т. 47 №6, 2003, С.108-112.

5. Кузьменкова О.Ф., Лапцевич А.Г., Айзберг Р.Е., Носова А.А., Волкова Г.Д., Манкевич С.С., Юткина Е.В. Латерально-временной ряд породных комплексов позднефранско-раннефаменской Припятско-Днепровской области магматизма // Літасфера. 2020. № 1 (52). С. 3 – 20.

6. Кузьменкова О.Ф., Лапцевич А.Г., Носова А.А. Верхнедевонские магматические комплексы юго-восточной Беларуси // Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2020. Т. 64, № 5. С. 599–608.

7. Кузьменкова О.Ф., Моисеев Е.И., Куликов А.А., Беляшов А.В., Воскобойникова Т.В. Вулканические постройки позднего девона Северо-Уваровичской площади (Беларусь) в геофизических полях // Літасфера. 2024. №2 (61). С. 41–54.

8. Кузьменкова О.Ф., Стрельцова Г.Д. Актуальные задачи региональных геологических работ в области сочленения Припятского прогиба, Брагинско-Лоевской седловины и Воронежской антеклизы // Літасфера. 2016. №2 (45). С. 19–28.

9. Куликов А.А., Кузьменкова О.Ф. Сейсмическое волновое поле позднедевонского Уваровичского палеовулкана (Беларусь) // Материалы Международной научно-практической конференции «Геология и минералогия месторождений полезных ископаемых, инновационные направления добычи, обогащения и технологии извлечения ценных компонентов». 22 августа 2024 г. Ташкент: ГУ «Институт минеральных ресурсов», 2024. С. 219–221.

10. Куликов А.А., Сасина Н.В., Сейсмостратиграфическая приуроченность отражающих горизонтов на региональных временных разрезах в восточной части Беларуси // Материалы Всероссийской конференции с международным участием. Тринадцатые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича: Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. 22-26 сентября 2025 г. Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2025. С. 88–92.

11. Махнач А.С., Гарецкий Р.Г., Матвеев А.В. и др. Геология Беларуси. Мн.: Институт геологических наук НАН Беларуси, 2001. 815с.

12. Стрельцова Г.Д., Кузьменкова О.Ф., Лапцевич А.Г., Манкевич С.С., Ашурко В.Г., Глаз Н.В., Каримова Л.А., Кручек С.А., Толстошеев В.И., Обуховская В.Ю. Итоги глубинного геологического картирования масштаба 1:200 000 территории листов N-36-XIX (Могилев), N-36-XXV (Жлобин), N-36-XXXI (Гомель) И N-36-XXXII (Добруш) (платформенный чехол) // Літасфера. 2022. №2(57). С. 3 – 7.

УДК: 550.8.02

ОБСЛЕДОВАНИЕ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ СЕЙСМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Курданова Алёна Алексеевна
a.truuuuman@gmail.com
Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация

Аннотация. Интенсивное развитие современных городов повышает актуальность мониторинга технического состояния объектов промышленного и гражданского строительства. Одной из важных задач является проведение обследования строительных объектов без вмешательства в конструкцию и рабочее состояние. В работе рассмотрен подход к обследованию зданий с применением сейсмических методов регистрации естественных колебаний. Показаны возможности и преимущества использования микросейсмических наблюдений при оценке динамических характеристик зданий в условиях городской среды. Приведены результаты обследования высотных монолитно-каркасных зданий в Кургане, Кемерово и Екатеринбурге.

SEISMIC ASSESSMENT OF THE STRUCTURAL INTEGRITY OF HIGH-RISE BUILDINGS

Alena A. Kurdanova
a.truuuuman@gmail.com
Institute of geophysics Ural Branch of Russian Academy of sciences, Ekaterinburg, Russian Federation

Abstract. The rapid development of modern cities increases the importance of monitoring the structural condition of civil and industrial buildings. One of the key challenges is the assessment of building conditions without interfering with their structural integrity or normal operation. This study presents an approach to building inspection based on seismic methods for recording ambient vibrations. The capabilities and advantages of microseismic observations for evaluating the dynamic characteristics of buildings in an urban environment are demonstrated. The results of surveys of high-rise reinforced concrete frame buildings in Kurgan, Kemerovo, and Ekaterinburg are presented. Microtremor Seismic method Sustainable Buildings Frequencies Construction

В 21 веке скорость технологического развития и рост современных городов диктуют новые требования к обеспечению безопасности человечества. Жилой фонд города состоит из зданий разного возраста и культурной ценности. Кроме того, строительные площадки имеют разную степень нагрузки. Некоторые строительные площадки могут быть оборудованы специальным промышленным оборудованием, в то время как другие могут использоваться как жилые помещения. Независимо от назначения строительной площадки, каждая из них представляет собой систему, состоящую из различных строительных материалов, инженерных сетей (вентиляция, канализация и т.д.) и отдельных объектов (окна, двери и т.д.). Для поддержания рабочего состояния системы необходимо обеспечить рабочее состояние каждого элемента системы. Поэтому актуальность темы обследования зданий в контексте обеспечения безопасности городской среды неоспорима.

Начальный этап обследования всегда состоит из визуального осмотра здания снаружи и изнутри. Он позволяет обнаружить видимые дефекты, трещины, сколы, коррозию, отслаивающуюся штукатурку и другие повреждения. Преимуществом визуального контроля является его простота и доступность, но он не всегда позволяет выявить скрытые дефекты.

Дальнейшие этапы, включая инструментальные методы исследования, можно разделить на прямые и косвенные. Прямые методы исследования состояния конструкции

включают в себя образцы материалов конструкции. К косвенным (неразрушающим) методам относятся следующие: использование геотехнических маяков и отметок, тепловизионный метод [1], электромагнитный метод [2], динамический метод [3] и др.

Например, тепловизионная съемка позволяет обнаруживать утечки тепла через ограждающие конструкции зданий, а также выявлять участки с повышенной влажностью и образованием конденсата. Преимуществом метода является его бесконтактность и способность обнаруживать скрытые дефекты. Электромагнитные методы основаны на измерении электромагнитных свойств материалов. Они позволяют определять наличие пустот, трещин и других дефектов в бетонных и каменных конструкциях. Преимуществом метода является его высокая точность и возможность обнаружения скрытых дефектов. Однако для проведения измерений требуется специализированное оборудование и квалифицированный персонал.

Конечно, каждый подход к съемке строительных площадок имеет свои преимущества и недостатки, и выбор конкретного подхода зависит от целей съемки, типа конструкции и наличия оборудования.

В данной работе рассматривается сейсмический метод обследования зданий, основанный на анализе упругих колебаний и оценке динамических характеристик строительного объекта. Метод относится к неразрушающим способам контроля и использует в качестве источника сигнала микросейсмический фон, формирующийся в результате наложения эндогенных (природных) и техногенных (антропогенных) колебаний широкого диапазона частот и малых амплитуд (порядка 10^{-6} м). Одним из преимуществ метода является отсутствие необходимости применения внешнего источника возбуждения сигнала [4]. Работа проводилась в рамках цикла работ, направленного на уточнение и оптимизации методики исследования динамических характеристик зданий и сооружений, основанной на регистрации микросейсмических колебаний. Цель работы – провести измерение и анализ динамических характеристик многоэтажных жилых зданий в Свердловской, Кемеровской и Курганской областях с использованием сейсмического метода, чтобы количественно оценить их конструктивное состояние, в рамках существующих инструментальных возможностей, с целью уточнения методики обследования зданий и сооружений в течение 2024 года.

Точки регистрации микросейсмических колебаний выбираются с учетом конструктивных особенностей здания, количества подъездов и требуемого уровня детализации исследования. Записывающее оборудование размещается на верхнем этаже объекта, что позволяет регистрировать колебания наибольшей амплитуды. Для высотных зданий продолжительность регистрации микросейсмических колебаний составляет до 60 минут (и не менее 15 минут), что обеспечивает получение устойчивых спектральных характеристик.

В качестве оборудования применяются сейсмические регистраторы и велосиметры. В г. Кемерово регистрация микросейсм выполнялась с помощью аппаратно-программного комплекса «Регистр» в комплекте с сейсмическим датчиком SD-R1 на базе геофона GS-ONE LF. В г. Кургане и г. Екатеринбурге микросейсмический фон регистрировался в течение 60 минут на верхних этажах зданий с использованием сейсмического регистратора Reftek DAS 130-1/6 и велосиметра Lennartz LE-3Dlite Mk III.



Рис. 1. Комплект оборудования: велосиметр Lennartz (LE-3Dlite Mk III), сейсмический регистратор Reftek DAS 130-1/6, аккумулятор 12 В

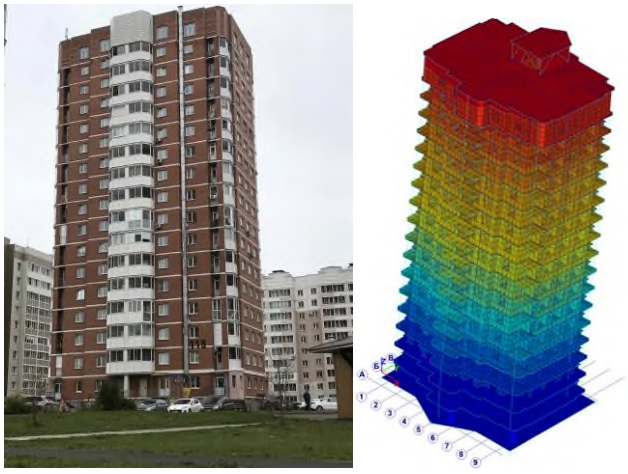
При обработке записанных данных амплитудно-частотные характеристики сигнала определяются с использованием быстрого преобразования Фурье (FFT) или спектральной

плотности мощности (SPD). Анализ резонансных пиков проводится по горизонтальным компонентам сигнала, при этом максимальный пик спектра, как правило, соответствует собственной частоте колебаний здания. Полученные значения сопоставляются с нормативными диапазонами, установленными государственными стандартами (ГОСТ).

Согласно ГОСТ 34081-2017, частоты собственных колебаний жилых высотных зданий должны находиться в определённых статистически установленных диапазонах. Например, для 17-этажных зданий характерный диапазон составляет 0,8–1,2 Гц.

В январе 2020 года в г. Кемерово было проведено обследование каркасного жилого здания, построенного с отклонениями от проектной документации. Жильцы отмечали наличие трещин на фасаде, а информация о проектных ошибках была подтверждена специалистами Томского государственного архитектурно-строительного университета [5].

На рис. 3а представлен внешний вид исследуемого объекта — одноподъездного сборно-монолитного здания высотой 16 этажей с техническим этажом.



а *б*

Рис. 3а. Вид на фасад здания в Кемерово
Рис. 3б. Численная модель здания в Кемерово

Регистрация микросейсмических колебаний проводилась на верхнем этаже здания. По результатам спектрального анализа была определена собственная частота колебаний объекта, равная 0,8 Гц, что соответствует нижней границе нормативного диапазона для 17-этажных зданий. Данное значение указывает на необходимость дальнейшего мониторинга состояния сооружения.

Для сопоставления экспериментальных результатов была построена численная модель здания в расчётном комплексе SCAD Office (рис. 3б). Модель представляет собой конечно-элементную схему здания и имеет основную собственную частоту 0,8 Гц, что согласуется с результатами натурных наблюдений.

Первая изгибная форма колебаний по оси север–юг по результатам моделирования наблюдается на частоте 0,84 Гц, тогда как по экспериментальным данным она составляет 0,8 Гц. Таким образом, наблюдается хорошее соответствие экспериментальных данных и расчётной модели по доминантной форме колебаний здания.

22 января 2024 года на границе Китая, Казахстана и Кыргызстана произошло сильное землетрясение (Ms = 7,3), колебания от которого ощущались жителями ряда высотных зданий в Кургане. По сообщениям средств массовых информаций, жители нескольких 17-этажных домов отмечали заметные колебания зданий.

В указанных зданиях были проведены микросейсмические измерения. На рис. 5 представлены трещины, выявленные на стенах исследуемых объектов. Затем, осенью 2025 года измерения были проведены повторно, результаты не изменились, что говорит об отсутствии отрицательной динамики в техническом состоянии объектов.

а *б*



Рис. 5. Трещины на стенах изучаемых объектов. а – ул. Карельцева 113; б – ул. Гоголя, 109

В сентябре 2024 года было выполнено обследование многоэтажных жилых зданий в Академическом районе Екатеринбурга. В качестве объектов наблюдения были выбраны шесть монолитно-каркасных зданий высотой 13–25 этажей, расположенных вблизи Института геофизики УрО РАН.

В данной работе представлены результаты для 17-этажного здания, расположенного по адресу ул. А. Вонсовского, 21 (точки наблюдения 1–3), что позволяет сопоставить полученные данные с результатами предыдущих исследований. Расположение точек регистрации показано на рис. 6.



Рис. 6. Расположение точек наблюдения в Академическом районе, г. Екатеринбург

По результатам обработки записей микросейсмических колебаний были определены спектры мощности и резонансные частоты колебаний здания.

Сводные результаты обследований представлены в таблице 1, где приведены значения резонансных частот для исследованных объектов, их этажность и расположение точек наблюдения. Оси X и Y соответствуют двум ортогональным направлениям здания, при этом ось X ориентирована вдоль короткой стороны сооружения. Полученные значения сопоставлялись с нормативными диапазонами и результатами предыдущих исследований. Для 17-этажных зданий характерный диапазон составляет 0,8–1,2 Гц. Значения, отклоняющиеся от нормативных диапазонов, выделены жирным шрифтом и указывают на необходимость проведения более детального обследования соответствующих объектов.

Таблица 1

Значения частот собственных колебаний объектов исследования в горизонтальной плоскости наблюдения

№ здания	Город	Адрес	Точка наблюдений	Ось	
				X	Y
1	Кемерово	Шахтеров, 119		**0.8**	0.9
2	Курган	Карельцева, 113		**0.7**	0.8
3		Куйбышева, 15		**0.7**	0.9
4		Гоголя, 109		**0.7**	0.7
5	Екатеринбург	Вонсовского, 21	1	1	1.7
6			2	1.1	1.4
7			3	1.6	1.2

Полученные результаты показывают, что сейсмический метод позволяет эффективно определять динамические характеристики зданий и выявлять отклонения их состояния от

нормативных параметров. Дополнительным преимуществом является возможность сопоставления экспериментальных данных с результатами численного моделирования.

Использование математической модели здания с учётом конструктивных параметров позволяет контролировать изменения динамических характеристик сооружения на различных этапах его эксплуатации. В связи с этим авторы рекомендуют применять комплексный подход к мониторингу технического состояния зданий, включающий инструментальные измерения и численное моделирование.

Заключение

1. В ходе обследования высотного здания в г. Кемерово установлено, что собственная частота колебаний объекта составляет 0,8 Гц, что соответствует нижней границе нормативного диапазона для 17-этажных зданий (0,8–1,2 Гц). Сопоставление экспериментальных данных с результатами численного моделирования в SCAD Office показало хорошее согласование значений (0,8 Гц и 0,84 Гц соответственно). Учитывая наличие трещин на фасаде и отклонения от проектных решений при строительстве, рекомендовано дальнейшее проведение дополнительного мониторинга состояния здания.
2. В ходе обследования жилых зданий в г. Кургане установлено, что для объекта по ул. Гоголя наблюдаемые частоты колебаний в обоих горизонтальных направлениях находятся ниже нормативного диапазона. Для зданий по ул. Карельцева и ул. Куйбышева отклонения от нормативных значений выявлены по одной из горизонтальных осей (X). Указанные результаты, а также наличие трещин и жалобы жильцов, подтверждают необходимость дальнейшего наблюдения за техническим состоянием зданий.
3. Результаты обследования зданий в Академическом районе г. Екатеринбурга показали соответствие динамических характеристик исследованных объектов установленным нормативным требованиям. В целях контроля изменения состояния конструкций рекомендуется проведение повторных обследований через несколько лет.
4. Полученные результаты демонстрируют эффективность применения сейсмического метода для оценки динамических характеристик зданий. Метод позволяет оперативно выявлять отклонения параметров сооружений от нормативных значений и может применяться как при разовых обследованиях, так и в рамках систематического мониторинга технического состояния строительных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демежко Д.Ю., Хацкевич Б.Д., Факаева Н.Р., Горностаева А.А., Антипин А.Н. Теплопотери зданий и формирование подземного городского острова тепла. Литосфера, 25(5), 2025. 1201-1215. https://doi.org/10.24930/2500-302X-2025-25-5-1201-1215. EDN: IQPYYL
2. Кривцов Ю.В., Грошев Ю.М., Комов С.А., Еремина Г.П. Применение магнитного метода неразрушающего контроля для оценки величины защитного слоя бетона ограждающих и несущих строительных конструкций на АЭС // Вестник НИЦ "Строительство". 4 (35), 2022. 149-155. https://doi.org/:10.37538/2224-9494-2022-4(35)-149-155
3. Савин С.Н., Фан Чунг Дык. Контроль технического состояния зданий и сооружений по их динамическим характеристикам. Инженерно-строительный вестник Прикаспия, (1 (47)), 2024. 20-27. https://doi.org/:10.52684/2312-3702-2024-47-1-20-27
4. Воскресенский М.Н., Пахмурин О.Р., Михайлов В.С. Сейсмодинамический мониторинг высотного жилого здания с использованием анализа HVSR. Известия ВУЗов. Строительство. 2020. 91-98. https://doi.org/:10.32683/0536-1052-2020-738-6-91-98
5. Пахмурин О.Р., Туровский С.В. Оценка пространственной работы многоэтажного каркасного здания с безригельным перекрытием. Избранные доклады УНТКГМУ (65 УНТК ТГАСУ). 2019. 1119-1121

УДК 550.837.62

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОРАЗНОСНОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ УСТАНОВКОЙ ПОЛЬ-ДИПОЛЬ В КОМПЛЕКСЕ С МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ВЫЗВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ПРИ ОДНОМЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

Лазурченко Антон Витальевич
alazurchenko@geo.istu.edu
ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», институт «Сибирская школа геонаук», г. Иркутск, Россия

Аннотация. В статье рассматривается комплексирование многоразносного профилирования установкой поль-диполь и электромагнитного зондирования и вызванной поляризации для повышения точности решения одномерной обратной задачи при изучении геологического строения. Исследования выполнены с применением аппаратно-программного электроразведочного комплекса «Марс». В результате одномерной инверсии уточнена геоэлектрическая модель разреза на глубину до 500 м со среднеквадратическим отклонением между теоретическими и наблюденными кривыми менее 5 %.

APPLICATION OF MULTI-SPACING PROFILING USING THE POLE-DIPOLE ARRAY IN COMBINATION WITH THE ELECTROMAGNETIC SOUNDING AND INDUCED POLARIZATION METHOD IN ONE-DIMENSIONAL MODELLING

Anton Lazurchenko
alazurchenko@geo.istu.edu
INRTU, Institute «Siberian School of Geosciences», Irkutsk, Russia

Abstract. The article examines the integration of multi-spacing profiling using the pole-dipole array and electromagnetic sounding with induced polarization to improve the accuracy of solving the one-dimensional inverse problem in geological structure studies. The research was carried out using the hardware-software electrical exploration system «Mars». As a result of one-dimensional inversion, the geoelectric section model was refined to a depth of up to 500 m, with a root-mean-square deviation between theoretical and observed curves of less than 5 %.

Применение метода электротомографии и вызванной поляризации при решении геологических задач, связанных с золоторудным месторождением, получило довольно широкое распространение. Данный метод позволяет получать геоэлектрические разрезы до 100-150 метров. Однако при более глубинных исследованиях стандартная электротомографическая многоэлектродная установка оказывается неэффективной. В таком случае возможно применение других методик полевых наблюдений, например несимметричная установка поль-диполь или диполь-диполь при больших разносах [2].

Также при изучении геологического строения на глубину используют методы, которые позволяют проводить измерения переходного процесса. В свою очередь для построения геоэлектрических разрезов необходимо решение обратной задачи полученных данных. Такой подход часто является затратным во времени, а также имеет множество проблем, связанных с неоднозначностью решения обратной задачи.

Целью данной работы является использование в рамках стартовой модели для одномерной инверсии данных электромагнитного зондирования и вызванной поляризации (ЭМЗ-ВП) результатов измерений многоразносного профилирования установкой поль-диполь. В работе рассматриваются результаты площадных измерений технологией ЭМЗ-ВП и детализационных профилей методом многоразносного профилирования, выполненных на одном из участков с применением аппаратно-программного электроразведочного комплекса

«Марс». Комплексирование этих методов направлено на повышение эффективности решения обратной задачи, уточнение глубинной геоэлектрической модели.

Технология электромагнитного зондирования и вызванной поляризации включает применение заземленной питающей линии в качестве генераторного диполя АВ, в котором генерируется последовательный прямоугольный разнополярный импульс с паузой. При этом на приемной заземленной линии MN регистрируется полная последовательность импульсов, что позволяет рассчитать переходный процесс на заданных временных задержках, нормированных на разность потенциалов, взятую перед выключением токового импульса. Измерения осуществлялись от генерируемого сигнала длительностью импульса и паузы по 250 мс. Методика площадных измерений реализована по принципу срединного градиента. Длина питающей линии составляет 3145 метров, длина MN – 25 метров. В качестве приемной и питающей аппаратуры использован аппаратно-программный электроразведочный комплекс «Марс» (АПЭК «Марс») [1]. Площадные измерения 1.5 км^2 проводились сетью профилей 100х25 метров. Количество профилей составило 17.

Многоразносное профилирование установкой поль-диполь применялась с использованием технологией ЭМЗ-ВП и АПЭК «Марс». Наземные геофизические работы методом многоразносного профилирования выполнены на двух профилях, которые соответствуют профилям измерений технологией ЭМЗ-ВП под номером 7 и 14. Максимальный разнос между питающим электродом и приемным диполем составил 675 м, что позволило добиться псевдоглубины – разнос деленный на 2 (АО/2) – 337.5 м. Шаг питающего электрода А по профилю составлял 50 м, шаг пикетов MN – 25 м. Питающий электрод В был унесен на «бесконечность» – на расстояние в 5 раз больше от максимального разноса. На рисунке 1 отображено схематическое расположение электродов при многоразносном профилировании.

