

«Горный институт Уральского отделения Российской академии наук» –  
филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Пермского федерального исследовательского центра  
Уральского отделения Российской академии наук

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геофизики  
им. Ю. П. Булашевича Уральского отделения Российской академии наук

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Федеральный исследовательский центр  
«Единая геофизическая служба Российской академии наук»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования «Уральский государственный горный университет»

**ДВАДЦАТЬ  
ВТОРАЯ  
УРАЛЬСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ  
НАУЧНАЯ ШКОЛА  
ПО ГЕОФИЗИКЕ**

**Сборник научных материалов**

**Пермь 2021**

УДК 550.3  
ББК 26.324  
Ш 5614

**Двадцать вторая уральская молодежная научная школа по геофизике:  
Сборник науч. материалов.** – Пермь: ГИ УрО РАН, 2021, 143 с.

Сборник содержит материалы, представленные на Двадцатой Уральской молодежной научной школе по геофизике, состоявшейся в Перми 15-19 марта 2021 г. Рассматривается широкий круг вопросов современной геофизики – от новых научно-практических разработок в области физики твердой Земли до совершенствования технологий применения геофизических методов при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых.

Издание представляет интерес для специалистов научных и производственных организаций, занимающихся геофизическими исследованиями природных и природно-техногенных объектов.

***Главный редактор***

член-корреспондент РАН А.А. Маловичко (ФИЦ ЕГС РАН)

***Ответственный редактор***

кандидат физико-математических наук Р.А. Дягилев (ФИЦ ЕГС РАН)

***Редакционная коллегия:*** профессор, д.т.н. В.И.Костицын (ПГНИУ), профессор, д.т.н. В.А.Гершанок (ПГНИУ)

***Рецензенты:*** профессор, д.г.-м.н. Б.А.Спасский (ПГНИУ), к.т.н. Д.Ю.Шулаков («ГИ УрО РАН»)

ISBN 978-5-903258-44-4



УДК 550.832

**ВАРИАЦИИ СИГНАЛОВ ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ И  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ТЕКТОНИЧЕСКИ  
НАРУШЕННЫХ ЗОНАХ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ**

<sup>1</sup>*Баженова Евгения Анатольевна, <sup>2</sup>Вдовин Алексей Геннадьевич,  
Арзамасцев Евгений Владимирович  
ИГФ УрО РАН, г. Екатеринбург  
<sup>1</sup>Bazenova\_jena@mail.ru, <sup>2</sup>agvd@bk.ru*

**Аннотация.** В работе представлен аппаратно-программный комплекс, предназначенный для скважинных исследований сигналов геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения. Приведены примеры оценки вариаций сигналов электромагнитного излучения и геоакустической эмиссии в двух различных тектонических условиях геологической среды одной из скважин Копанского месторождения.

**Ключевые слова:** геоакустическая эмиссия, электромагнитное излучение, скважина, мониторинг

Тектонические нарушения в геологической среде могут возникать в результате действия различных физико-химических процессов, действия на геологическую среду эндогенных и экзогенных сил, влияния различных деформационных процессов природного и техногенного характера. Наиболее подвержены образованию тектонических нарушений разного порядка зоны контактов пород различного состава. Наиболее распространённым видом таких нарушений являются зоны трещиноватости горных пород. Причем при бурении скважин трещиноватость на этих участках может увеличиваться в виду нарушения сплошности среды, вызывая обвалы стенок скважин, образования карверн и т.д. Анализ таких проявлений, как правило, наиболее часто применяется для оценки напряженного состояния массива [5]. С другой стороны, как известно [4], процессы трещинообразования сопровождаются сигналами геоакустической эмиссии (ГАЭ) и электромагнитного излучения (ЭМИ). Отслеживание параметров данных геофизических полей не только в пространстве, но и во времени позволяет оценивать на качественном уровне прочностные характеристики исследуемых объектов. Так, например, при проведении каротажа сигналов ГАЭ и ЭМИ выделяются зоны повешенной напряженности горных пород, активные участки трещинообразования и интервалы флюидогазодинамики. При исследованиях временных вариаций параметров ГАЭ и ЭМИ можно оценить, насколько активно происходят вышеописанные процессы.