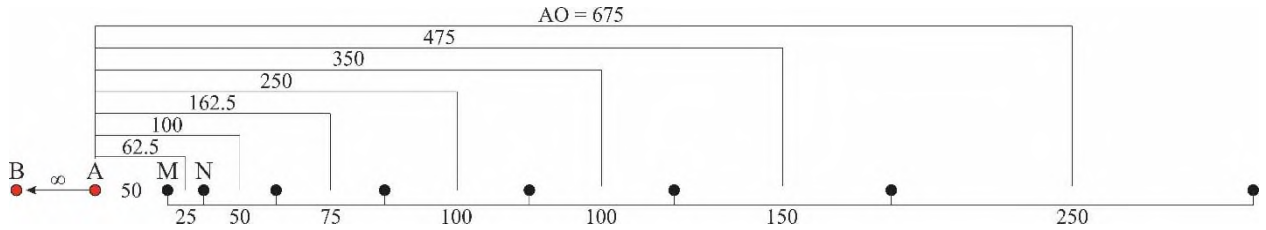


Рис.1. Схематическое расположение электродов в установке поль-диполь при многоразносном профилировании.

Моделирование данных электромагнитных зондирований в рамках одномерной поляризующейся модели выполнена в программе «Mars1D» [1]. Для учета частотной дисперсии используется зависимость Cole-Cole [3, 4], которая позволяет определить поляризационные характеристики разреза:

$$\rho(\omega) = \rho_0 \left[1 - \frac{\eta(i\omega\tau)^c}{1 + (i\omega\tau)^c}\right] \quad (1)$$

где, ω - частота, i - мнимая единица, ρ - удельное электрическое сопротивление, ρ_0 - сопротивление на постоянном токе, η - коэффициент поляризуемости, τ – время релаксации и c – показатель степени.

Для моделирования данных ЭМЗ-ВП составлена стартовая модель геоэлектрического разреза (Таблица 1). Опираясь на опыт ранее смоделированных участков и изучения геологических материалов, данная модель для изучаемого участков в основном состоит из 5-6 слоев. По результатам одномерной инверсии была уточнена стартовая модель, которая представлена в таблице 2.

Таблица 1. Стартовая модель по данным многоразносного профилирования для одномерной инверсии данных ЭМЗ-ВП на одном из пиктов участка работ

№ слоя	ρ, Ом·м	η, %	τ, с	c	h, м
1	2000	15	0.05	0.5	15
2	2500	15	0.05	0.5	75
3	15000	1	0.05	0.5	125
4	10000	5	0.05	0.5	100
5	500	5	0.05	0.5	50
6	30000	0.01	0.01	0.5	

Таблица 2. Результирующая модель инверсии данных ЭМЗ-ВП на одном из пикетов участка работ

№ слоя	ρ, Ом·м	η, %	τ, с	c	h, м
1	601	23.7	0.01	0.796	14.68
2	645	17.9	0.025	0.536	163.23
3	1289	6.05	0.017	0.725	116.63
4	389	24	0.2	0.4	149.48
5	289	41	0.02	0.797	62.86
6	80000	0.01	0.01	0.8	

В результате одномерной инверсии среднеквадратического отклонение между теоретическими и наблюденными кривыми составило менее 5%. На рисунке 2 представлен пример результатов инверсии одного из пикетов по профилю, где выполнено многоразносное профилирование.

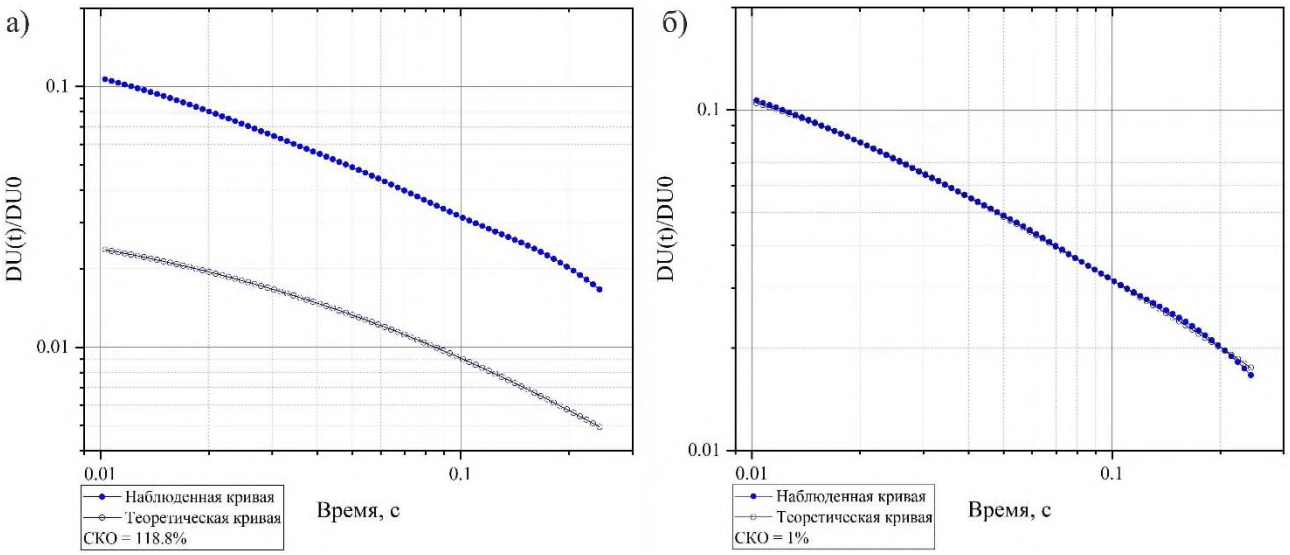


Рис.2. Пример наблюденных и теоретических кривых данных ЭМЗ-ВП: а) со стартовой моделью одномерной инверсии; б) с результирующей моделью одномерной инверсии

На рисунке 3 представлены разрезы кажущейся поляризуемости по данным многоразносного профилирования и поляризуемости по данным одномерной инверсии ЭМЗ-ВП. В рамках решения одномерной обратной задачи данных ЭМЗ-ВП удалось уточнить геоэлектрический разрез на глубину до 500 метров. Исходя из основного рассчитываемого параметра поляризуемости, основная приповерхностная аномалия повышенных значений

отражается на разрезах в двух методиках измерений на пикетах 32-36. И прослеживается на глубину до 500 метров.

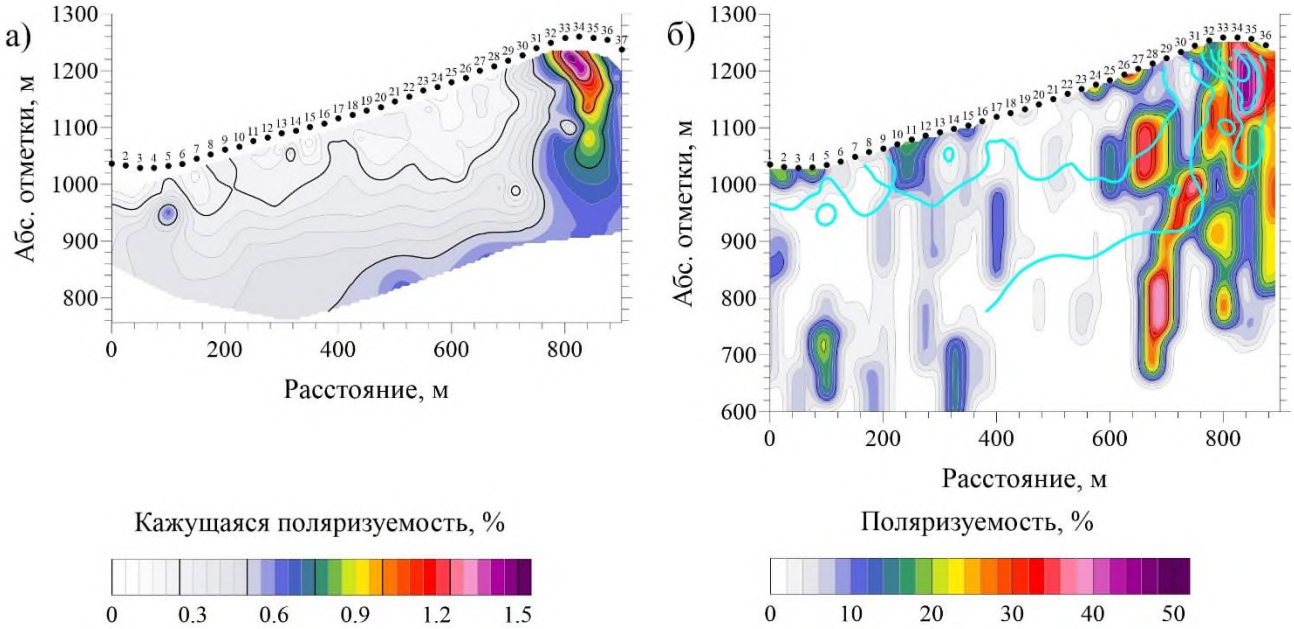


Рис.3. Разрез кажущейся поляризуемости по данным многоразносного профилирования (а) и разрез поляризуемости по данным одномерной инверсии ЭМЗ-ВП (б).

Использование многоразносного профилирования установкой поль-диполь позволяет увеличить глубинность исследования до 350 метров и более в отличие от стандартного комплекса электротомографии. Однако такой подход является долгим в реализации, если необходимо проводить измерения на нескольких профилях на большой площади. Применение площадного измерения технологией ЭМЗ-ВП позволяет достаточно быстро получить полевые материалы, но при этом трудоемким является решение одномерной обратной задачи для построения геоэлектрических разрезов. Таким образом был предложен вариант комплексирования 2 методов электроразведки для повышения качества получаемой информации.

По результатам проделанной работы следует, что применение в комплексе двух электроразведочных методов, многоразносного профилирования и электромагнитного зондирования и вызванной поляризации, позволяет повысить эффективность и точность решения одномерной обратной задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давыденко Ю.А., Давыденко А.Ю., Пестерев. И.Ю., Яковлев С.В., Давыденко М.А., Комягин А.В., Шимянский Д.М. Патент на изобретение № 2574861, RU 2012134345/28 “Способ измерения и обработки переходных процессов с заземлённой линией при импульсном возбуждении электрическом диполем с целью построения геоэлектрических разрезов и устройство для осуществления этого способа с помощью аппаратно-программного электроразведочного комплекса (АПЭК "МАРС")”. Приоритет изобретения от 1 августа 2012 г., Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 10 февраля 2016 г., Правообладатель: Общество с ограниченной ответственностью «Гелиос».
2. Тарасов, В. А., Бытенский Л. И., Пищик В. В. Автоматизированная система электротомографии ВП для поисков рудных месторождений. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2015. № 3. С. 101-107.

3. Pelton W.H., Ward S.H., Hallof P.G., Sill W.R., Nelson P.H. Mineral discrimination and removal of inductive coupling with multifrequency IP. Geophysics. 1978 V. 43 P. 588–609.
4. Veeken P., Legeydo P., Davidenko Y., Kudryavceva E., Ivanov S. and Chuvaev A. 2009a. Benefits of the induced polarisation geo-electric method to exploration of hydrocarbon prospects. Geophysics, Vol. 74, No. 2, P. 47-59.

УДК 550.361

РАДИОГЕННАЯ ТЕПЛОГЕНЕРАЦИЯ В ГРАНИТАХ ВТОРОГО СЕВЕРОМУЙСКОГО ТОННЕЛЯ НА БАЙКАЛО-АМУРСКОЙ МАГИСТРАЛИ

Прикащикова Елена Львовна[1], Аристархова Елизавета Владимировна[2]
[2]sv110-5@yandex.ru,[2]aristarkhova_lisa@mail.ru
Геологический институт РАН, 109017, Москва, Россия

Аннотация. Проведен рентгено-флуоресцентный анализ концентрации изотопов урана, тория и калия в пробах керна скважин Второго Северомуйского тоннеля на трассе Байкало-Амурской магистрали (БАМ). Рассчитаны величины радиогенной теплогенерации на разных глубинах в скважинах. Показано, что теплогенерация статистически значимо уменьшается с глубиной скважин. Доля редуцированного теплового потока уменьшается по мере удаления от центра Байкальской рифтовой зоны.

RADIOGENIC HEAT GENERATION IN GRANITES OF SEVEROMUYSKY TUNNEL THE BAIKAL-AMUR MAINLINE

Prikachshikova E.L., Aristarkhova E.V.
[2]sv110-5@yandex.ru,[2]aristarkhova_lisa@mail.ru
Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, 109017, Moscow, Russia

Abstract. X-ray fluorescence analysis of uranium, thorium, and potassium isotope concentrations was conducted on core samples from boreholes in tunnel Second Severomuysky along the Baikal-Amur Mainline. The values of radiogenic heat generation at different depths within the boreholes were calculated. It was shown that heat generation statistically significantly decreases with borehole depth. The proportion of reduced heat flow decreases with increasing distance from the center of the Baikal Rift Zone.

Участок строительства второго Северомуйского тоннеля (СМТ-2) располагается во внутреннем поясе байкалид в пределах Ангаро-Витимского батолита гранитоидов. В локальном плане участок расположен на северо-восточном фланге Байкальской рифтовой зоны [2]. В геологическом строении территории принимают участие породы многофазного Баргузинского комплекса гранитоидов позднепротерозойского возраста, в пределах которого различают три последовательные фазы его становления.

Район отличается высокой сейсмической активностью, сложными инженерно-геологическими и мерзлотно-гидрогеологическими условиями на фоне сурового климата, поэтому было принято решение об увеличении объема геолого-геофизических работ, перед началом проходки горного массива СМТ-2. Геотермические исследования являются неотъемлемой частью этого комплекса, так как дают основную информацию о температуре и динамике подземной гидросферы, а также о состоянии и возможной деградации многолетнемерзлой зоны в тоннельном массиве пород.

В данной работе рассмотрены некоторые проблемы структуры теплового потока, а именно, роль радиогенного тепла, генерируемого за счет спонтанного распада долгоживущих изотопов ^{238}U, ^{232}Th и ^{40}K, присутствующие в породах, извлеченных при бурении.

Анализ порошковых проб выполнялся рентгеноспектральным флуоресцентным методом на рентгеновском вакуумном спектрометре S8 TIGER фирмы «Bruker AXS» (Германия) с применением программного обеспечения «Spectra-Plus» в сертифицированной химико-аналитической лаборатории ГИН РАН. Разрешающая способность для *K* составляла 0,01%, а для *U* и *Th* – 2 *ppm*. Образцы с содержанием двух последних элементов <2 *ppm* анализировались методом ICP-MS.

В пределах СМТ-2 для анализа были выбраны относительно глубокие скважины, расположенные на восточном фланге будущего тоннеля и в вершинной части Северо-Муйского хребта (скв.Т-69). Расположение проектируемого тоннеля и положение скважин показано на рис.1.

Концентрация долгоживущих радионуклидов определялась только для коренных гранитов без указания фаз, к которым относятся эти породы.



Рис.1. Расположение СМТ-2 (красная линия) и скважин, в которых определялась радиогенная теплогенерация.

Таблица 1

Определение радиогенной теплогенерации в вершинной части СМТ-2 (скв. Т-69)

N пп.	Интервал, м	Th (PPM)	U (PPM)	K (%)	A_0 мкВт/м^3
1	0,2-0,3	7,9	3,2	4,706	1,868
2	20,2-20,3	21,5	3,6	4,77	2,951
3	30,2-30,3	14	1,9	5,677	2,053
4	40,9-41,0	5,3	7,9	2,998	2,765
5	50,0-50,1	30,6	2,3	7,87	3,555
6	60,2-60,3	40,9	3,2	5,86	4,334
7	70,2-70,3	11,6	2,1	6,067	1,972
8	80,2-80,3	7,7	2	4,525	1,518
9	110,6-110,7	6,3	1,5	6,783	1,504
10	130,0-130,1	10,4	0,5	4,824	1,342
11	151,0-151,1	9,5	0,6	5,287	1,349
12	170,2-170,3	17,3	0,4	5,065	1,831
13	190,9-191,1	10,8	0,5	5,207	1,407
14	210,0-210,1	9,8	2,3	5,066	1,8
15	230,3-230,4	11,2	1	5,314	1,579
16	249,9-250,0	10,1	0,4	4,746	1,286
17	270,9-271,0	16,9	1,7	5,632	2,202
18	290,2-290,3	13,6	1,3	4,448	1,746
19	310,2-310,3	22,5	3,1	8,466	3,247
20	330,0-330,1	16,5	1,6	5,626	2,146
21	350,9-351,0	11,1	1,4	6,504	1,793
22	371,6-371,7	2,3	0,9	4,662	0,854
23	390,2-390,3	17	2	5,126	2,24

24	410,2-410,3	5	0,3	3,524	0,778
25	430,2-430,3	1,4	1,7	3,69	0,908
26	450,9-451,0	5,2	0,3	4,045	0,842
27	470,4-470,5	10,3	0,7	5,145	1,419
28	490,2-490,3	10,5	1,6	5,312	1,688
29	510,8-510,9	10,7	0,7	5,027	1,436
30	520,2-520,3	4,3	1,6	5,727	1,286
31	530,3-530,4	10,7	0,4	5	1,354
32	540,2-540,3	12,9	1,9	5,661	1,973
33	550,2-550,3	4,9	0,9	5,28	1,1
34	560,2-560,3	7,3	2,1	4,457	1,51
35	570,2-570,3	2,7	1,1	4,612	0,931
36	580,9-581,0	9,8	1,8	3,866	1,551
37	589,9-590,0	9,5	1,5	4,194	1,482
38	600,2-600,3	5,5	0,3	3,756	0,836
39	610,2-610,3	4,7	2,7	5,531	1,587
40	620,2-620,3	1,7	1	5,589	0,928

Зависимость теплогенерации от глубины скважны показана на рис. 2. Радиогенная теплогенерация должна уменьшается с глубиной отбора пробы [3]. Проверим это на статистическом уровне. Для этого рассчитаем коэффициент корреляции Пирсона. Он равен r = 0,55. Если это значение окажется больше критического значения t-критерия Стьюдента при числе степеней свободы $k=n-2$ и с уровнем значимости (α), то коэффициент корреляции значим; n – число элементов в выборке, α = 0,01 – уровень значимости. Статистическая значимость эмпирического коэффициента корреляции Пирсона определяется по формуле:

$$t_{\text{эмп}} = |r|\sqrt{\frac{n-1}{1-r^2}}, \quad (1)$$

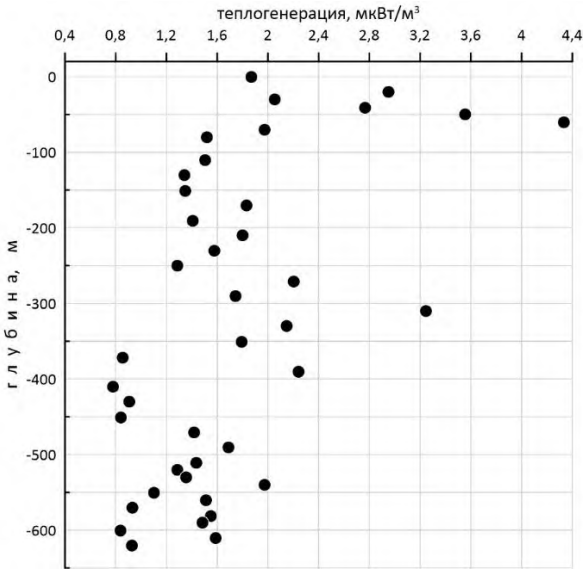


Рис. 2. Радиогенная теплогенерация в скважине Т-69

В нашем случае $r = 0{,}55$, $n = 40$, $k = 38$. Следовательно, $t_{\text{эмп}} = 4{,}06$. Критическое значение t-критерия Стьюдента при данном числе степеней свободы $k=38$ и доверительной вероятности P = (1 – α) = 0,99 равно 2,71. Следовательно, $|t_{эмп}| > t_{кр}$ и коэффициент корреляции признается значимым на уровне значимости α = 0,01.

Для уменьшающейся с глубиной теплогенерации рассмотрим параметры экспоненциальной модели, где РТГ описывается зависимостью $A_z=A_{пов}\cdot\exp(-z/D)$ [1]. Отсюда, $D = -z/(\ln A_z/A_0)$, т.е. D – это глубина, на которой поверхностная генерация уменьшается в «$e \approx 2{,}72$» раз. После подстановки всех эмпирических параметров получим значение $D = 5{,}5$ км. Определим тепловой поток, генерируемый в земной коре, по формуле (2),

$$q_{кор} = A_{пов}\cdot D\cdot[1 - exp(-M/D)], \quad (2)$$

принимая, что $M = 40$ км. Тогда $q_{кор}$ составит 9 мВт/м^2, а редуцированный ТП – (40-9) = 31 мВт/м^2 .

Превышение редуцированного (глубинного) теплового потока над коровым косвенно свидетельствует о тектонической активизации в низах коры и в верхней мантии, которые проявляются в районе строительства СМТ-2.

Радиотеплогенерация убывает с глубиной, что подтверждается на статистическом уровне. Максимальные ее величины наблюдаются вблизи поверхности Земли, но уже на глубине 0,3-0,7 км она заметно уменьшается. Это убывание можно аппроксимировать разными моделями. Мы пришли к выводу, что модель экспоненциального уменьшения поверхностной теплогенерации наиболее адекватно отражает реальную картину снижения концентрации долгоживущих радиоизотопов. Зная толщину активного теплогенерирующего слоя «D» и поверхностную теплогенерацию, можно легко рассчитать тепловой поток в коре путем интегрирования экспоненциальной функции в интервале глубин от поверхности до подошвы земной коры.

Работа выполнена при поддержке Госюджетной темы ГИН РАН № 122012700311-2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хуторской М.Д., Поляк Б.Г. Роль радиогенной теплогенерации в формировании поверхностного теплового потока // Геотектоника. №2. 2016. С.43-61.

2. Шерман С. И., Леви К.Г., Ружич В.В. и др. Геология и сейсмичность зоны БАМ. Неотектоника // Новосибирск: Наука. Сиб. Отд., 1984. 208 с.

3. Birch F., Roy R.F., Decker E.R. Heat flow and thermal history in New England and New York, chapt.33 // Studies in Appalachian Geology. N.Y. 1968. P. 437-451.

УДК 543.429.23

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СМАЧИВАЕМОСТИ МОДЕЛИ КОЛЛЕКТОРА МЕТОДОМ ЯДЕРНОГО МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА

Рожков Михаил Сергеевич
rozhkov2004.com@yandex.ru
Институт геофизики УрО РАН г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. Выстроена методика проведения работ на установке исследования керна с использованием оборудования ядерного магнитного резонанса. Представлены результаты мониторинга распределения флюида с течением времени по модели коллектора. Определен способ количественной оценки объема флюида в многофазной системе. Представлен способ оценки проницаемости. Опробована методика определения флюида по данным времен релаксации.

STUDY OF THE WETTING PROCESS OF A RESERVOIR MODEL BY THE NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE METHOD

Rozhkov Mikhail Sergeevich
rozhkov2004.com@yandex.ru
Institute of geophysics Ural Branch of Russian Academy of sciences, Ekaterinburg, Russia

Abstract. A methodology for conducting core analysis using nuclear magnetic resonance equipment has been developed. Results of fluid distribution monitoring over time on a reservoir model are presented. A method for quantifying fluid volume in a multiphase system has been developed. A method for permeability assessment has been presented. A method for determining fluid volume based on relaxation times has been tested.

Целью исследований является создание методологической базы и отладки технических средств изучения процесса фильтрации флюидов различного типа: воды, нефти и их смеси на установке исследования керна (УИК) с использованием оборудования ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Работы необходимы для подготовки возможности исследования керна из месторождений с трудноизвлекаемыми запасами нефти с большой вязкостью на установке в термобарических условиях приближенным к пластовым. Результатом исследования является получение данных о чувствительности и скорости насыщения модели отдельными типами флюидов и мониторинг процесса вытеснения нефти водой в многофазной системе.

Для испытания установки был произведен ряд экспериментов. Для проведения испытаний были взяты две ёмкости объемом 19,6 мЛ, заполненные песком (размерность от 0,1 до 0,6 мм). В первую ёмкость (далее – Б-1) было впрыснуто 1,636 г. нефти, во вторую (далее – Б-2) было впрыснуто 1,653 г. нефти, после чего был произведен замер времени релаксации по Т2. По прошествию 3 часов с момента первой записи (Далее – МПЗ) был произведен повторный замер. Образцы были отложены на несколько дней, для того, чтоб закаченная нефть распространилась по объему, и система пришла в равновесие, через 361 с МПЗ час был произведен замер.

Далее в Б-1 был добавлен 1 г. воды, в Б-2 добавлено 2 грамма воды. Были произведены замеры следующие моменты времени: сразу после закачки воды или через 362 часа с МПЗ; через 363,5 с МПЗ; через 883 с МПЗ.

По данным графиков мы можем проследить как нефть распространяется по объему (рис.1а). Со временем флюид начинает проникать в более мелкие капилляры, это отражает релаксационная кривая, которая смещается влево. На рис.1б мы наблюдаем график многофазной системы. Впрыснутая вода образует второй пик, который со временем

смещается в левую часть релаксационной кривой, а в последствии сливается с нефтяным пиком. Данная методика позволит впоследствии выйти на замер системы в динамике, что даст возможность отслеживать протекающую фильтрацию в пробе керна.

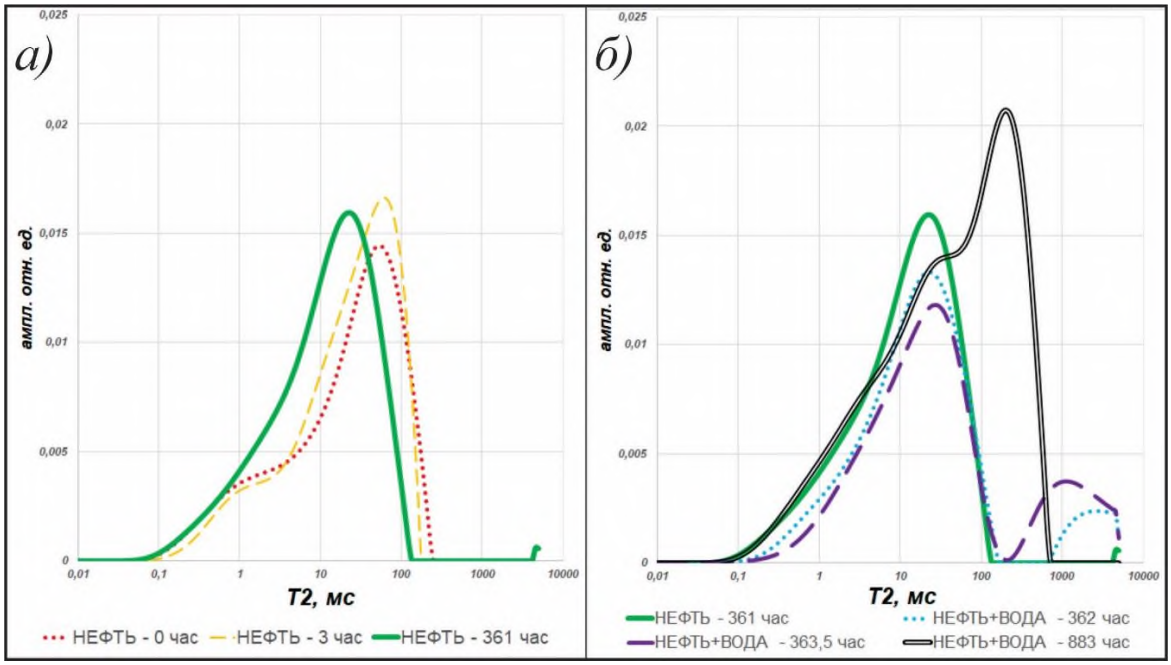


Рис. 2. Графики распределения T2.

При измерении с двойным временем намагничивания (Далее – TW), во время записи с TW_{short} (равное 50 мс) полностью поляризуется только нефть, а во время записи с TW_{long} (равное 6000 мс) полностью поляризуются обе составляющие как вода, так и нефть. Данные измерения выполнены на образце Б-2. Результат получают при вычитании полученных спектров T2 и используют для выделения и количественной оценки углеводородов (рис.2).

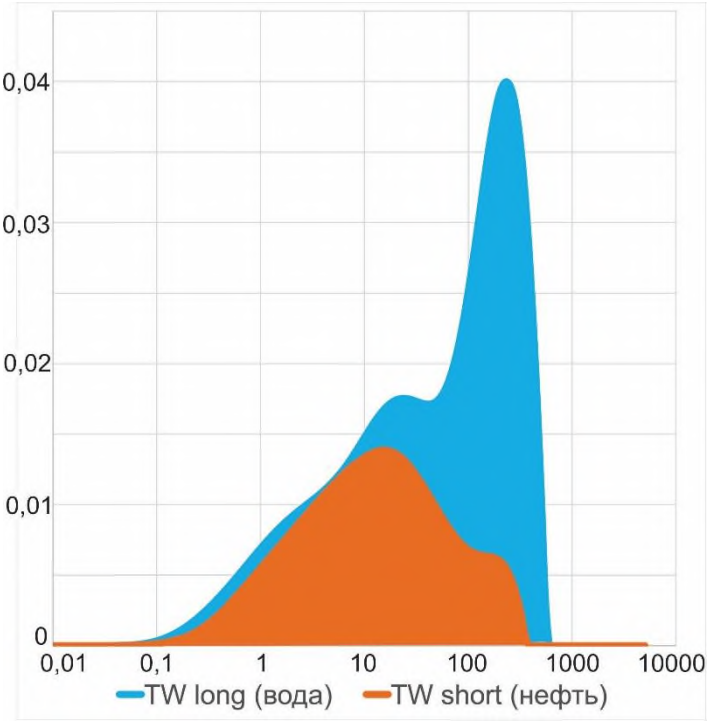


Рис. 2. Графики зависимости распределения T2 при TW разной длительности.

Начальная амплитуда ЯМР эхо-сигнала, или область под кривой распределения T2, пропорциональна числу протонов водорода, содержащихся в поровых флюидах в зоне исследования. Следовательно, эта амплитуда может быть откалибрована для измерений величины пористости. Были выделены следующие зоны: от 0 до 3,3 мс – зона глинисто-связанной воды (CBW); от 3,3 до до 33 мс – зона капиллярно-связанной воды (BVI); более 33 мс – зона свободного флюида (FFI). По данной разбивке были просуммированы соответствующие интервалы, по результатам были построены графики (рис.3).

В результате можно наблюдать закономерные перераспределения энергий с течением времени. В графике отражено, что изначально основная масса жидкости, в данном случае нефть, в момент после закачки занимает почти в равном соотношении BVI и FFL, и в значительно меньшей мере CBW. В дальнейшем количество нефти в зоне FFL значительно убывает, флюид переходит в зону BVI и в меньшем количестве в зону CBW. В дальнейшем в Б-1 и в Б-2 в разных объемах была добавлена вода, что привело к уменьшению CBW и BVI, и росту FFL. Со временем в Б-1 произошел небольшой прирост в зонах CBW и BVI, а FFL сохранила свои значения. В Б-2 так же отмечается прирост в зонах CBW и BVI, однако в зоне FFL значения продолжили рост.

Имея данные о значениях BVI, FFL и коэффициента пористости, который так же подсчитывается при измерении, можно спрогнозировать проницаемость по уравнению Тимура-Коатса (1):

$$k = \left(\frac{FFI}{BVI}\right)^2 \cdot \left(\frac{\phi}{c}\right), \qquad (1)$$

где *FFI* – индекс свободного флюида;

BVI – индекс связанного флюида;

ϕ – пористость (%);

c – регулируемое значение.

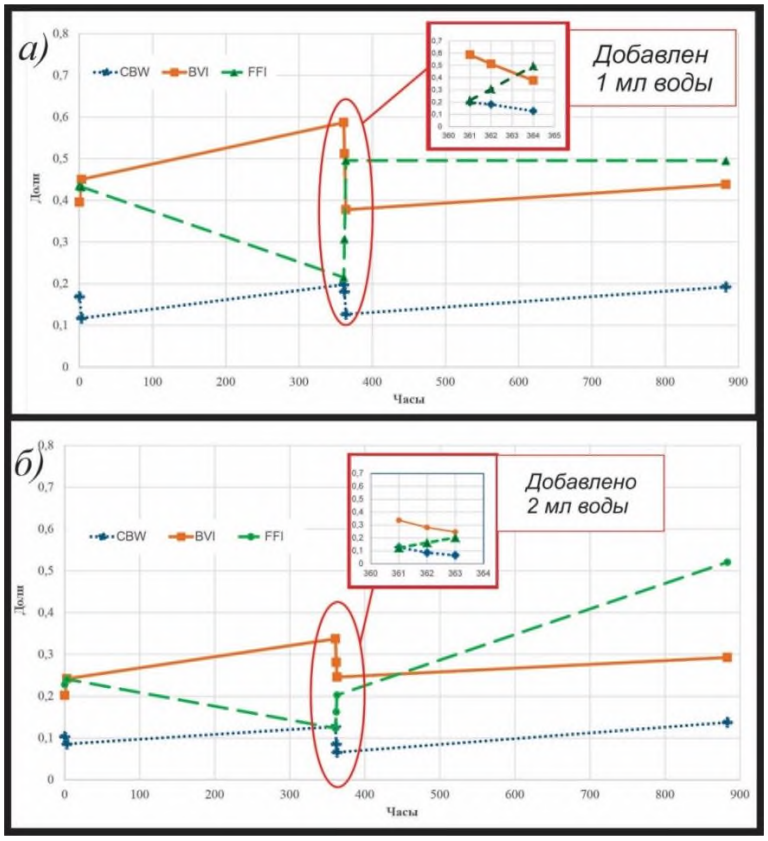


Рис. 3. Графики зависимости распределения количества флюида в зонах от времени (а – Б-1, б – Б-2).

Была испытана методика разделения флюида по построению графика зависимости T1 и T2. На образце Б-2 произведен ряд измерений (рис.4а). Предполагается, что нанесенные на рисунке зоны должны соответствовать нефти и воде. Однако для проверки были измерены емкости с песком наполненные только нефтью (рис.4б) и только водой (рис.4в). По результату замеров однофазных систем было замечено, что аппаратура дает помехи, это приводит к наличию нефти в чистой воде, и наоборот, наблюдается присутствие воды в нефти, в результате чего теоритическое распределение не соответствует действительности. На данный момент технология требует доработки и более четкой настройки.

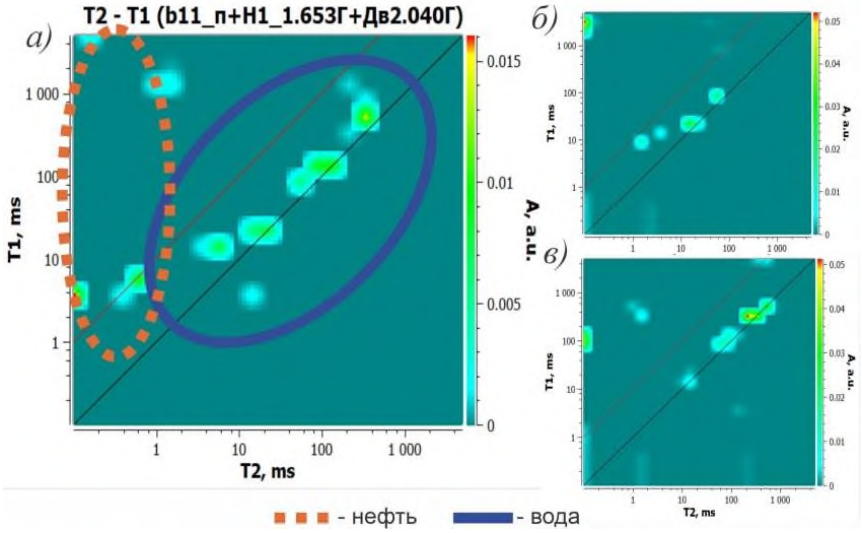


Рис. 4. Графики зависимости распределения T1 от T2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макфи К., Рид Дж., Зубизаретта И. Лабораторные исследования керна: гид по лучшим практикам // М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2018. 924 с.
2. George R. Coates, Lizhi Xiao, Manfred G. Prammer. NMR Logging Principles and Applications // Halliburton Energy Services, Houston, 1999. 234 с.

УДК 550-34

ГОРНО-ТЕКТОНИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ СУБР И НТГГР В СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ДАННЫМ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ОБСЕРВАТОРИИ «АРТИ»

Рябухина Александра Сергеевна
sanches.cher@yandex.ru
Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. Работа содержит краткий обзор событий горно-тектонического происхождения, зарегистрированных в СУБР и НТТГР в Свердловской области в период 2021-2025 годы по сейсмологическим наблюдениям обсерватории «Арти» ИГФ УрО РАН.

MINING AND TECTONIC ACTIVITY OF THE SUBR AND NTGGR IN THE SVERDLOVSK REGION ACCORDING TO SEISMOLOGICAL OBSERVATIONS OF THE ARTI OBSERVATORY

Ryabukhina Alexandra Sergeevna
sanches.cher@yandex.ru
Institute of geophysics Ural Branch of Russian Academy of sciences, Ekaterinburg, Russia

Abstract. The work contains a brief overview of events of mountain-tectonic origin recorded in the SUBR and NTTGR in the Sverdlovsk region in the period 2021-2025 based on seismological observations of the Arti observatory of the Institute of Geology and Physics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

Длительная разработка месторождений полезных ископаемых может инициировать сейсмические события горно-тектонического происхождения, даже в тех районах, где природная сейсмическая активность обычно низкая. В Свердловской области выделяются две такие зоны, где регулярно регистрируются сейсмические толчки слабой и средней интенсивности.

Первая зона локализована в Североуральском бокситовоносном районе (СУБР), включающем город Североуральск и близлежащие населённые пункты. Тектонически она локализована в восточной части Тагильско-Магнитогорской зоне Урало-Сибирского соединения, преимущественно в пределах Североуральского синклинория и прилегающих зон разломов, где доминирует блоково-складчатая структура с выраженным рифейско-палеозойским фундаментом. [1, 2] Бокситы нижнеэйфельского возраста залегают пластообразными залежами на закарстованной поверхности девонских известняков и перекрыты среднедевонскими отложениями. Залежи падают на восток под углом 25–45°, мощность горизонта варьируется от долей метра до 30 м (в среднем 4,5 м), с неровным лежачим боком и проникновением в карстовые углубления. Работающие шахты: «Красная Шапочка», «Кальинская», «Ново-Кальинская», «Черёмуховская» и «Черёмуховская-Глубокая». В результате многолетней добычи бокситов в пределах рудного поля месторождений фиксируются горно-тектонические события в количестве до нескольких десятков в год.

Вторая зона охватывает Нижнетагильский горно-рудный район (НТГРР), включая территорию города Нижний Тагил. В Нижнем Тагиле добычей полезных ископаемых занимается в основном Высокогорский горно-обогатительный комбинат (ВГОК). Предприятие ведет работу на таких шахтах, как «Магнетитовая», «Естюнинская» и «Эксплуатационная», где добывается магнитный железняк. ВГОК эксплуатирует Гальянский карьер, поставляющий известняк и мрамор, а также Соловьевогорский карьер.

НТГРР богат железными рудами, медью и платиновыми месторождениями. Район характеризуется ультраосновными интрузиями, такими как Нижнетагильский дунит-клинопироксенитовый массив овальной формы (6×13 км) с дунитовым ядром и клинопироксенитовой оболочкой, сформированным длительной динамикой кристаллизации и деформации. [1, 2] Размещение руд (железо в скарнах Высокогорского месторождения, медистые колчеданы, платина) контролируют глубокие разломы, зоны трещиноватости и метасоматические процессы на контактах известняков с туфами и интрузиями; скарны гранат-пироксеновые, руды в телах неправильной формы. Тектоника включает долгоживущие разломы, определяющие интрузии, метасоматиты и блоки рудных тел.

Активизация горно-тектонических процессов в данных районах обусловлена комплексом факторов, среди которых ключевую роль играют изменения напряжённого состояния горных пород, вызванные выемкой руды и сопутствующими горными работами. В результате происходит перераспределение напряжений в земной коре, что может приводить к возникновению разломов и сдвигов, способных инициировать сейсмические толчки. Особое значение имеет глубина и интенсивность добычи, а также геологические особенности месторождений, включая наличие зон повышенной трещиноватости и разломов, которые служат потенциальными очагами сейсмической активности.

Рассмотрим сейсмическую активность зон в период 2021-2025 гг. Обработка сейсмограмм проводилась в соответствии с [3, 4, 5]. В СУБР в этот период было зарегистрировано 95 горно-тектонических событий (рисунок 1).

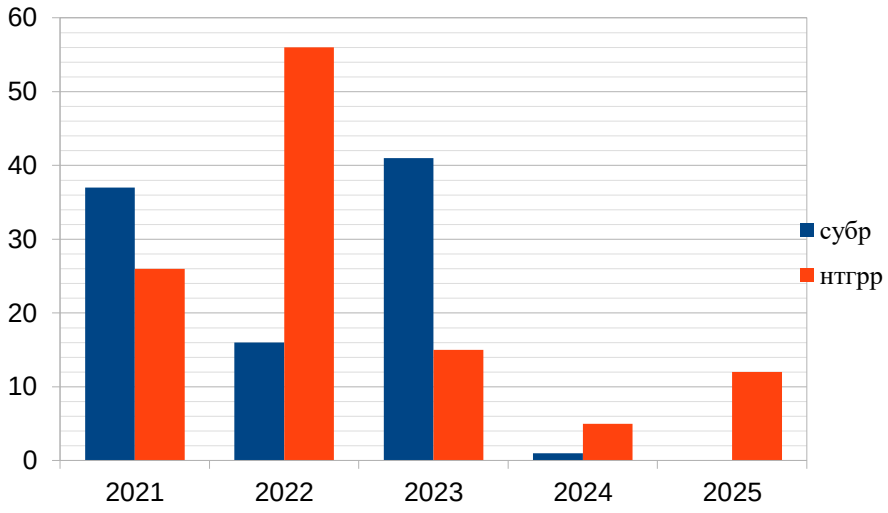


Рис. 1. Количество тектонических событий СУБР и НТГРР за 2021 — 2025 г.г.

В 2021 году зафиксирована серия из 37 подземных толчков. Магнитуда этих событий варьировалась от 2.1 до 3.6. Среди них выделяются 9 толчков магнитудой от 2.5 до 3.0. Самое мощное событие, магнитудой 3.6, произошло 3 декабря 2021 года в 19:45:19 по всемирному времени (UT). Этот толчок совпал с периодом сильной магнитной бури. Эпицентр этого события, по данным станции ARU, находился по координатам 60.5342° северной широты и 59.6169° восточной долготы. Спустя неделю, 10 декабря, в 13:44:56, в районе СУБР было зарегистрировано еще одно заметное событие магнитудой 3.0. Его эпицентр располагался по координатам 60.3641° северной широты и 59.0408° восточной долготы. Для сравнения, в 2022 году было зарегистрировано 16 подобных событий. Из них лишь три имели магнитуду в диапазоне 3.5-3.6. Самое мощное сейсмическое событие в районе Североуральска зафиксировано 23 декабря 2022 года. Его магнитуда составила 3.1 (рисунок 2).

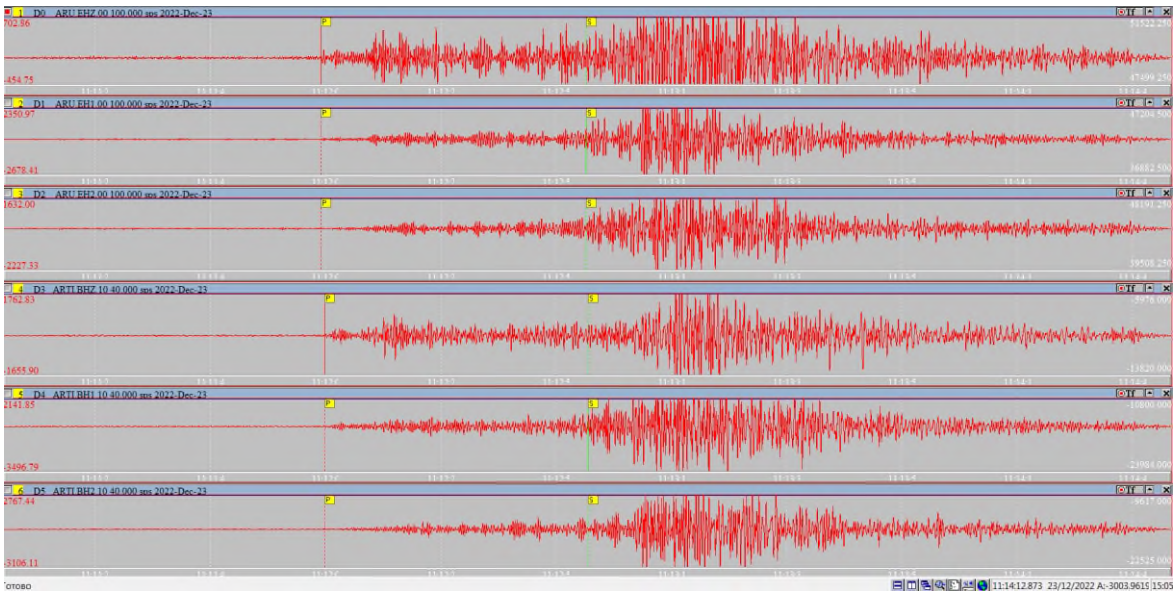


Рис. 2. Сейсмограммы события, зарегистрированного 23 декабря 2022 г. в СУБР. Md=3.1, координаты эпицентра 60.5728° СШ, 59.8092° ВД. Желтыми флажками отмечены моменты вступления объемных волн P и S.