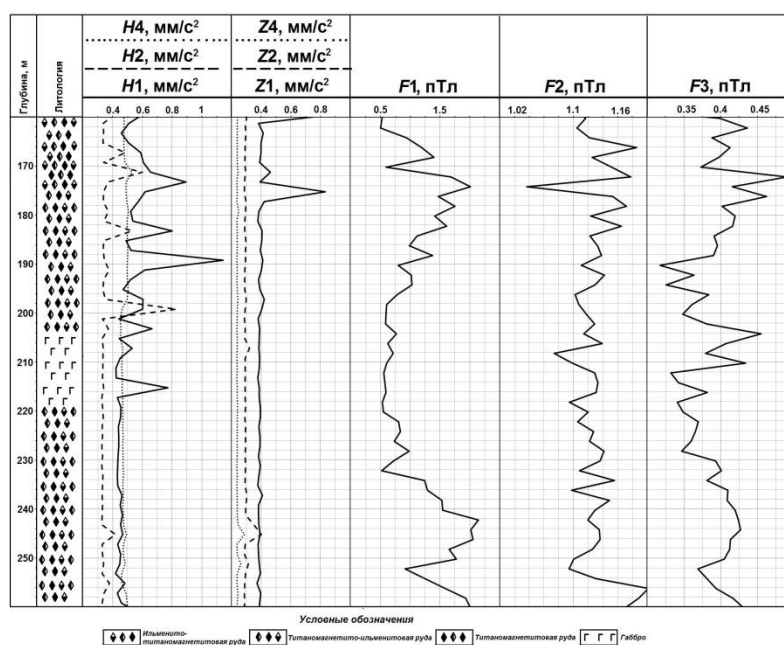
Для измерения сигналов ГАЭ и ЭМИ применяется аппаратно-программный комплекс МЭШ-42 [2]. Скважинный прибор позволяет проводить синхронную регистрацию сигналов геоакустической эмиссии в трех диапазонах частот 100-500, 500-5000 и 2500-5000 Гц и электромагнитного излучения на трех частотах 45, 80 и 120 кГц.

Для интерпретации полученных данных применялись следующие информативные параметры:  $H1-H4$  (результатирующая с двух горизонтальных датчиков  $X$  и  $Y$ ),  $Z1-Z4$  (сигналы с вертикального датчика),  $F1-F3$  (параметры электромагнитного излучения) [3].

Исследования сигналов ГАЭ и ЭМИ в скважине №1 на Копанском участке выполнялись с целью изучения современной геодинамической обстановки геологической среды на данном объекте.

Копанский участок входит в состав Кусинско-Копанского комплекса. Интрузии Кусинско-Копанского комплекса структурно приурочены к зоне регионального глу-

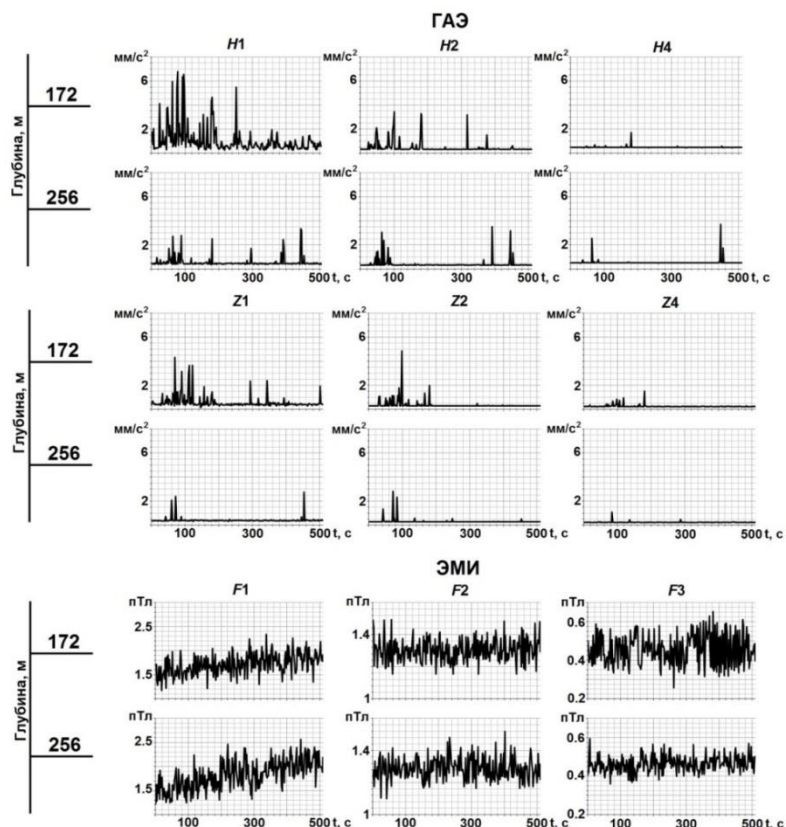
бинного Зюраткульского разлома, разделяющего здесь слабо измененные осадочные толщи преимущественно нижнего рифея на западе от более молодых и сильнее метаморфизованных образований кувашской свиты среднего рифея на востоке [1]. Копанский массив имеет северо-восточное простирание, согласно с простиранием общей геологической структуры, и юго-восточное падение, более крутое на контактах с вмещающими породами и сравнительно пологое в центральной части. Длина массива по простиранию 28 км, максимальная мощность в центральной части 2.2 км, средняя 1.2 км. Внутреннее строение габбрового массива характеризуется отчетливой зональностью и параллельной ей псевдостратификацией. Зональность выражается в закономерном изменении состава пород от лежачего бока к висячему. Западная и центральные части массива сложены в основном нормальными лабрадоровыми габбро офитовой структуры, восточная зона мощностью 300-500 м, прилегающая к висячему боку, сложена амфиболовым габбро с более кислым плагиоклазом. Переходы между зонами постепенные. Псевдостратификация выражается в сложном строении массива, в наблюдающейся кое-где полосчатой текстуре и плоскостной ориентировке табличек плагиоклаза. Важным элементом слоистого строения являются рудные зоны, представленные вкрапленностью ильменита и титаномагнетита и пластообразными выдержанными телами сплошных руд. Рудные зоны имеют закономерное строение: висячий бок сложен габбро-пегматитами с биотитом и зоной густой вкрапленности, затем идет рудное тело сплошной титаномагнетитовой руды, а лежачий бок сложен средне- и мелкозернистыми габбро с вкрапленным оруденением. Основные породообразующие нерудные минералы – плагиоклаз, моноклинный пироксен, обыкновенная роговая обманка, эпидот, циозит и клиноциозит, хлорит. В незначительных количествах присутствуют биотит, оливин, гиперстен, апатит. Главные рудные минералы – титаномагнетит и ильменит. В зависимости от соотношения рудных минералов выделяются ильменитовые, ильменит-титаномагнетитовые и титаномагнетитовые руды.