В 2023 году сейсмическая обстановка была особенно напряженной: произошло 41 горно-тектоническое событие. Большинство из них имели магнитуду в пределах 2.0-3.7, причем четыре события оказались достаточно сильными, с магнитудой 3.6-3.7 . В 2024 году зафиксировано одно горно-тектоническое событие. Оно произошло 2 декабря и имело магнитуду 2.2. В целом, за период с 2021 по 2025 год, в Северо-Уральском бокситоносном районе (СУБР) было выявлено 95 горно-тектонических событий с магнитудой от 2.0 до 3.7, что свидетельствует о продолжающейся сейсмической активности в регионе (рисунок 1).

Сейсмическая активность НТГРР отмечалась с 1832 года. В **1832 и 1841 годах** были зафиксированы первые сильные землетрясения, достигавшие 6 баллов. С развитием технологий и углублением шахт, влияние человека на земную кору стало еще более ощутимым. **4 февраля 2000 года** город содрогнулся от мощного горно-тектонического удара на шахте «Магнетитовая». Подвижки произошли на значительных глубинах – от 130 до 370 метров. В период 2009–2010 годов наблюдалась серия техногенных сейсмических событий, связанных с работой шахты «Естюнинская». Особенно сильные толчки случились в октябре 2009 года [3]. В течение 2010-х годов на этой шахте регулярно фиксируются горно-тектонические землетрясения. Из-за значительной глубины добычи, превышающей 1 километр, энергия этих подземных толчков достигает высоких значений, что иногда может приводить к их ошибочному восприятию как природных сейсмических явлений. Магнитуда наиболее сильных таких событий в этом районе обычно составляет от 2.0 до 2.5. По шкале MSK-64 это соответствует 3–4 баллам в эпицентре, что ощущается как вибрация или резкий удар. Основной эпицентр находится между шахтами «Магнетитовая» (в стадии консервации) и «Естюнинская».

С 2021 по 2025 год станциями Aru и Arti выделено 114 событий техногенного характера (см. рисунок 1). В НТГГР в районе г. Н. Тагил было зарегистрировано 26 событий, которые имеют предположительно горно-тектоническую природу с магнитудой 1.6-1.9, одно событие с магнитудой 2.5. В 2022 году было зафиксировано 56 событий, большинство из которых связаны с горно-тектоническими процессами и имели магнитуду от 1.6 до 1.9 [5]. В 2023 году активность несколько снизилась и было зарегистрировано 15 событий с магнитудой 1.7-1.9, также предположительно горно-тектонического происхождения. Особенно выделяется 8 декабря 2023 года, когда произошла целая серия из семи таких событий. Первое из них было зафиксировано в 19:54 по всемирному времени (UT) с

магнитудой 1.7, а последнее – в 23:25 (UT) с магнитудой 1.8. Пять из этих семи событий произошли в короткий промежуток времени – с 22:40 до 23:25, с небольшими интервалами. (рисунок 3). Глубина их гипоцентров оценивается примерно в 1 километр. В 2024 году в НТГГР в районе Нижнего Тагила зарегистрировано 5 событий, предположительно горно-тектонического происхождения, с магнитудой от 1.8 до 2.2. В 2025 году 12 сейсмических событий произошли с магнитудой 1.5-2.8 .

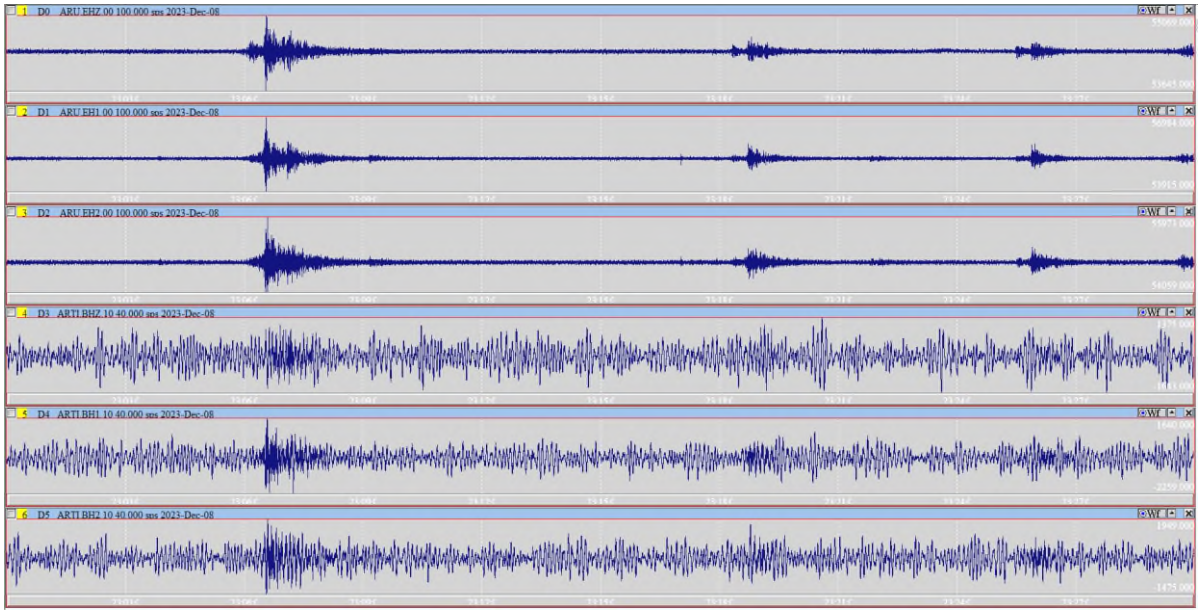


Рис. 3. Сейсмограммы (основные записи) трех сейсмических событий в районе Н. Тагила, зарегистрированные сейсмостанциями Aru и Arti 8 декабря 2023 г. в 23:06, в 23:18, в 23:25 (UT). Магнитуда событий 2.6, 2.3, 2.0 соответственно

В результате проведенных сейсмологических наблюдений можно сделать вывод, что в выделенных зонах наблюдается активная сейсмическая деятельность по горно-тектоническим событиям. Магнитуда событий варьируется от 1.5 до 3.7. В СУБР магнитуды горно-тектонических событий значительно превышают значения магнитуды событий в НТГРР. В СУБР в 2024-2025 годах наблюдается временной снижение активности. Здесь можно ожидать существенное повышение активности уже в 2026-2027 годах. В НТГРР активность сохраняется.

Мониторинг и изучение таких сейсмических событий имеют важное практическое значение для обеспечения безопасности горных работ и населения, проживающего вблизи активных рудных полей. Современные системы сейсмического наблюдения позволяют не только фиксировать и анализировать параметры толчков, но и прогнозировать возможные изменения в сейсмической обстановке, что способствует своевременному принятию мер по снижению рисков. В частности, это может включать корректировку технологии добычи, ограничение объёмов взрывных работ, а также усиление контроля за состоянием горных выработок.

Автор выражает благодарность за организацию наблюдений и помощь в подготовке материалов доклада инженеру Т.Я. Кусонской и заведующему обсерватории - лаборатории «Арти» О. А. Кусонскому.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тектоническая карта Урала масштаба 1:1000000 (Объяснительная записка) / Соболев И.Д., Автонеев С.В., Белковская Р.П. и др. // Министерство геологии РСФСР, ПГО Уралгеология. Свердловск: ПГО Уралгеология, 1983. 169 с.

2. Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.
3. Кусонский О.А. Геофизические обсерваторские исследования на Урале. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2012. 280 с.
4. Регламент работы на цифровых сейсмических станция Геофизической службы РАН. Обнинск: ГС РАН, 2007. 87 с.
5. Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях Единой системы сейсмических наблюдений СССР. М.: Наука, 1981. 272 с.

УДК 550.331

СРАВНЕНИЕ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЖУМГАЛЬСКОЙ И ТАЛАССКОЙ ВНУТРИГОРНЫХ ВПАДИН

Стрельников Андрей Андреевич
aas@ifz.ru
Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

Аннотация. Получаемые инструментальным методом данные собираются и обрабатываются только последние 100 лет, в то время как для понимания действительной картины сильной сейсмичности необходимы научные изыскания в области изучения древних сейсмических событий. Комплексный палеосейсмологический метод позволяет получить информацию оповторяемости высокомагнитудных землетрясений, а также определение фактических параметров землетрясений для подготовки защиты сооружений [1]. Во время рекогносцировочного этапа палеосейсмологических работ в сейсмоопасном регионе как Северный Тянь-Шань часто удается обнаружить геоморфологические проявления древних сильных землетрясений, однако это не всегда так. В данной работе рассмотрен пример двух схожих по строению внутригорных впадин Джумагальской и Таласской.

COMPARISON OF SEISMOTECTONIC PROCESSES OF THE JUMGAL AND TALAS INTRA-MONTAIN BASINS

Strelnikov Andrey
aas@ifz.ru
Schmidt institute of physics of the Earth of the Russian academy of sciences, Moscow, Russia

Abstract. Instrumental seismic data has only been collected and processed for the past 100 years, while scientific research into ancient seismic events is needed to understand the true picture of strong seismicity. A comprehensive paleoseismological method allows us to obtain information on the recurrence of high-magnitude earthquakes, as well as determine the actual earthquake parameters for the preparation of protective structures [1]. During the reconnaissance phase of paleoseismological work in a seismically hazardous region such as the Northern Tien Shan, it is often possible to detect geomorphological manifestations of ancient strong earthquakes, but this is not always the case.

This paper examines an example of two similar in structure intramountain depressions: Dzhumagala and Talas.

Характерное проявление тектонических движений четвертичного периода было исследовано в центральной части Джумгальской впадины. Впадина представляет собой асимметричную синклиналь длиной приблизительно 70 км и шириной до 35 км с довольно пологим южным краем и сложной разломанной и складчатой северной границей (рис. 1).

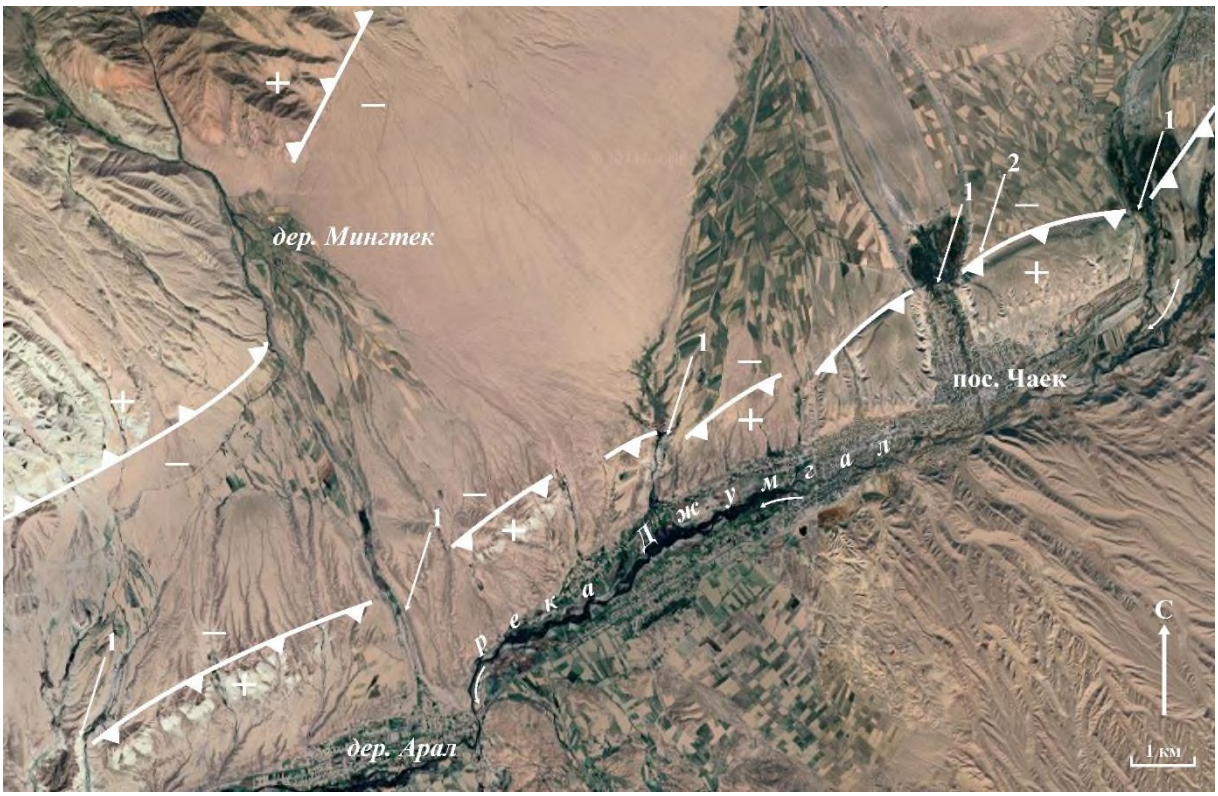


Рис. 1. – Космический снимок долины р. Джумгал. 1 – участки систематического тектонического подпруживания; 2 – местонахождение карьера с обнажением

Система платообразных холмов с шириной варьирующейся от 1 до 3,0 км тянется вдоль оси синклинали более чем на 25 км. Самый крупный участок, Чаекское поднятие, расположен в центральной части впадины к северу от пос. Чаек.

Зафиксированное в одной из стенок карьера в Чаекского поднятия смещение, отмеченное крупнозернистым песком с галькой, составляет около 2,5 метров, под очень пологим углом. Смещения происходили по нескольким плоскостям разрыва.

Для оценки возможных магнитуд разрывных землетрясений было выбрано несколько вариантов расчета с использованием формул [2].

В первом случае использовалась общая длина поднятия, проходящего по центральной части Джумгальской впадины, представляющей собой систему платообразных холмов, расположенных вдоль оси синклинали на протяжении более 25 км. Разлом не выходит на поверхность, поэтому было принято решение использовать формулу длины подповерхностного разрыва для расчета магнитуды разлома:

$$M = 4.49 + 1.49 \log(25) = 6.6$$

Во втором случае оценивалось смещение по линии падения разлома в обнажении. Наблюдаемое смещение 2.5 м позволило с помощью корреляционных зависимостей оценить моментную магнитуду палеосейсмического события как:

$$M = 6.52 + 0.44 \log(2.5) = 6.7$$

Учитывая несколько вариантов расчета при M=6.6 и M=6.7, мы получили возможную среднюю магнитуду сейсмического события M~6.7.

Современные показатели сейсмической активности, за инструментальный период, показывают, что данный регион находится в режиме сейсмического затишья, а максимальные зарегистрированные магнитуды меньше M≤6.0.

Общая длина поднятия, проходящего по центральной части Таласской впадины, представляющей собой систему платообразных холмов, расположенных субширотном направлении составляет более 27 км (рис. 2). Был обследован широкий участок обнажения вдоль трассы Талас (около 20 км), однако не было выявлено четких, разрывных нарушений четвертичных отложений.

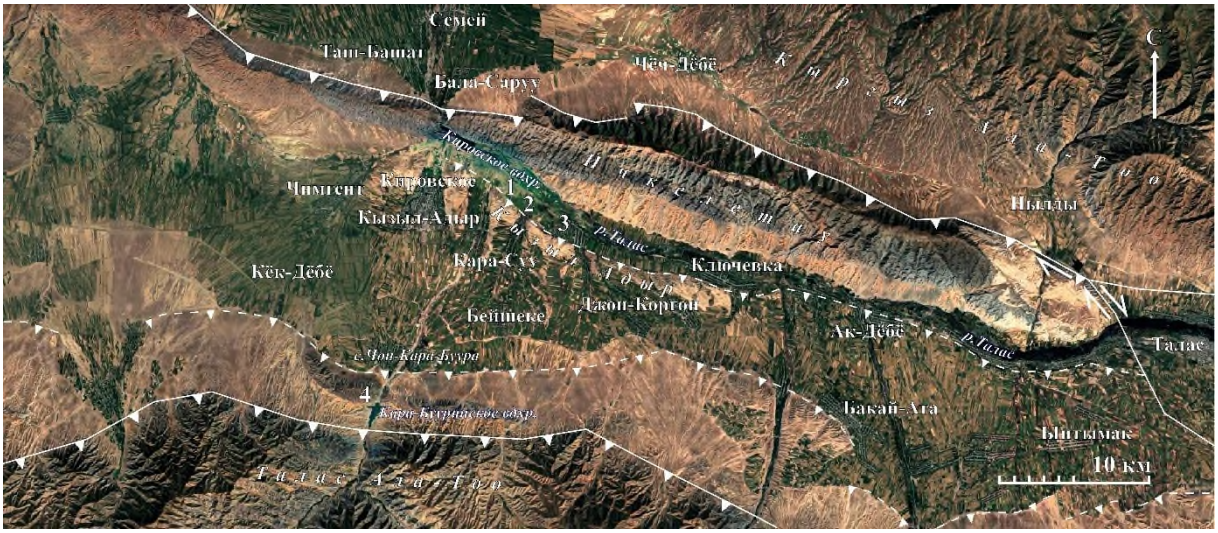


Рис. 2. Таласская впадина, грабен асимметричного строения с пологим северным крылом, и крутым осложненным краевыми разломами южным крылом. Бергштрихами показаны зоны надвигания поднятия Талас-Ала-Тоо, Кызыл-Адыра и Ичкелетау по разломам. 1 – Обнажение вдоль проектируемой дороги; 2 – Структура взбросового типа; 3 – участок с протяженным обнажением; 4 – участок с угловым несогласием

Однако ввиду схожести с Чаекским поднятием можно предположить, что поднятие Кызыл-Адыр является единой по времени формирования структурой, без выхода разлома на поверхность. В таком случае мы можем использовать формулу длины подповерхностного разрыва для расчета магнитуды разлома:

$$M = 4.49 + 1.49 \log(27) = 6.6$$

При анализе современной сейсмичности, за период инструментальных наблюдений на территории Таласской области было зарегистрировано несколько сот землетрясений, большинство из которых не являлись сильными. Возможная магнитуда сейсмических событий на западном участке поднятия Кызыл-Адыр M~6.6 не выходит за рамки установленного уровня сейсмической опасности для данного региона. Современные показатели сейсмической активности, за инструментальный период, показывают, что данный регион находится в режиме сейсмического затишья, а максимальные зарегистрированные магнитуды меньше M≤5.5.

Работа выполнена в рамках государственного задания «Структуры Земной коры в различных геодинамических обстановках, параметризация и пространственно-временное распределение связанных с ними сильных землетрясений» лаборатории палеосейсмологии и палеогеодинамики Института физики Земли имени О. Ю. Шмидта РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. McCalpin, J.P. Paleoseismology. 2nd edn, Academic Press, Amsterdam-London, 2009.
2. Wells D.L., Coppersmith K.J. Empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture area, and surface displacement // Bull. Seismol. Soc. Am. 1994. V. 84. P. 974-1002.

УДК 536.51

ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ТЕРМОМЕТРИИ СКВАЖИН: РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫСОКОТОЧНОГО КАРОТАЖА

Хацкевич Богдан Дмитриевич[1], Факаева Нелли Рафаэлевна[2]
[1]disaybl@yandex.ru, [2]fakaeva.n@gmail.com
[1,2] *Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия*

Аннотация. В работе представлены результаты практической апробации методики высокоточного температурного каротажа, разработанной на основе анализа релаксационных характеристик прецизионных термометров типа RBRsoloT. Методика реализована в непрерывном варианте с использованием портативного устройства для равномерного спуска прибора. На примере скважин, расположенных в различных геологических условиях (Урал, о. Сахалин, о. Кунашир), показано, что непрерывный каротаж со скоростью 0,02–0,03 м/с обеспечивает детальность записи до 1 см и позволяет выявлять слабоконтрастные температурные аномалии, связанные с заколонными перетоками, зонами поглощения флюида, изменениями теплопроводности пород и гидрогеологическими процессами. Обсуждаются перспективы дальнейшего развития метода, включая валидацию на эталонных объектах и лабораторное моделирование.

INCREASING THE INFORMATIVENESS OF BOREHOLE THERMOMETRY: RESULTS OF HIGH-PRECISION WELL LOGGING

Khatskevich Bogdan[1], Fakaeva Nelly[2]
[1]disaybl@yandex.ru, [2]fakaeva.n@gmail.com
Institute of geophysics Ural Branch of Russian Academy of sciences, Ekaterinburg, Russia

Abstract. The paper presents the results of practical testing of a high-precision temperature logging methodology developed based on the analysis of relaxation characteristics of RBRsoloT precision thermometers. The methodology is implemented in a continuous mode using a portable device for uniform tool descent. Using examples of wells located in various geological conditions (the Urals, Sakhalin Island, Kunashir Island), it is shown that continuous logging at a speed of 0.02–0.03 m/s provides a recording resolution of up to 1 cm and makes it possible to identify weak-contrast temperature anomalies associated with behind-casing flows, fluid absorption zones, changes in rock thermal conductivity, and hydrogeological processes. Prospects for further development of the method are discussed, including validation on reference sites and laboratory modeling.

Введение

Температурный каротаж является одним из старейших и информативных методов геофизических исследований скважин, находящим широкое применение в нефтегазовой гидрогеологии, промысловой геофизике, геокриологии, геотермии и смежных областях. Развитие современного аппаратурно-технического комплекса и, в частности, появление нового поколения автономных прецизионных логгеров (RBRsoloT, Канада) с разрешением <0,00005 °C и малоинерционным выносным датчиком, позволило существенно повысить разрешающую способность метода. Это дало возможность впервые обнаруживать и регистрировать аномалии сверхмалой амплитуды (до $n \cdot 10^{-3}$ К), которые ранее оставались за порогом чувствительности традиционных термометров. Выявление таких слабоконтрастных аномалий открывает путь к изучению их природы – будь то малодебитные заколонные перетоки, скрытые гидрогеологические процессы или иные трудно диагностируемые явления. Однако, как было показано в работе [1], реализация этого потенциала требует пересмотра традиционных методик полевых наблюдений.

В работе [1] на основе анализа релаксационных характеристик термометра RBRsoloT было установлено наличие временного «окна» (5–15 с после остановки прибора), в котором измеренная температура наиболее близка к невозмущённой температуре флюида. Также была обоснована принципиальная возможность проведения непрерывного каротажа благодаря малой постоянной времени датчика ($\tau \approx 1$ с). Дальнейшее развитие методика получила в материалах конференций [3,4], где рассматривались вопросы практической реализации непрерывных прецизионных измерений, а также были предложены подходы к учёту свободно-конвективных помех при обработке данных.

Настоящая работа посвящена практической апробации указанных методических разработок на ряде скважин в различных геологических условиях**.** Её цель – на конкретных полевых данных продемонстрировать возможности непрерывного прецизионного каротажа, оценить его точность, детальность и информативность при решении гидрогеологических и геофизических задач.

Для реализации непрерывного каротажа в полевых условиях было разработано портативное автономное устройство (рис. 1), обеспечивающее равномерный спуск скважинного прибора со скоростью 0,5 - 5 м/мин. Устройство позволяет проводить каротаж до глубин 500 м, отказываясь от тяжёлых каротажных подъемников, и существенно упрощает полевые работы. Все представленные ниже результаты получены с использованием данного устройства и термометра RBRsoloT.



Рис. 1. Портативное автономное устройство, предназначенное для равномерного спуска скважинного термометра

Результаты исследований на различных объектах

1. Скважины ВС-1 и ВС-3 (Сысертский район, Свердловская область)

Скважины глубиной около 200 м расположены на базе геофизической практики УГГУ. Они вскрывают комплекс метаморфических пород среднего рифея: амфибол-биотитовые гнейсы, углистые сланцы. Широко развиты маломощные дайки гранитов, кварцевые жилы, участки сульфидной минерализации Обсадка стальными трубами имеется только в верхнем 20-м интервале. Непрерывный каротаж скважин был проведен в июле 2025 г со скоростью V =1,25 м/мин (0,021 м/с). При дискретизации отсчетов 0,5 с интервал измерений температуры составил 1 см. Инерционные искажения (при $\tau = 1$ и G = 0,016 К/м в нижней половине скважин) не превышают δT= -0,0002 К

На рис. 2 представлены термограммы и градиентограммы (сглаженные в 1-метровом окне). Уровень конвективного шума оценён на спокойных участках: для ВС-1 (120-128 м) σT = 0,0019 К, для ВС-3 (110-115 м) σT = 0,0008 К, что соответствует низким градиентам в этих интервалах. Локальные отклонения термограммы от линейного распределения фиксируют

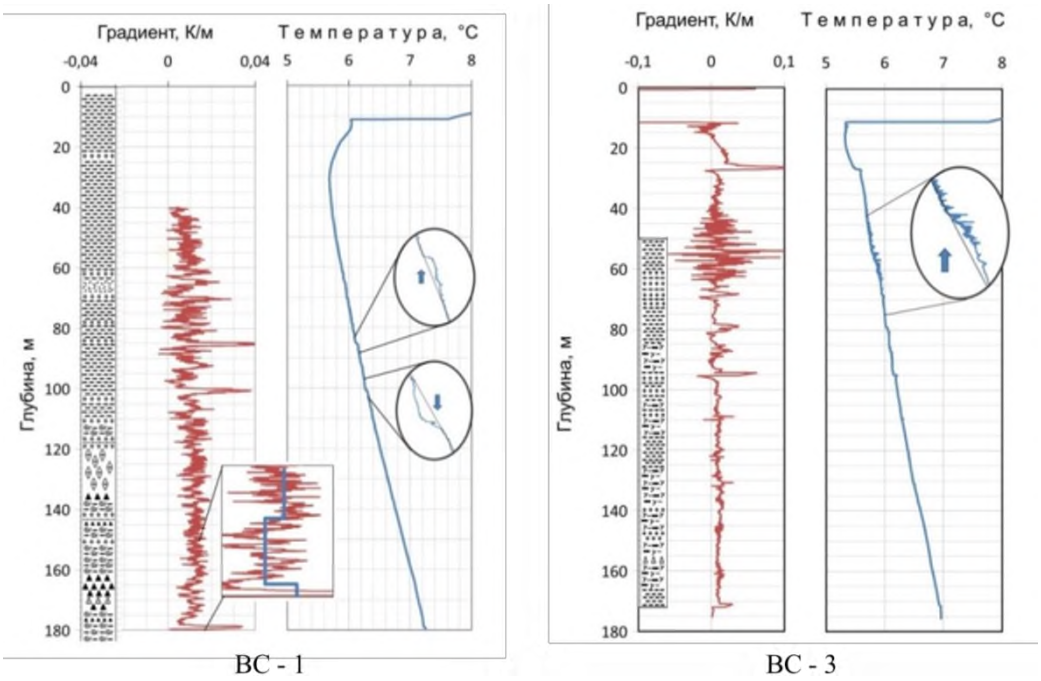


Рис. 2. Результаты непрерывного термокаротажа скважин ВС-1 и ВС-3: термограммы и градиентограммы

участки повышенной гидрогеологической активности (перетоки). На градиентограммах уверенно выделяются узкие положительные аномалии, соответствующие участкам поглощения скважинного флюида. Они, в основном, приурочены к контактовым зонам гранитных даек, возможно, сильно трещиноватым. В верхней части скв. ВС-3 выделяется более широкая зона поглощения (40-65 м), которая вызывает рост амплитуды конвективного шума. В интервале 162-177 м скв. ВС-1 наблюдается понижение градиента на 0,003 К/м, связанное с сульфидной минерализацией и повышенной теплопроводностью пород. Таким образом, детальная градиентограмма дает возможность литологически расчленять разрез и выявлять зоны флюидодинамики.

2. Скважина kun-1 (о. Кунашир)

С 2007 г в скважине проводятся геотермические исследования, включая термокаротажи и температурный мониторинг, направленный на выявление температурной реакции на геодинамические процессы. До глубины 273 м скважина вскрывает вулканогенно-осадочные породы неогенового возраста, представленные пемзовыми, псаммитовыми и псефитовыми туфами, обломками андезитов. Ниже, в интервале 273-303 м вулканогенно-осадочные породы переслаиваются со средне- и мелкозернистыми песчаниками и алевролитами. В исследованиях прошлых лет использовались: коса термисторов ММТ-4 и автономный термометр с кварцевым датчиком. Основным недостатком термисторных датчиков температуры является нестабильность градуировочных характеристик; заключенный в стеклянный баллон кварцевый датчик обладает огромной температурной инерцией. В 2025 г. впервые выполнен непрерывный каротаж с RBRsoloT (скорость V =1,25 м/мин, шаг 1 см). Результаты представлены на рис. 3.

На термограмме чётко виден вход в воду и далее (ниже 50 м) практически линейный рост температуры со средним градиентом 0,099 К/м. Инерционные искажения на линейном участке δT= -0,002 К. Конвективный шум σT = 0,020 К хорошо согласуется с теоретической оценкой [2] σT= 1,5DG, где D - внутренний диаметр скважины, G - градиент: σT= 1,5·0,168·0,099 = 0,025 К. . Знакопеременные колебания градиента в верхней части толщи пемзовых туфов (55 - 60 м), вероятно, связаны с заколонным перетоком флюида и его поглощением в раздробленной контактовой зоне. Положительная аномалия градиента приурочена к контакту с несцементированными обломками изверженных пород и отражает снижение теплопроводности вследствие значительной обводненности и плохого теплового

контакта между обломками. Вертикального движения флюида на этом участке не наблюдается.

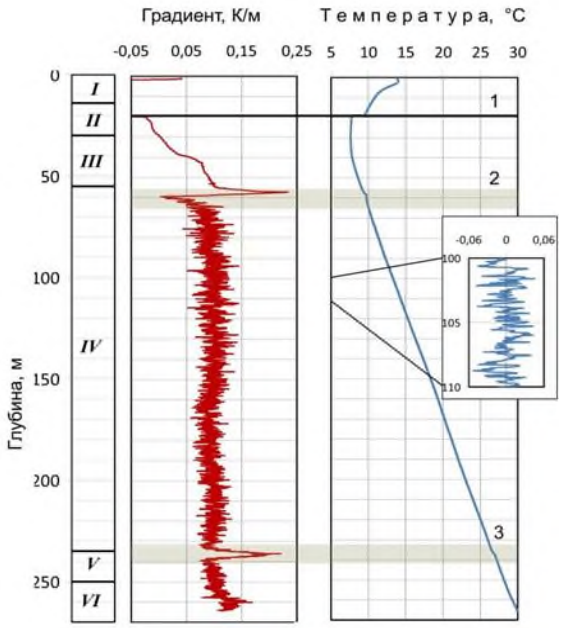


Рис. 3. Результаты непрерывного термокаротажа скважины kun-1: термограмма и градиентограмма (сглажены в 1-м интервалах). На врезке справа – увеличенный фрагмент термограммы участка 50 – 54 м после удаления градиента 0,099 К/м. 1- вход термометра в воду, 2 – зона перетока, 3 – зона пород с низкой теплопроводностью

3. Скважина ИМГГ-70 (г. Южно-Сахалинск)

Скважина пробурена в 1936 г., ее устье находится в помещении Института морской геологии и геофизики ДВО РАН. Каротаж выполнен в октябре 2025 г. со скоростью V =1,25 м/мин, интервал дискретизации по глубине - 1 см. Термограмма и градиентограмма представлены на рис. 4.

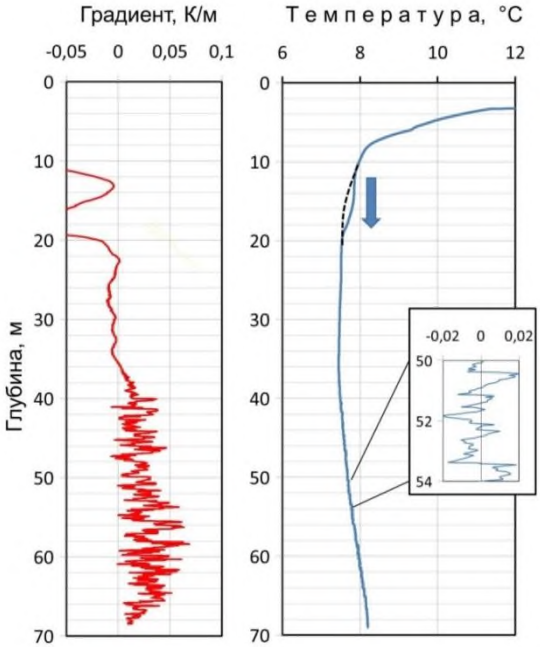


Рис. 4. Результаты непрерывного термокаротажа скважины ИМГГ-70: термограмма и градиентограмма. На врезке – фрагмент 50–54 м после вычета линейного градиента 0,026 К/м

Инерционные искажения (при G=0,026 К/м в интервале 50-54 м) составляют δT= +0,0005 К. Наиболее интересная особенность - зона нисходящего заколонного перетока в интервале 12-18 м, отчётливо выделяющаяся на градиентограмме. Термограмма отражает влияние потепления климата (увеличением температурного градиента) и наверняка - тепловое влияние самого здания. Однако разделить эти влияния не представляется возможным. Конвективный температурный шум равен σT= 0,008 К. Других геологических особенностей в разрезе, сложенном аллювиальными отложениями выявлено не было.

Заключение

Практическая апробация методики непрерывного высокоточного температурного каротажа на скважинах в различных регионах (Свердловская область, Сахалин, Кунашир) подтвердила её высокую эффективность. С использованием разработанного портативного устройства для равномерного спуска и прецизионного термометра RBRsoloT получены детальные термограммы с шагом 1-1,5 см, позволившие выявить слабоконтрастные аномалии, связанные с заколонными перетоками, зонами поглощения флюида, изменениями теплопроводности пород и гидрогеологическими процессами. Выполненные оценки инерционных искажений и конвективного шума подтверждают корректность методики. Дальнейшее развитие метода должно быть направлено на количественную интерпретацию выявляемых аномалий и предполагает проведение контрольных измерений на скважинах с детально охарактеризованным разрезом, а также лабораторное моделирование, позволяющее установить количественные связи между параметрами аномалий и фильтрационными характеристиками.

Авторы выражают признательность сотрудникам Института морской геологии и геофизики ДВО РАН и Уральского государственного горного университета за содействие в проведении полевых работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демежко Д.Ю., Хацкевич Б.Д., Факаева Н.Р., Горностаева А.А. О методике температурных исследований в буровых скважинах прецизионными термометрами //Георесурсы. 2024. Т. 26. №. 2. С. 92-98.
2. Демежко Д.Ю., Хацкевич Б.Д., Миндубаев М.Г. Исследование свободной тепловой конвекции в вертикальном водонаполненном цилиндре методом инфракрасной термографии. //Геология и геофизика. 2019. Т. 60. № 7. С. 1028—1035.
3. Хацкевич Б.Д., Горностаева А.А., Факаева Н.Р. Геотермические исследования скважин перспектива прецизионных методов //Материалы Всероссийской конференции с международным участием. Двадцать шестая Уральская молодежная научная школа по геофизике. 17–21 марта 2025 года Пермь: ГИ УрО РАН, 2025. С. 179-183.
4. Хацкевич Б.Д., Демежко, Д.Ю., Факаева Н.Р Горностаева А.А. Основы методики прецизионных температурных измерений в скважинах // Материалы Всероссийской конференции с международным участием. Инженерная и рудная геофизика 2025. 21–25 апреля 2025 года Екатеринбург: ООО «Геомодель Развитие», 2025. С. 177-180.

УДК 550.8.013

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОРАДАРНОГО ОТКЛИКА НА МАКРОАНИЗОТРОПИЮ ГОРНЫХ ПОРОД

Цветков Максим Олегович
mo.tsvet@mail.ru
Институт Геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия

Аннотация. Анизотропия структуры горных пород, связанная с трещиноватостью, может вызывать неоднородность электрических свойств, которые в свою очередь оказывают влияние на распространение георадарного сигнала. Как следствие, возможна ошибочная интерпретация данных при изучении горных пород методом георадиолокации. На эффект анизотропии на макроуровне оказывают влияние трещины различного генезиса, пустоты, поры, включения. Такое множество факторов может порождать комплексный отклик в волновом поле георадиолокации. Кроме того, при исследовании макроанизотропных сред, разные условия наблюдений и параметры георадарной съёмки могут влиять на конечный результат. Чтобы продемонстрировать это, было проведено исследование трансформации георадарного сигнала в анизотропной среде на примере трещиноватости габбродолерита.

STUDY OF GEOPRADAR RESPONSE TO MACROANISOTROPY OF ROCKS

Maxim Tsvetkov
mo.tsvet@mail.ru
[1]*Institute of Geology, Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences*

Abstract. Rock structure anisotropy associated with fracturing can cause heterogeneity in electrical properties, which in turn affects ground-penetrating radar signal propagation. Consequently, data may be misinterpreted when studying rocks using ground-penetrating radar. The effect of anisotropy at the macroscale is influenced by cracks of various origins, voids, pores, and inclusions. This multitude of factors can generate a complex response in the ground-penetrating radar wavefield. Furthermore, when studying macroanisotropic media, different observation conditions and ground-penetrating radar survey parameters can influence the final result. To demonstrate this, a study of ground-penetrating radar signal transformation in an anisotropic medium was conducted using fracturing in gabbrodolerite as an example.

Введение

Георадиолокация является эффективным инструментом для выявления трещин и других неоднородностей как в массивах горных пород [2], так и в горнодобывающей отрасли. Использование георадара в сфере неразрушающего контроля также является одним из передовых методов поиска пустот и зон деструкции бетона [5, 8], однако широкое многообразие дефектов значительно усложняет интерпретацию результатов. Для выявления закономерностей распространения электромагнитного поля в анизотропной среде проводят математическое моделирование с включением неоднородностей, различных по своей геометрии и физическим свойствам [3, 7]. В частности, численное моделирование методом конечных разностей во временной области (FDTD) позволяет детально исследовать влияние ориентации и заполнения трещин на кинематические и динамические характеристики отраженных волн [4]. Современные исследования показывают, что даже незначительные вариации угла оси анизотропии относительно угла распространения георадарного сигнала могут приводить к существенным искажениям волновой картины, имитируя ложные дефекты или маскируя реальные пустоты [6, 10].

Трещиноватость горных пород представляет собой сложную структуру, которая может оказывать значительное влияние на результаты георадиолокации в зависимости от направления съёмки, поэтому выявить отклик в волновом поле георадара от систем трещин с

разными элементами залегания является весьма актуальной задачей. На основании этого было выполнено математическое моделирование трещин с разными углами падения, а также изучены особенности формирования рефлекторов в горной породе.

Материалы и методы

Математическое моделирование позволяет имитировать заданную среду с любыми локальными неоднородностями. Для выполнения математического моделирования использовалось программное обеспечение, работающее по методу конечных разностей – «gprMax» [9]. Была создана среда, имитирующая трещину, расположенную слабонаклонно (0–10°), полого (10–45°), круто (45–80°) и вертикально (80–90°) (по [1]), и получен набор простых одномерных моделей георадарных трасс (a-scan). Длина и ширина трещины оставались неизменными и равнялись 1.1 м и 0.05 м, соответственно. Для всех моделей использованы одни и те же параметры – длина записи составляла 30 нс, частота дискретизации 4 мм, источник в виде синтетической дипольной антенны с частотой 400 МГц, зондирующий импульс – Рикера.

В качестве исследуемого натурного объекта была выбрана товарная блок-заготовка габбродолерита с размерами 1,3×1,0×0,7 м, для которой проведена георадарная съемка вдоль граней по 3 направлениям (X, Y, Z). Съёмка была выполнена георадаром ОКО-2 с антенным блоком АБ-1700 с частотой 1700МГц по профилям, расположенным через 25 см. Сбор и обработка данных выполнялись в программе КартСкан. При интерпретации полученных радарограмм осуществлялся поиск осей синфазности, связанных с внутренними трещинами в блоке, и анализировались изменения параметров сигнала в разных направлениях.

Результаты

В результате моделирования были получены отображения волнового поля в зависимости от угла падения трещины (рис. 1). На моделях видно, что неоднородность с одинаковыми геометрическими параметрами, но под разным наклоном приводит к изменению осей синфазности. Так, более острый угол наклона трещины соответствует более острому углу отражения, а также возникновению различных интерференционных краевых эффектов, как видно при сравнении нижних правых частей моделей (рис. 1б и рис. 1в). Картина отражений вертикальной трещины (рис. 1а) характеризуется несколькими равномерными гиперболами, из которых верхняя соответствует кромке трещины, а нижняя – подошве.

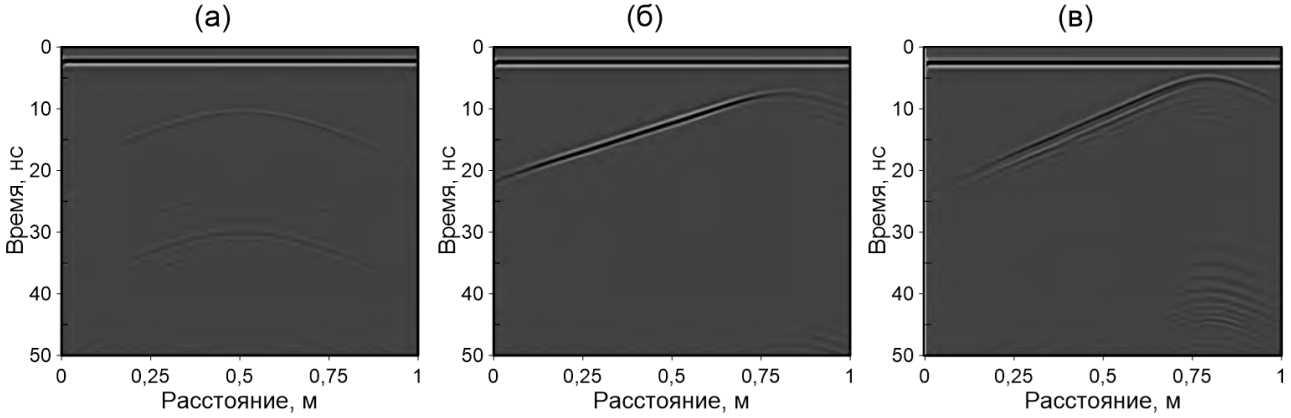


Рис. 1. Модель отраженного сигнала от трещины при различном угле наклона: (а) – 90°, (б) – 37°, (в) – 64°.

Натурные измерения показали преимущественно спокойное волновое поле с низкоамплитудными отражениями. Использование скорости 11.3 см/нс показало хорошее соответствие протяженной и интенсивной оси синфазности в нижней части записи границы блока. В тоже время для неоднородностей в габбродолерите зафиксирован сложный георадарный отклик. Так, на радарограмме по направлению X (рис. 2а) отчетливо наблюдается зона трещиноватости (красная область), которая проявляется в виде серии

четких осей синфазности. По другим направлениям эта область явно отсутствует, что свидетельствует о простирании данной зоны плоскопараллельно направлению X. Поскольку шаг между профилями составлял 25 см, эта область, вероятно, попала между профилями, а потому отсутствует в направлениях Y и Z. Однако на профиле Y в нижней части регистрируется слабое хаотичное поле, которое может быть связано с боковым влиянием трещины. Анализ динамических параметров показал различие в экстремумах частотного спектра радарограмм. Для профиля X этот показатель составил 1100 МГц, Y – 1680 МГц, а для Z – 1005 МГц. Оценка максимальных амплитуд также показала неоднородное распределение. Для профилей X и Z отражения от внутренних неоднородностей габбродолерита имели схожий уровень относительных амплитуд в 40–50 у.е., тогда как на профиле Y локальные рефлекторы, несмотря на хаотичный характер, демонстрировали амплитуды в 50–80 у.е. Вероятно, наблюдаемая неоднородность динамических параметров могла быть вызвана анизотропией горной породы, формируемой серией сомкнутых трещин вдоль направления профиля Y.