**Рис. 1. Фрагмент каротажа сигналов геоакустической эмиссии, электромагнитного излучения и магнитной восприимчивости горных пород в скважине №1 Копанского участка**

Скважина №1 пробурена в толще габбро с чередованием даек долеритов, ильменито-титаномагнетитовых, титаномагнетито-ильменитовых и титаномагнетитовых руд.

На рисунке 1 представлен фрагмент записи сигналов геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения по стволу скважины. По каналам геоакустической эмиссии (особенно по горизонтальным составляющим) выделяется верхняя часть разреза до глубины 220 метров. По исследованиям ЭМИ первого канала (45кГц) выделяются интервалы в верхней и нижней частях исследуемого интервала, тогда как измерения на втором и третьем частотных диапазонах имеют изрезанный вид преимущественно без каких либо выраженных аномалий. Таким образом, участок от 160 м до 220 м можно охарактеризовать как динамически активный, с напряженным состоянием горных пород.



**Рис. 2. Результаты краткосрочного мониторинга сигналов ГАЭ и ЭМИ в скважине №1 Копанского участка**

Для более детальной оценки на качественном уровне напряженного состояния был выполнен краткосрочный мониторинг на 2-х глубинах, результаты которого приведены на рисунке 2. Глубина 172 м представляет собой контактовую зону между двумя типами руд – ильменито-титаномагнетитовая руда и титаномагнетитовая руда. Тогда как зона на глубине 256 м по геологическим данным представляет собой сплошной массив титаномагнетито-ильменитовой руды. По данным краткосрочного мониторинга оба участка выделяются по сигналам геоакустической эмиссии как по горизонтальным, так и по вертикальным составляющим, во всем измеряемом диапазоне частот. По сигналам ЭМИ на глубине 172 м аномальным поведением отмечаются параметры  $F1$  и  $F3$ . По  $F1$  наблюдается тренд кривой на увеличение, а по  $F3$  сильно дифференцированный уровень сигнала. На глубине 256 м наиболее активно ведет себя параметр  $F1$ , так же наблюдается тренд амплитудного уровня кривой, причем более активный, чем на участке 172 м. То есть, не смотря на однородное литологическое строение пород на глубине 256 м, данную зону можно также охарактеризовать, как тектонически нару-

шенную и, судя по увеличению амплитудного уровня ЭМИ на частоте 45 кГц, с активно протекающими процессами трещинообразования, возможно, вызванные нарушением сплошности массива пород в результате буровых работ.