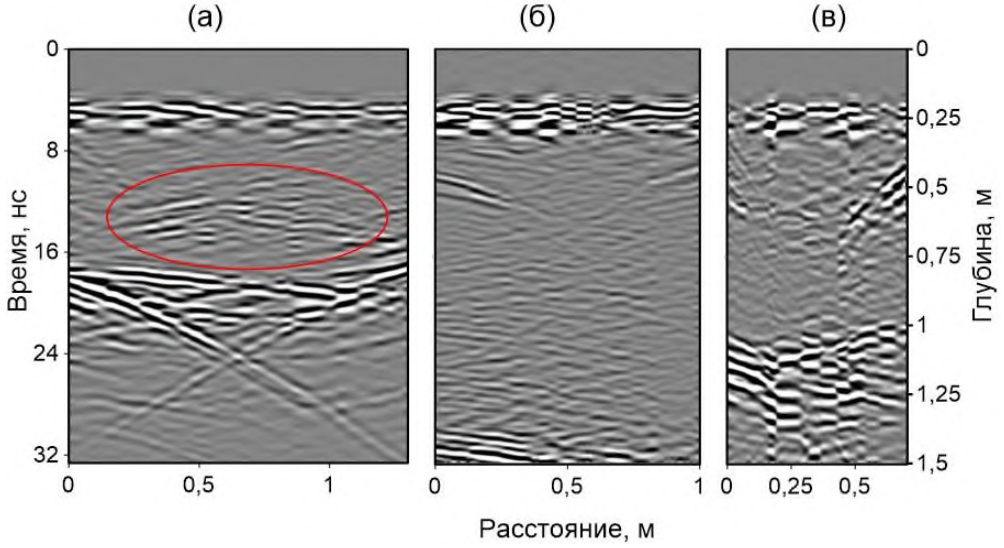


Рис. 2. Радарограммы блока габбродолерита по направлениям X (а), Y (б) и Z (в) с выявленной зоной трещиноватости (красный эллипс).

Выводы

Выполненное исследование показало, что трещиноватость может оказывать значительное влияние на волновое поле георадиолокации. В зависимости от залегания трещины будут продуцировать наборы разных рефлекторов, тогда как порождаемая ими макроанизотропия горной породы предположительно изменяет динамические параметры отраженного георадарного сигнала. Дальнейшие работы в этом направлении могут выявить критерии интерпретации радарограмм, полученных в анизотропных средах, позволяющие определять главные направления изменчивости параметров таких сред.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ольховатенко, В.Е. Методы изучения трещиноватости горных пород [Текст]: учебно-методическое пособие для самостоятельной работы по курсу «Инженерная геология» / В.Е. Ольховатенко, Г.И. Трофимова, Т.В. Ожогина. Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2015. 80 с.

2. Arosio, D., Deparis, J., Zanzi, L., & Garambois, S. (2016, June). Fracture characterization with GPR: A comparative study. In 2016 16th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR) (pp. 1-6). IEEE.

3. Carcione J. M., Schoenberg M. A. 3-D ground-penetrating radar simulation and plane-wave theory in anisotropic media // Geophysics. 2000. Т. 65. №. 5. С. 1527-1541.
4. Giannopoulos A. Modelling ground penetrating radar by GprMax // Construction and building materials. 2005. Т. 19. №. 10. С. 755-762.
5. Kravitz B. et al. Void detection in two-component annulus grout behind a pre-cast segmental tunnel liner using Ground Penetrating Radar // Tunnelling and Underground Space Technology. 2019. Т. 83. С. 381-392.
6. Köhn D. et al. Waveform inversion in triclinic anisotropic media—A resolution study // Geophysical Journal International. 2015. Т. 201. №. 3. С. 1642-1656.
7. Liu B. et al. GPRInvNet: Deep learning-based ground-penetrating radar data inversion for tunnel linings // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2021. Т. 59. №. 10. С. 8305-8325.
8. Qin H. et al. Shield tunnel grouting layer estimation using sliding window probabilistic inversion of GPR data // Tunnelling and Underground Space Technology. 2021. Т. 112. С. 103913.
9. Warren C., Giannopoulos A., Giannakis I. gprMax: Open-source software to simulate electromagnetic wave propagation for Ground Penetrating Radar // Computer Physics Communications. 2016. Т. 209. С. 163-170.
10. Yuan J. et al. Study of void detection beneath concrete pavement panels through numerical simulation // Buildings. 2024. Т. 14. №. 7. С. 1956.

УДК 550.8.056

ИОНОСФЕРА НАД УРАЛОМ В ПЕРИОД МАКСИМАЛЬНОЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ 25 ЦИКЛА ПО ДАННЫМ СТАНЦИИ 256 (СВЕРДЛОВСК (АРТИ))

Чебыкина Елена Валерьевна
arti_elenka@mail.ru
Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. Рассматриваются данные ионосферных наблюдений над Уралом в период максимальной солнечной активности 25 цикла, которые были получены в обсерватории «Арти». Анализируется взаимосвязь с магнитными бурями, зарегистрированными обсерваторией «Арти» за этот период.

THE IONOSPHERE OVER THE URALS DURING THE MAXIMUM SOLAR ACTIVITY OF THE 25TH CYCLES ACCORDING TO THE DATA OF STATION 256 (SVERDLOVSK (ARTI))

Chebykina Elena Valerievna
arti_elenka@mail.ru
Institute of geophysics of the Ural Branch of the Russian Academy of sciences, Yekaterinburg, Russia

Abstract. The article considers the data of ionospheric observations over the Urals during the period of maximum solar activity of the 25th cycle, which were obtained at the Arti Observatory. The relationship with the magnetic storms recorded by the Arti Observatory during this period is analyzed.

Наблюдения ионосферы над Уралом проводятся с 1945 г и охватывают период с 18 по 25 солнечные циклы. В 2025-2026 г.г. наблюдается максимальная активность 25 цикла. В обсерватории «Арти» ведутся наблюдения с 1977 года (предыдущее месторасположение ионозонда было в обсерватории «Высокая Дубрава»). Изначально данные получали с помощью быстродействующего регистрирующего устройства МИС-5, в 2002 году был установлен цифровой ионозонд «Парус», представляющий собой программно-управляемый комплекс с антенной системой, предназначенный для вертикального электромагнитного зондирования ионосферы (рис. 1) [1].



Рис. 1. Ионозонд «Парус»

Вертикальное зондирование ионосферы проводится каждые 15 минут в частотном диапазоне от 1 до 20 МГц на высотах от 90 до 1000 км. В периоды проведения

экспериментов зондирование осуществляется через 5мин. По полученным ионограммам определяются следующие основные параметры (рис. 2) [2,3]:

- *fmin* – минимальная частота отражений
- *foF2* – критическая частота слоя *F2*
- *hE* – высота слоя *E*
- *foE* – критическая частота слоя *E*
- *hEs* – высота спорадического слоя
- *foF1* – критическая частота слоя *F1*
- *hF* – высота слоя *F*
- *hF2* – высота слоя *F2*
- *foEs* – предельная частота обыкновенной волны спорадического слоя
- *fbEs* – экранирующая частота слоя *Es*
- *M(3000)F1, M(3000)F2* – стандартные коэффициенты максимально применимой частоты слоев F1 и F2 соответственно.

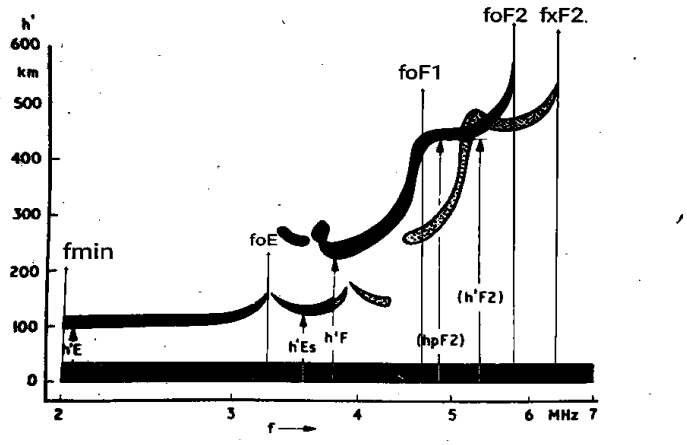


Рис. 2. Схематичное изображение ионограммы и основные определяемые параметры

Как известно, ионосфера находится в тесной связи с переменным магнитным полем Земли. В период 25 солнечного цикла нашей обсерваторией были зарегистрированы 153 магнитные бури, наиболее интенсивные из них – 14. Рассмотрим поведение параметров ионосферы и их взаимосвязь с магнитными бурями на примере самых сильных из них. Начнем с самой мощной геобури 25 солнечного цикла (уровня G5), зафиксированной нами 10 мая 2024 г. в 17.05 (начало) и длившейся 42 часа. Она произошла из-за экстремально высокой активности Солнца, а именно – серии мощных корональных выбросов массы в период 7-9 мая. Эти выбросы достигли Земли, вызвав сжатие магнитосферы и полярные сияния на низких широтах.

На рис. 3 и рис. 4 представлены ночная ионограмма во время спокойной ионосферы и ионограмма во время бури для наглядного сравнения изменения параметров и слоев.

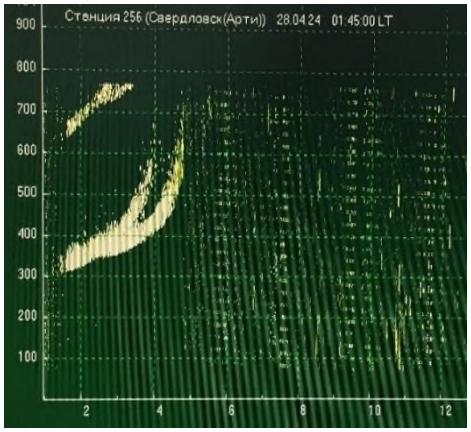


Рис. 3. Ночная ионограмма в спокойном состоянии (28.04.2024, 21.45 UT)

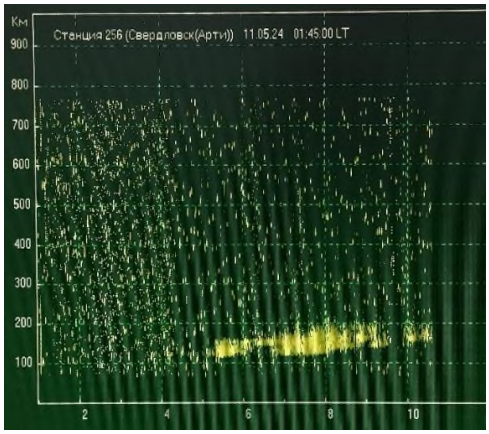


Рис. 4. Ночная ионограмма во время бури (11.05.2024, 21.45 UT)

На рис. 5 мы видим, как резко начались колебания в магнитном поле. В это же время на ионосферной станции нами были зафиксированы изменения поведения ионосферы, проявляющиеся в виде колебаний параметров слоя *F2*, резкого изменения электронной концентрации на высоте максимума (рис. 9), исчезновение сигналов, поглощение слоев, а также наблюдались возмущения и в нижней ионосфере: появились *Es* типа *a, r* (рис. 6, 7, 8).

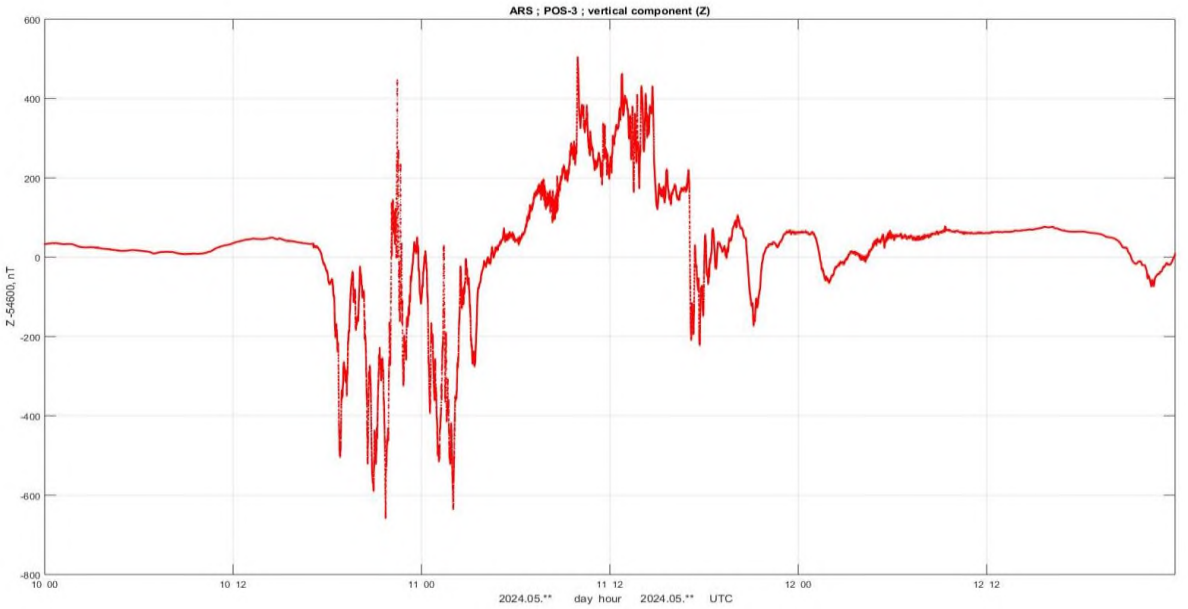


Рис. 5. Начало бури, отраженное на магнитограмме (10.05.2024г 17.05 UT)

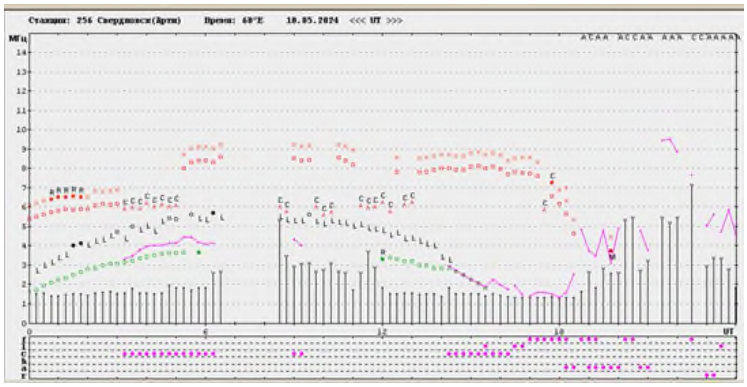


Рис. 6. Суточный график ионограмм за 10.05.2024г (явные изменения после 19 ч.)

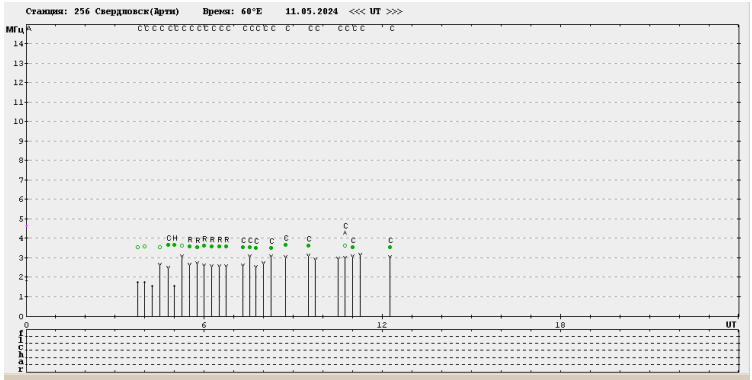


Рис. 7. Суточный график ионограмм за 11.05.2024г (множественные поглощения сигнала, выход из строя аппаратуры вследствие нагрузки)

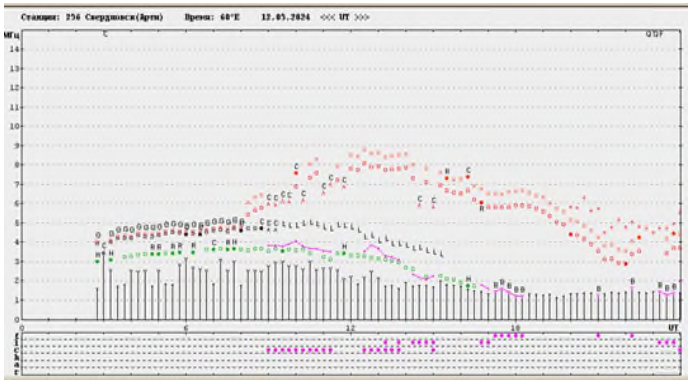


Рис.8. Суточный график (окончание бури и длительное «условие G») за 12.05.2024 3.45-8.00 UT

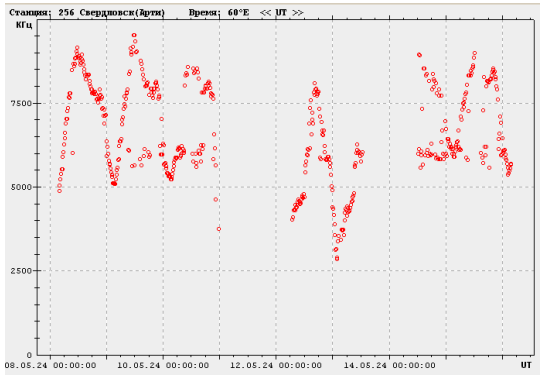


Рис. 9. Изменение параметров FoF2 с 10.05.24 по 13.05.24

После анализа ионограмм и графиков также была выявлена закономерность, которая проявляется в ионосфере по окончании магнитной бури – это так называемое «*условие G*» (рис. 8), означающее уменьшение значения параметра *FoF2* (значительно приближается или практически равняется *FoF1*).

Ионозонд на этапе достижения максимальной интенсивности магнитной бури показывал полное отсутствие данных, затем последовали технические проблемы в его в работе до 2:30 UT 12 мая 2024 г.

Во время последующих сильных магнитных бурь (10 октября 2024 г., 31 декабря 2024 г., 11 ноября 2025 г., 19 января 2026 г.) нашей станцией также были зарегистрированы колебания параметров ионосферных слоев, что говорит о полной закономерности изменений ионосферы во время возмущений магнитного поля Земли (рис. 10, 11, 12). Следует отметить, что в более спокойные периоды такие колебания параметров не наблюдаются.

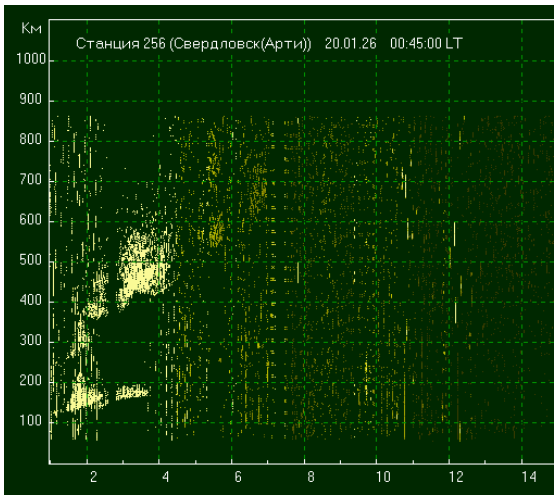


Рис. 10. Начало бури (19.01.26 20:45 UT)

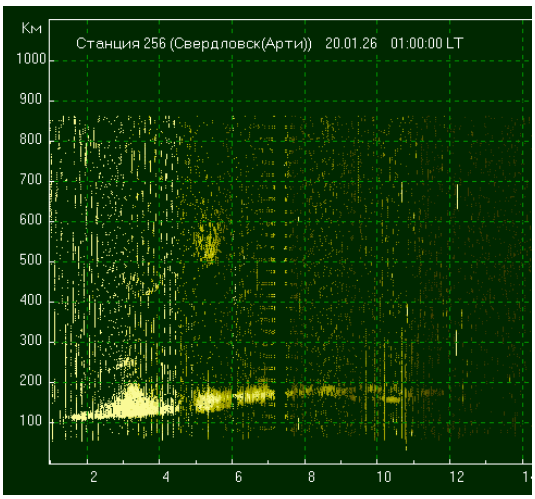


Рис. 11. Развитие бури (19.01.26 21:00 UT

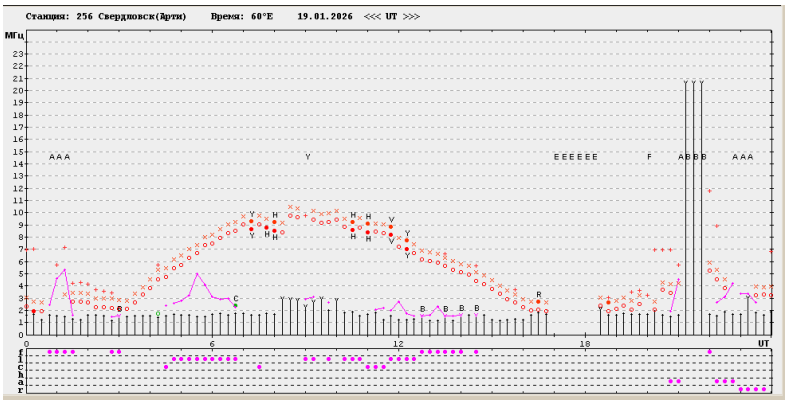


Рис.12. Резкое изменение параметров на суточном графике (19.01.2026г.)

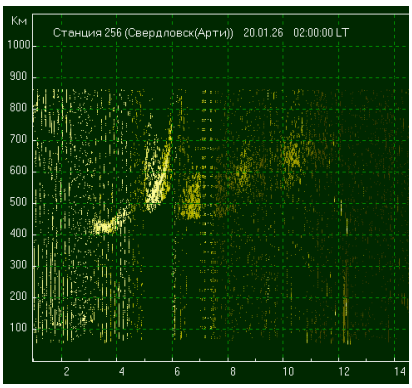


Рис.13. Рассеяние типа P - шпора (19.01.2026г. 22.00 UT)

Во время магнитных бурь в ионосфере также отмечается высокая диффузность слоев. Зачастую параметры *foF2* и *fxF2* невозможно было определить из-за полного рассеяния. Помимо этого, присутствовало рассеяние типа *P* (шпора), которое достигало 11-12 МГц (рис. 13).

В результате длительных наблюдений нами выявлены следующие особенности ионосферных изменений, вызванные магнитной бурей: длительное отрицательное ионосферное возмущение, проявившееся в значительном уменьшении критических частот слоя *F*2, экранировка отражений всех слоев области *F* ионосферы нетипичным спорадическим слоем *Es*, присутствие *«условия G»,* длительные рассеяния различного типа и увеличенное поглощение радиосигналов.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИГФ УрО РАН, регистрационный номер НИОКТР 122062200030-2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кусонский О.А. Геофизические обсерваторские исследования на Урале. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2012. – 280 с.
2. Руководящий документ РД 52.26.817-2023. Руководство по ионосферным, магнитным и гелиографическим наблюдениям. Часть 1. Ионосферные наблюдения. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2023. – 199 с.
3. Руководство URSI по интерпретации и обработке ионограмм. М.: «Наука», 1977. – 342 с.

УДК 550.380

НАБЛЮДЕНИЕ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ПО СЕТИ ПУНКТОВ ВЕКОВОГО ХОДА НА МАНЧАЖСКОЙ АНОМАЛИИ В ОКРЕСТНОСТЯХ ОБСЕРВАТОРИИ “АРТИ”

Черепанова Елена Анатольевна
lena.cherepanova.91@mail.ru
Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация: Работа содержит цели и задачи поставленные при проведения наблюдений модуля магнитного поля по сети ПВХ. Описывается методика работы на ПВХ. Приведены промежуточные результаты**.**

OBSERVATION OF THE GEOMAGNETIC FIELD AT THE SECULAR VARIATION POINT ON THE MANCHAZHSKAYA ANOMALY IN THE VICINITY OF THE ARTI OBSERVATORY

Cherepanova Elena Anatolyevna
lena.cherepanova.91@mail.ru
Institute of geophysics Ural Branch of Russian Academy of sciences, Ekaterinburg, Russia

Abstract. This paper presents the goals and objectives for conducting a magnetic field test on PVC. It also describes the methodology for working with PVC. Some preliminary results are presented.

Пункты векового хода (ПВХ) – это специальные пункты, равномерно распределенные по территории, образующую сеть, где регулярно проводятся измерения элементов магнитного поля, чтобы отслеживать его медленные, изменения: вековые вариации (вековой ход), вызванные процессами внутри Земли.

Создание сети ПВХ и наблюдения производились в соответствии с руководством IAGAдля проведения магнитных измерений на ПВХ.[1] Сеть ПВХ была организована в районе расположения обсерватории «Арти» на площади, занимаемой Манчажской магнитной аномалией. Геомагнитное поле наблюдалось в её пунктах в период с 2006 г. по 2025г. С 2007 по 2017 года измерения проводились цезиевым магнитометром - градиентометром SM-5 Navmag на высоте 1 м и 2 м.[2]. В период 2014-2022 гг. измерения проводились с помощью компонентного прибора POS-3. Количество ПВХ более 35. Охваченная площадь размещения сети ПВХ около 5000 км^2. Обсерватория «Арти» расположена в пределах Манчажской аномалии, и все наблюдения на ПВХ соотносятся с её данными. Изученность территории работ содержит следующие материалы: Геологические карты Урала масштабов 1:500000, 1:200000; Тектоническая карта Урала масштаба 1:1000000; Карта аномального магнитного поля $(\Delta T)_a$ масштаба 1:500000, 1:200000; Карта локальных аномалий силы тяжести и карта V_{zz} Урала масштаба 1:500000.

Проведение наблюдений на ПВХ в 2025 г. предусмотрено планом НИР ИГФ УрО РАН на период 2025-2027 г., научная тема «Методы математической интерпретации физических полей Земли, геофизические наблюдения в обсерватории «Арти», научный руководитель чл. корр. РАН П.С. Мартышко.

Целью работы является проведение мониторинговых, высокоточных наблюдений модуля и компонент геомагнитного поля на сети ПВХ.

Основные задачи непрерывных наблюдений на ПВХ

повышение достоверности непрерывных мониторинговых наблюдений геомагнитного поля в обсерватории «Арти»;

установление особенностей характера протекания вариаций на каждом отдельном ПВХ;

верификация данных международных моделей геомагнитного поля для Уральского региона:

заложение обновленной основы геомагнитных данных для будущих наблюдений на ПВХ с учетом научного и методического опыта периода 2006-2024 г.

В тектоническом отношении Манчажская аномалия расположена в пределах Предуральского краевого прогиба. По данным бурения геологоразведочных скважин на территории обсерватории «Арти» геологический разрез на глубинах от 2 до 33 м представлен рыхлыми мезозойско-кайнозойскими отложениями, и до глубин 110 м терригенными породами осадочного чехла кунгурского яруса нижнепермского отдела пермской системы. Отложения представлены слоями песчаников, алевролитов, аргиллитов и конгломератов, залегающих субгоризонтально. Породы в основном крепкие, устойчивые слаботрещиноватые. Всего же породы осадочного чехла залегают до глубин 5-11 км (рис. 1).



Рис.1. Техногенное обнажение терригенных пород на Манчажской аномалии вблизи н.п. Югуш Артинского района. Координаты места нахождения 56°26'26.1"СШ, 58°38'04.7"ВД.

В 2025 году были проведены повторные измерения на 27 пунктах. Для выполнения основной программы измерений потребовалось организовать пять полевых выездов. Кроме того, были проведены контрольные измерения на 3 пунктах, для чего были организованы еще два полевых выезда, в том числе двумя полевыми бригадами.

Выезды проводились в период 24.06- 26.06.2025 и 04.08.- 05.08.2025 гг. для измерений на ПВХ в 2025 году использовали оверхаузеровский градиентометром POS-2, оверхаузеровский магнитометр POS-1.

ПВХ на местности представляет собой подготовленную площадку для установки магнитометра. В период 2014-2022 гг. измерения на ПВХ проводились с помощью компонентного прибора POS-3. На каждом ПВХ были установлены специальные немагнитные стержни для размещения магнитометра. Стержни из немагнитного металлического сплава утоплены в грунт вертикально с помощью электробура на глубину 1 метр. На оголовок стержня навинчивалась специальная подставка (трегер), на которую устанавливался прибор POS-3.[3] Датчик прибора находился на высоте 0.2 м от уровня земли. В дальнейшем использовать POS-3 для полевых измерений стало невозможно, и чтобы не прерывать полученный временной ряд, было принято решение проводить измерения на двух уровнях: на высоте 0.2 м и на высоте 2 м от уровня земли. Это было реализовано в 2024 и 2025 гг. Для установки датчиков магнитометра точно над стержнем применяется специальный немагнитный штатив.



Рис.2.Градиентометр POS, закрепленный на немагнитном штативе на ПВХ.

В 2025 году измерения проводились по следующей схеме: при измерении градиентометром (рис. 2.) оба датчика закреплялись на немагнитном штативе на своих посадочных местах, проводилась одновременная запись вариаций модуля геомагнитного поля на двух уровнях продолжительностью не менее 10 минут. После этого датчики градиентометра менялись местами, и снова проводилась запись продолжительностью не менее 10 минут. Если для измерений на ПВХ применялся магнитометр POS-1 (с одним датчиком), то проводилась поочередная регистрация на высотах 0.2 м и 2.0 м. Продолжительность записи в каждой позиции также составляла не менее 10 минут. Период измерений был установлен 3 сек. Время на каждом пункте синхронизировалось с мировым временем по навигатору ГНСС. Таким способом была проведена регистрация вариаций модуля геомагнитного поля на всех пунктах.

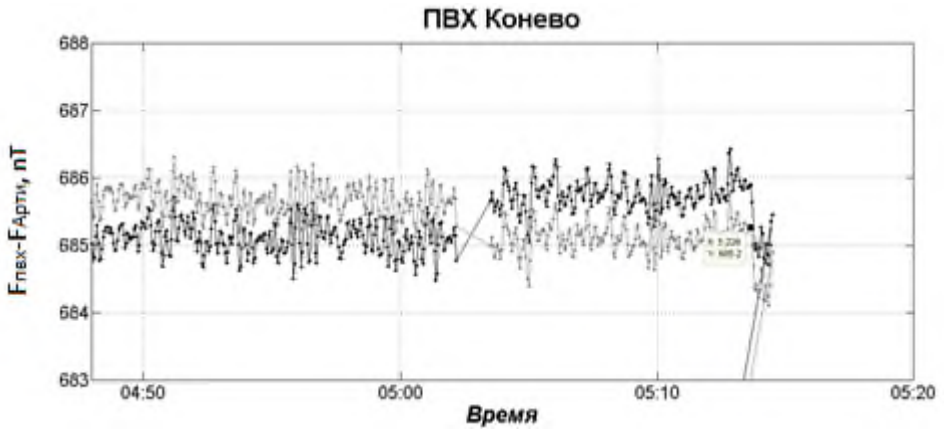


Рис.3. Магнитограммы, зарегистрированные на ПВХ Конёво, градиентометром POS-2. Координаты места нахождения 56°35'26.1"СШ, 58°21'04.7"ВД.

Обработка результатов измерений заключалась в определении разностей модуля геомагнитного поля на каждом пункте и на обсерватории в соответствующие моменты времени. На рисунке 3 приведены характерные магнитограммы, полученные на указанных пунктах. Графики на магнитограммах отображают указанные разности модуля геомагнитного поля на соответствующем пункте и на обсерватории в соответствующие моменты времени. Видно, что на каждом пункте имеется вариация этих разностей, а их дисперсия зависит от возмущенности геомагнитного поля: в спокойные периоды дисперсия

минимальна (ПВХ Черлак), в возмущенные периоды дисперсия возрастает (ПВХ Конево). Ступени в средней части магнитограмм обусловлены изменением положения соответствующих датчиков и характеризуют вертикальный градиент (если строго, то разность модуля геомагнитного поля на указанных высотах). Ступени на краях магнитограмм вызваны помехами от оператора и стоящего неподалеку автомобиля (во время измерений он удалялся не менее чем на 100 м). Окончательные результаты представляют собой средние разности модуля геомагнитного поля на каждом пункте и на обсерватории (очевидно, что для определения средних разностей на магнитограмме выбирается участок, свободный от магнитных помех).

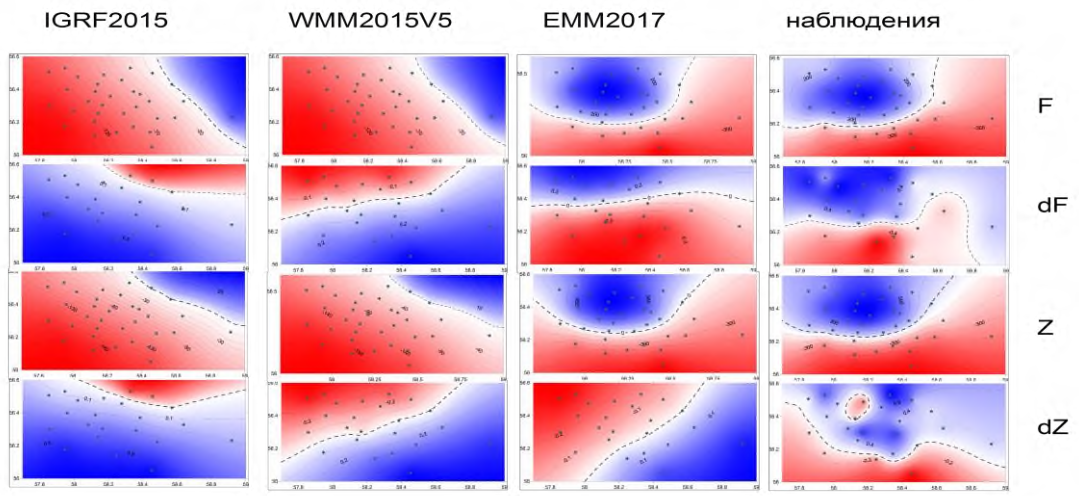


Рис.4.Сопоставление расчетных и наблюдаемых значений

Сопоставление расчетных и наблюдаемых значений (рис. 4). Данные для сравнения взяты с сайта noaa.gov. Магнитное поле рассчитывается с использованием Всемирной магнитной модели (WMM), Модели международного геомагнитного эталонного поля (IGRF). Усовершенствованной магнитной модели (EMM). Внутреннее магнитное поле Земли представляет собой суперпозицию поля, создаваемого геодинамикой в жидком внешнем ядре (основное поле) и поля намагниченных пород в коре и верхней мантии. Основное поле доминирует на длинных волнах, тогда как поле коры доминирует на длинах волн меньше 2500 км. Модели геомагнитного поля удобно представить в виде сферических гармонических разложений скалярного магнитного потенциала. Такая модель затем может быть оценена в любом желаемом месте для определения вектора магнитного поля, его направления и напряженности. Стандартная Мировая Магнитная Модель использует представление сферических гармоник в степени и порядке 12, разрешая магнитное поле на длине волны 3000 км. Напротив, усовершенствованная магнитная модель (EMM) распространяется до степени и порядка 790, разрешая магнитные аномалии вплоть до длины волны 51 км.[3]. Модели вполне удовлетворительно описывают как величину, так и морфологию векового хода и могут применяться для расчетов в случае использования при проведении магнитных съемок или для приведения карт геомагнитного поля, полученных в прошлые годы к современному периоду времени в уральском регионе.

В заключение хочется отметить, что измерения по сети ПВХ в 2025 году, а также в предыдущие года, в соотношении с данными обсерватории “Арти”, указывает на высокую степень достоверности обсерваторских наблюдений.

Моделирование геомагнитного поля по сети с использованием международных моделей IGRF, EMM и результатов наблюденных на ПВХ, указывает, что аномальная составляющая хорошо описывается моделью EMM, а нормальное поле моделью IGRF.

В дальнейшем планируется продолжение повторных наблюдений геомагнитного поля на имеющейся сети ПВХ и решение поставленных научных задач в рамках данной НИР(125032604460-9). Рассматривается возможность использования новых методов и технологий для изучения Манчажской аномалии.

Автор выражает благодарность за помощь в расчетах и предоставления данных научный сотрудник обсерватории - лаборатории “Арти” А. С. Бебневу. В производстве наблюдений на ПВХ ведущему инженеру П. Б. Бородину. За организацию наблюдений и помощи подготовки материалов доклада заведующему обсерватории - лаборатории “Арти” О. А. Кусонскому.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jankowski J., Sucksdorff C. Guide for Magnetic Measurement and Observatory Practice / IAGA Working Group V-8: Analysis of the Global and Regional Geomagnetic Field and its Secular Variation. Boulder: NOAA Space Environment Center USA. Warszawa, 1996. 235 p.
2. Бебнев А.С. Результаты наблюдения геомагнитного поля на пунктах векового хода в окрестностях «Арти»// Шестые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича: Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле земли, интерпретация геофизических полей. Екатеринбург: Институт геофизики УрО РАН, 2011,с 32-33
3. Черепанова Е.А. Результаты мониторинга вертикальной составляющей МПЗ на Манчажской гравомгнитной аномалии 2015 – 2019года.// Десятые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича: Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле земли, интерпретация геофизических полей. Екатеринбург: Институт геофизики УрО РАН, 2019,с 292.

УДК 550.8.04:550.8.053:551.435.8

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ И ПРИГОДНОСТИ ПОЛЕВЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ КАРСТОВЫХ ПОЛОСТЕЙ

Чудаев Иван Юрьевич
iwan.tchudaev555@yandex.ru
Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. В работе показаны возможности применения полевых геофизических методов для выявления локальных карстовых полостей, дана теоретическая оценка аномалий физических полей, вызванных локальными карстовыми полостями. Приведены примеры успешного выделения зон карстообразования в окрестностях г. Богдановича (Свердловская область).

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITIES AND SUITABILITY OF FIELD GEOPHYSICAL METHODS FOR DETECTING LOCAL KARST CAVITIES

Ivan Chudaev
iwan.tchudaev555@yandex.ru
Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

Abstract. The paper shows the possibilities of using field geophysical methods to identify local karst cavities, and provides a theoretical assessment of anomalies in physical fields caused by local karst cavities. Examples of successful identification of karst formation zones in the vicinity of Bogdanovich (Sverdlovsk region) are given.

Введение. Практическое значение карстовых процессов обусловлено их широким распространением по всей земной поверхности. Образование карста приводит к резкому изменению поверхностных форм рельефа и, что самое главное, к нарушению внутреннего строения всего объема пород, подвергшихся коррозии [1]. Учитывая вышесказанное, строительство зданий и сооружений на карстоопасной территории требует учета особенностей карстовых процессов. Опасными могут быть карстовые полости размером 2-3 м. Более крупные карстовые формы на территории карстующихся пород, как правило, известны и учтены [2, 3].

В методической литературе приводятся приемы выделения скрытых карстовых форм (полостей, пещер) полевыми геофизическими методами [1]. Карстовые полости могут быть заполнены различным осадочным материалом (глины, суглинки, супеси), в ряде случаев – водой или воздухом. Данное обстоятельство обуславливает их различное проявление в аномалиях полевых геофизических методов: электроразведки, гравиразведки, магниторазведки.

Моделирование. Изометричная форма карстовых полостей является наиболее простой, её проявление в аномалиях физических полей, в сравнении с другими формами, например, круговыми цилиндрами, самое минимальное. Учитывая данное обстоятельство, карстовая полость может быть аппроксимирована изометричным объектом – шаром. С целью теоретической оценки интенсивности аномалий, вызванных шарообразными полостями, было выполнено математическое моделирование.

Для создания физико-геологической модели карстовой полости заданы следующие параметры: полость диаметром 4 м заполнена суглинком с УЭС 50 Ом·м, плотностью 2,00 г/см^3 и магнитной восприимчивостью $10 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ в известняках с УЭС 1000 Ом·м, плотностью 2,60 г/см^3, практически немагнитных. Теоретические расчетные аномалии от карстовой полости с глубиной до центра от 3 до 6 м приведены в таблице 1.

Таблица 1

Теоретические расчетные аномалии от карстовой полости

Глубина до центра h, м	Аномалия $\rho_к$ от фона (1000 Ом·м)	Аномалия магнитного поля Z_a, нТл	Аномалия силы тяжести Δg, мГал
3	-512	13,8	-0,015
4	-216	5,8	-0,008
5	-111	3,0	-0,005
6	-64	1,7	-0,004

Теоретические расчеты показывают, что наиболее контрастно карстовая полость выделяется в аномалиях метода сопротивлений. Если допустить, что в реальных условиях очень часто рельеф поверхности толщи известняков неровный и покрыт электронопроводящими рыхлыми отложениями, то аномальный эффект, создаваемый карстовой полостью, может быть и вовсе неразличим. В аномалиях магнитного и гравитационного полей полость проявлена слабее, на глубине в 1,5 её диаметра интенсивность аномалии становится близка к погрешности съемок. Ввиду крайне низкого аномального эффекта в поле силы тяжести, аномалия от карстовой полости может быть неразличима на фоне влияния рельефа земной поверхности. Полости, заполненные водой или воздухом, обладают бóльшим недостатком плотности, в связи с чем, могут более контрастно выделяться в аномалиях гравитационных полей. Таким образом, наиболее благоприятным случаем для выделения локальных карстовых полостей, исходя из теоретических расчетов, является их залегание на глубине, не превышающей диаметр полости.

Полевые исследования. Полевые наблюдения были выполнены на южной окраине г. Богдановича. На участке работ зоны карстообразования представлены неглубокими карстовыми воронками в толще известняков, покрытыми кустарниковой растительностью. Эти зоны контролируются тектоническими нарушениями субмеридиональной и субширотной ориентировок, о чём свидетельствуют светлые полосы на пашне, обусловленные выходом суглинков к дневной поверхности в зонах тектонических нарушений (рис. 1).



Рис. 1. Схема расположения участков (оранжевые прямоугольники №1 – 4) полевых геофизических работ на южной окраине г. Богдановича.

Карстовые воронки проявляются при площадных электроразведочных съемках зонами пониженных значений кажущегося сопротивления до 40-110 Ом·м (рис. 2, 3). Данное обстоятельство указывает на их заполнение проводящим материалом – суглинками, глинами. Зоны тектонического разуплотнения и глинизации известняков выделяются отрицательной аномалией силы тяжести (рис. 2).

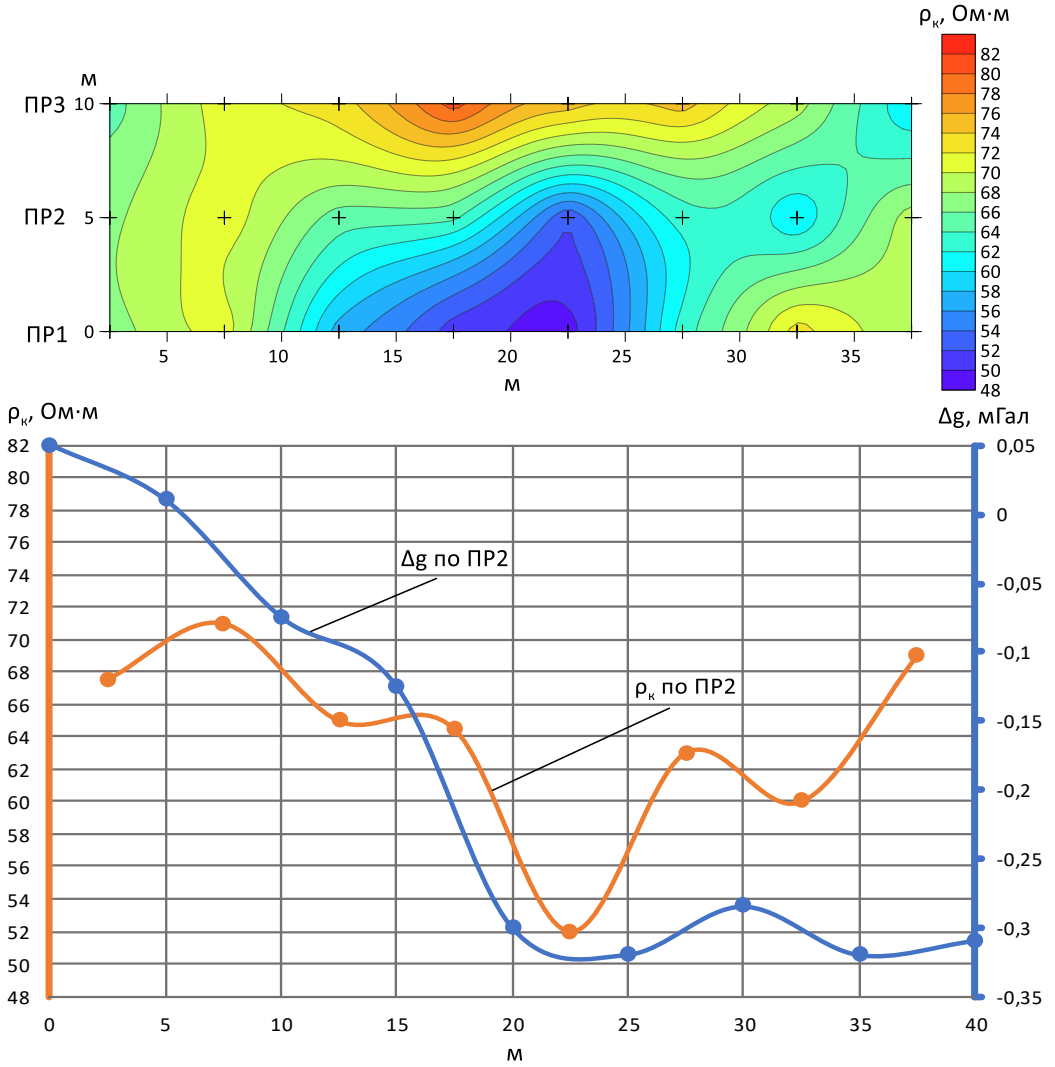


Рис. 2. План изоом по данным МСГ, графики кажущегося сопротивления и силы тяжести по профилю 2 на участке №3

По данным магнитной съемки зоны карста и контролирующие их тектонические нарушения не выделяются (рис. 3).

Площадные электроразведочные съемки были выполнены с использованием электроразведочной аппаратуры ЭРП-5 «Березка» по сети 10×10 м (уч. №4) и 5×5 м (уч. №3). Магнитная съемка выполнена с переменным шагом 5 м (над карстовой воронкой) и 10 м (за пределами карстовой воронки) с использованием протонного магнитометра ММП-203 со статической поляризацией. Профильная гравиметрическая съемка была выполнена гравиметром ГНУ-КВ с шагом 5 м.

Заключение. Обобщая вышесказанное, в полевых условиях с целью обнаружения потенциально карстоопасных зон и локальных карстовых полостей в массиве известняков целесообразна постановка профильных и площадных электроразведочных работ методом сопротивлений (СЭП, ДЭП, МСГ). Для уточнения глубинного строения – ВЭЗ.

Надежность выделения зон карстообразования повышается при комплексном истолковании результатов съемок различных методов полевой геофизики. Применение

полевых геофизических методов на карстоопасных территориях должно быть направлено на выявление зон тектонических нарушений, контролирующих зоны карстообразования. В пределах этих зон – поиск возможных закрытых форм карста (карстовых полостей).

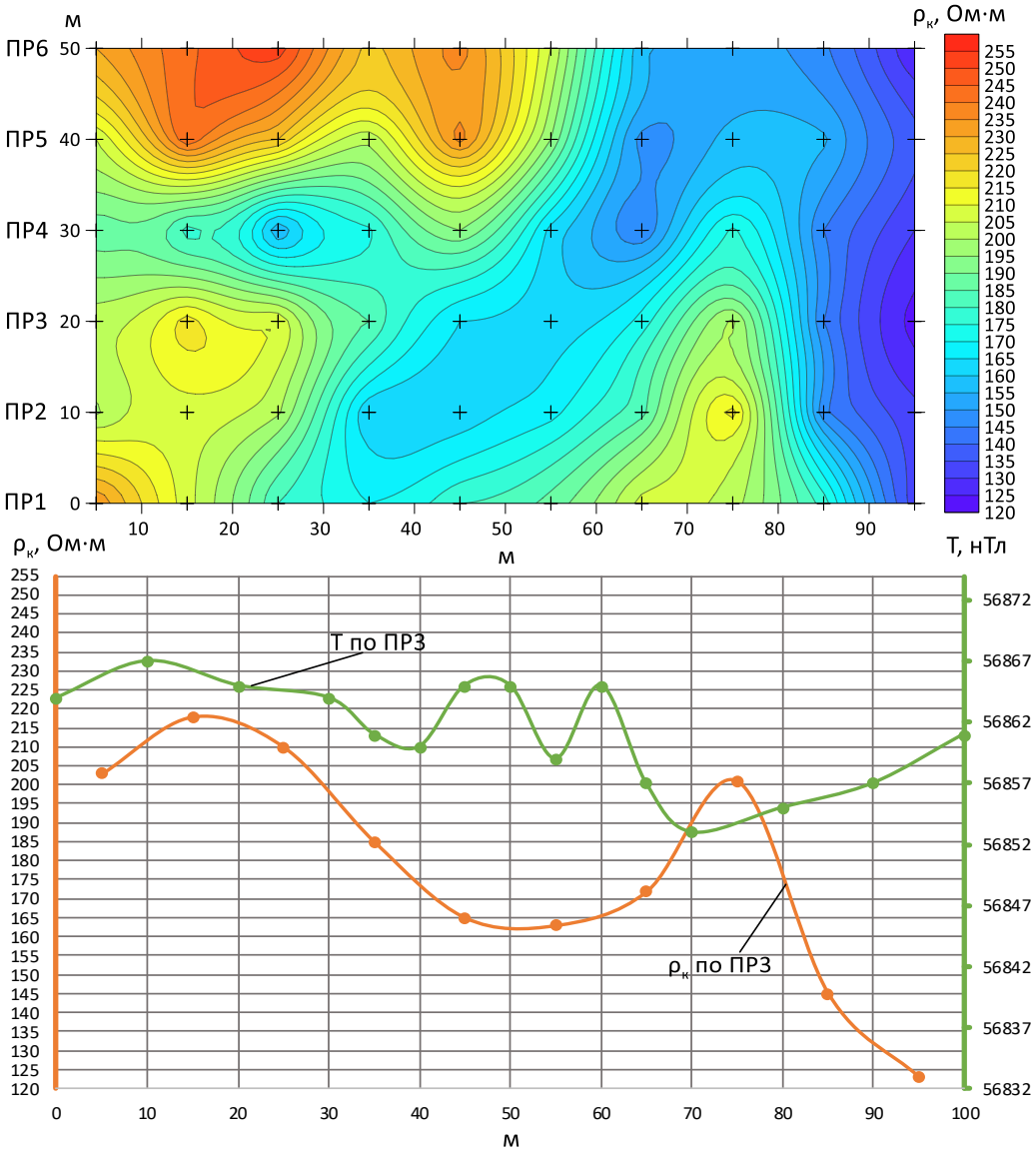


Рис. 3. План изоом по данным МСГ, графики кажущегося сопротивления и полного вектора магнитной индукции по профилю 3 на участке №4

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Огильви А. А. Основы инженерной геофизики М.: Недра, 1990. 428 с.
2. Афанасиади Э. И., Горбова С. В. Геодинамика карбонатного карста Сухоложско-Богдановичского района (восточный склон Урала) // Известия УГГУ, № 18, 2003. С. 220-229.
3. Мызникова Т. С., Худяков А. А., Зырянова Е. С. Выявление, учёт и наблюдения за проявлениями карстового процесса на территории УФО в системе ГМСИ // Карст и пещеры, 2024; сборник научных трудов. Пермь, 2024. С. 122-130.

УДК 550.8.056

ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАСЫПНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Янковский Евгений Валерьевич
Klenor1234@gmail.com
Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Аннотация. Проведена георадарная съемка насыпных грунтовых плотин. Выявлены основные структурные особенности строения гидротехнических сооружений и аномальные зоны, предположительно указывающие на зоны фильтрации воды.

GROUND PENETRATING RADAR SURVEY OF EMBANKMENT HYDRAULIC STRUCTURES

Yankovsky Evgeny Valerievich
Klenor1234@gmail.com
Institute of Geophysics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

Abstract. A ground-penetrating radar survey of earthfill dams was conducted. Key structural features of the hydraulic structures and anomalous zones, presumably indicating water seepage zones, were identified.

Введение.

Плотины — сооружения, перегораживающие реку, удерживающие воду на разных уровнях; служат для создания водохранилищ, запас воды которых может быть использован для получения электроэнергии на ГЭС, обеспечения судоходности, водоснабжения населенных пунктов и промышленных объектов, орошения земель.

Практически все грунты испытывают во времени те или иные напряжения под действием, которых они уплотняются или разуплотняются, сдвигаются, разрушаются, меняют форму. [4] Плотины не являются исключением и служат источником опасности. Несвоевременное нахождение мест протечек может привести к серьезным последствиям.

В гидрогеологии георадиолокационный метод имеет широкое применение и является достаточно чувствительным к зонам повышенной влагонасыщенности грунта. Известно, что на георадарном профиле такие участки выделяются пониженными значениями скоростей электромагнитных волн в зонах низкочастотной записи, также такие зоны связывают с некоторыми особенностями волновой структуры. Физического объяснения образования данного эффекта на данный момент нет. [2]

Целью данной работы было изучить проявление данного эффекта на насыпных гидротехнических сооружениях, которые находится в постоянном режиме фильтрации воды и наиболее подвержено эффекту водонасыщения.

Результаты проведенных работ.

Съемка проводилась на плотине Верх - Сысертского пруда, которая расположена в городских условиях и на плотине Ельчевского пруда - отстойника вдали от городских условий.

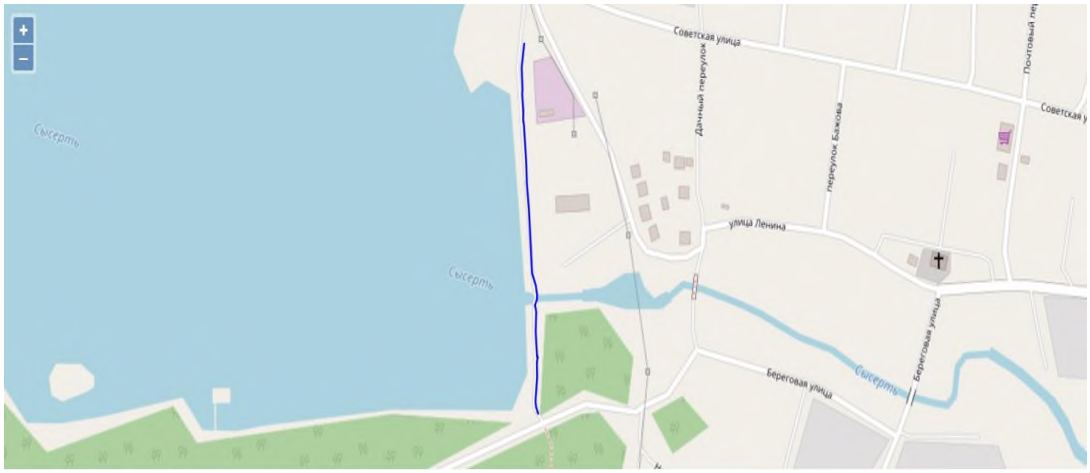


Рис 1. Плотина Верх - Сысертского пруда

Использовался георадар SIR-3000, с двумя 100 МГц неэкранированными антеннами, расстояние между антеннами 1 м.

Грунтовая плотина на р. Сысерть ограждает Верхне-Сысертское водохранилище. Она построена в 1849 г. для железодетального завода. Протяженность плотины составляет около 350 м, ширина – 15 м. Известно, что ядро плотины состоит из утрамбованной глины, основанием служат пески с добавлением скальные грунты метаморфических пород. Верхний барельеф плотины укреплен железобетонными плитами. Высота сооружения в центральной части достигает 12 м. [4]

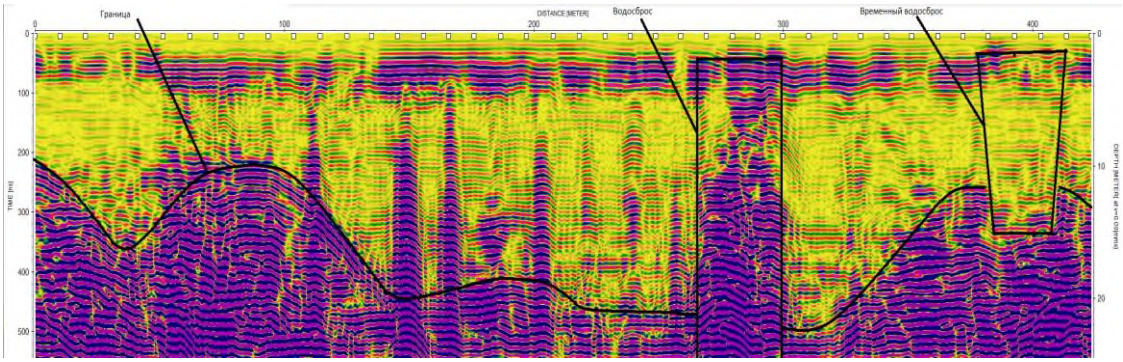


Рис 2. Радарограмма Верх - Сысерской плотины

На радарограмме присутствует множество волн-помех, что обусловлено городскими условиями. Достаточно отчетливо виды несколько воздушных волн-помех, находящиеся в левой части радарограммы (скорость приближена к скорости света в вакууме), которые могу быть вызваны находящимся вблизи забором электростанции и помехи от фонарных столбов, расположенными по всей длине профиля, представляющие собой небольшие параболические структуры уходящими по всей глубине радарограммы.

Достаточно четко выделяются ключевые геологические объекты, такие как водосброс и временный водосброс, засыпанный суглинистым материалом, а также граница разделяющая ядро плотины и ее основание.

В ходе анализа волновой картины были выявлены геологическое строение плотины и геологические структуры. Глубина составляет примерно 25 м.

По результатам геоэлектрического мониторинга были обнаружены низкоомные участки, предположительно связанные с повышенной влажностью грунта за счет фильтрации воды из водоема. [4] По георадилокационным данным небыло выявлено особенностей волновой картины указывающих на данный факт.



Рис 3. Плотина Ельчевского пруда – отстойника

Плотина пруда на р. Ельчёвка в Свердловской области расположена в 9 км к северу от г. Дегтярска и построена в 1954 году. В процессе инженерногеологических изысканий в районе возведения дамбы было проведено бурение линии скважин глубиной 20–30 м, с интервалом в 50 метров. Поэтому геологическое строение разреза известно достаточно подробно. Насыпная часть сложена преимущественно суглинком с примесью щебня и имеет протяженность более 650 метров. Максимальная высота отсыпки составляет 13 метров, ширина по гребню – более 10 метров. [5]

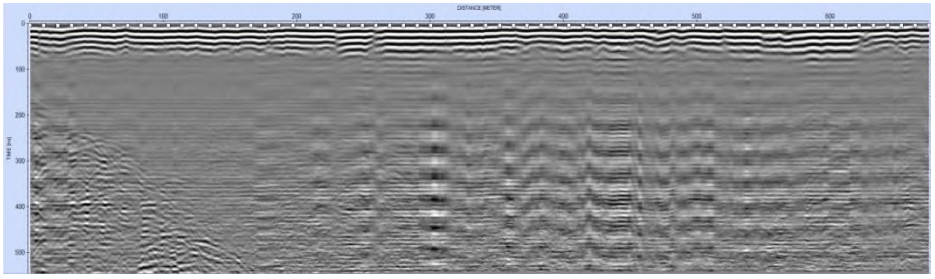
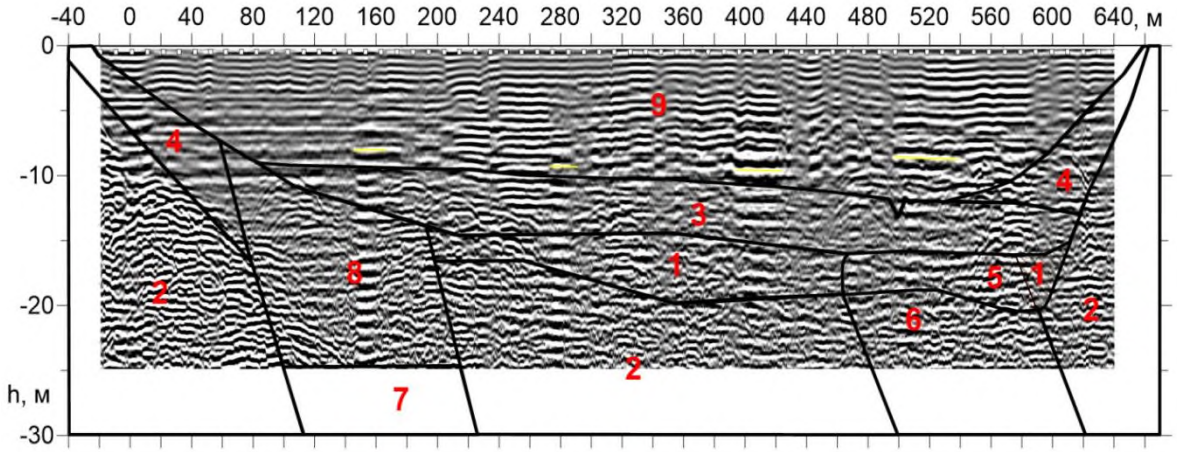


Рис 4. Первичная радарограмма плотины Ельчевского пруда – отстойника

На первичной радарограмме наблюдаются участки низкочастотной записи расположенной почти по всей длине профиля, создается эффект звучащей записи. Данный эффект свидетельствует о наличии участков повышенной влагонасыщенности грунта.



Условные обозначения: 1) элювиальные суглинки; 2) порфириты; 3) аллювиальные отложения; 4) делювиальные образования; 5); глины; 6) известняки трещиноватые, кавернозные; 7) туфы сильно трещиноватые; 8) кора выветривания туфов; 9) тело плотины.

Рис 5. Радарограмма плотины Ельчевского пруда – отстойника

На данном профиле выделяются основные геологические границы сооружения и несколько аномальных зон (выделены желтым), предположительно они связанные с зонами

усиленной фильтрации воды, так как со стороны нижнего бьефа наблюдается выход воды из тела плотины. Так же были выделены волны – помехи, представляющие собой несколько парабол в разных частях профиля, их скорость является близкой к скорости света в вакууме и она одинакова в разных геологических границах.

По результатам электроразведки (ВЭЗ) [5], здесь также были найдены низкоомные участки, связанные с повышенной фильтрацией воды из водоема. Данный факт находит отражение в данных георадиолокационной съемки.

Заключение

Георадиолокационным методом были четко выявлены геологическое строение плотин и ключевые геологические объекты на данных сооружениях. На плотине Ельчевского пруда – отстойника были выделены аномальные зоны, предположительно указывающие на зоны повышенной фильтрации воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию. Учебное пособие – М.: Издательство МГУ, 2004. – 153 с.
2. Старовойтов А.В. Интерпретация георадиолокационных данных. Учебное пособие – М.: Издательство МГУ, 2008. – 193 с.
3. Камаренко В.В. Грунтоведение: Учебное пособие / В.В. Камаренко; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011, - 431 с.
4. Фёдорова О.И., Горшков В.Ю. Геоэлектрический мониторинг при диагностике насыпных гидротехнических сооружений на примере изучения грунтовой плотины Гидротехническое строительство. 2022. № 11. с. 45-51
5. Davydov V., Fedorova O., Gorshkov V. and Baydikov S. Assessment of state of earth dam ofElchovka settling pond by combination of electromagnetic soundings and polarization methods // Studia Geophysica et Geodaetica. 2021, №65 (2021), pp 206-218.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Авдалян А.Г., Оганян М.В. Строение земной коры северной Армении по профилям ГСЗ Гюмри-Атан и Аспиндза-Армаш	4
Белькович М.Л. Сравнительная оценка фильтрационно-ёмкостных свойств разнотипных коллекторов по экспресс-исследованиям керна (на примере Тас-Юряхского месторождения)	9
Беспалова Е.А., Мирошниченко Ю.В., Андреенок А.А. Комплекс геофизических методов и его применение при поисках золото-кварц-малосульфидной минерализации на примере Крылатовско-Чесноковского месторождения	14
Бирюлин С.В. О механизме образования аномалий объемной активности радона при процессе подготовки землетрясений	19
Ватокина А.А. Степень освещенности Кеминского землетрясения в Сибирской периодике	24
Дорогань У.В. Моделирование боковых аномалий магнитного поля в скважинах в лабораторных условиях	28
Егоров Д.Г., Боголюбский В.А. Геодинамическая модель Южной Атлантики по результатам физического и математического моделирования	33
Конвисар А.М. Новая методика построения моделей сейсмического разрыва по спутниковым данным	38
Косоротова Е.А. Изучение верхней части геологического разреза сейсмическими методами	42
Куликов А.А. Региональные сейсморазведочные работы на востоке Беларуси	47
Курданова А.А. Обследование многоэтажных зданий сейсмическим методом в г. Екатеринбурге	52
Лазурченко А.В. Применение многоразносного профилирования установкой поль-диполь в комплексе с методом электромагнитного зондирования и вызванной поляризации при одномерном моделировании	57
Прикащикова Е.Л., Аристархова Е.В. Радиогенная теплогенерация в гранитах второго Северомуйского тоннеля на Байкало-Амурской магистрали	62
Рожков М.С. Исследование процесса смачиваемости модели коллектора методом ядерного магнитного резонанса	66
Рябухина А.С. Горно-тектоническая активность СУБР и НТГГР в Свердловской области по данным сейсмологических наблюдений обсерватории «Арти»	70
Стрельников А.А. Сравнение сейсмотектонических процессов Джумгальской и Таласской внутригорных впадин	75
Хацкевич Б.Д., Факаева Н.Р. Повышение информативности термометрии скважин: результаты высокоточного каротажа	78

Цветков М.О. Исследование георадарного отклика на макроанизотропию горных пород	83
Чебыкина Е.В. Ионосфера над Уралом в период максимальной солнечной активности 25 цикла по данным станции 256 (Свердловск (Арти))	87
Черепанова Е.А. Наблюдение геомагнитного поля по сети пунктов векового хода на Манчажской аномалии в окрестностях обсерватории “Арти”	92
Чудаев И.Ю. Оценка возможностей и пригодности полевых геофизических методов для выявления локальных карстовых полостей	97
Янковский Е.В. Георадиолокационное исследование насыпных гидротехнических сооружений	101

© ИГФ УрО РАН, 2026

Научное издание

XXVII УРАЛЬСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА ПО ГЕОФИЗИКЕ

Сборник научных материалов

Рекомендовано к изданию
Ученым советом ИГФ УрО РАН
Протокол № 3 от 30.04.2026

Компьютерная верстка: Баженова Е.А.

Подписано в печать 05.05.2026 г. Формат 60x90/8
Тираж 50 экз. Заказ № 17

Отпечатано в типографии
ООО «ИРА УТК», 620089, г. Екатеринбург, ул. Луганская, д.59/4