Таким образом, проведение исследований сигналов геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения не только в режиме каротажа, но краткосрочного мониторинга позволяют оценивать на качественном уровне вариации сигналов изучаемых полей. Что в свою очередь дает возможность выделять зоны повышенной напряженности геологической среды и участки с активными процессами трещинообразования. Данный вид геофизических исследований скважин является актуальными, особенно при изучении тектоники рудных полей, а также при исследовании динамической устойчивости исследуемого массива горных пород в районах разработки и добычи полезных ископаемых, где всегда существует опасность проявления горно-тектонических ударов и техногенных землетрясений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев А.А., Алексеева Г.В., Ковалев С.Г. Расслоенные интрузии западного склона Урала. Уфа.: Гилем, 2000. 188 с.
2. Астраханцев Ю.Г., Белоглазова Н.А., Баженова Е.А., Вдовин А.Г., Троянов А.К. Аппаратурно-программный комплекс для скважинных исследований напряженно-деформированного состояния среды // НТВ Каротажник, №5 (239), 2014, с. 39-51.
3. Белоглазова Н.А., Троянов А.К. Оптимизация комплекса информативных параметров геоакустических шумов при решении задач в нефтегазовых скважинах. // Материалы XIII сессии Российского акустического общества. – М., 2003, с. 57-60.
4. Косарев И.Б., Соловьев С.П. Физические модели генерации электромагнитных сигналов при деформации и разрушении горных пород с низкой пористостью // Динамические процессы в геосферах. 2011. №2. С. 165-176.
5. Zoback M.D., Mastin L., Barton C. In-situ stress measurements in deep boreholes using hydraulic fracturing, wellbore breakouts, and stonely wave polarization // ISRM International Symposium Proceedings. 1986.

#### VARIATIONS OF GEOACOUSTIC EMISSION AND ELECTROMAGNETIC RADIATION SIGNALS IN TECTONICALLY DISTURBED ZONES OF THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT

<sup>1</sup>Jane A. Bazhenova, <sup>2</sup>Aleksey A. Vdovin, Evgeniy V. Arzamastsev  
IGF UB RAS, Ekaterinburg  
<sup>1</sup>Bazhenova\_jena@mail.ru, <sup>2</sup>agvd@bk.ru

**Summary.** The paper presents a hardware and software complex designed for borehole studies of signals of geoaoustic emission and electromagnetic radiation. Examples of the estimation of variations in electromagnetic radiation and geoaoustic emission signals in two different tectonic conditions of the geological environment of one of the wells of the Kopan field are given.

**Key words:** geoaoustic emission, electromagnetic radiation, borehole, monitoring.

УДК 550.83.

**ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ПОЛЕВЫХ МЕТОДОВ  
РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ С ЦЕЛЬЮ ПОИСКОВ  
ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ ДЛЯ РАЗНОЦЕЛЕВОГО  
ВОДОСНАБЖЕНИЯ НА КОВЫКТИНСКОМ  
ГАЗОКОНДЕНСАТНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ**

*Белоусова Александра Андреевна  
ТИУ, г. Тюмень  
belousovaaleksandra21@mail.ru*

**Аннотация.** В статье рассматривается применение комплексирования полевых методов разведочной геофизики с целью поисков водоносных горизонтов для разноцелевого водоснабжения на Ковыктинском газоконденсатном месторождении. Выявлены гидрогеологические особенности строения изучаемой территории, представлен пример применения комплексного подхода к поиску подземных источников водоснабжения.

**Ключевые слова:** Ковыктинское газоконденсатное месторождение, комплексирование, водоносный горизонт, подземные воды, водоснабжение, верхоленская свита.

В настоящее время месторождения углеводородов Восточной Сибири представляют собой мощную ресурсную базу России. Одной из важных проблем, возникающих при изучении и эксплуатации этих объектов, являются поиски подземных вод для многоцелевого водоснабжения. Месторождения нефтегазового комплекса региона находятся в очень сложных геолого-гидрогеологических и горно-технических условиях, что в значительной мере затрудняет решение задачи водоснабжения [2] и делает неэффективным прогнозирование рационального местоположения поисково-разведочных скважин по прямым гидрогеологическим признакам.

Актуальным является формирование решения, обеспечивающего выделение наиболее перспективных на воду участков и применимого, начиная с самых ранних стадий поисково-оценочных работ или же при разработке проектной документации [4].

Значительные затраты в структуре геологоразведочных исследований занимают поисково-разведочные работы на воду различного назначения: хозяйственно-питьевого и технического для поддержания пластового давления. В районах Восточной Сибири, отличающихся весьма низкой степенью геолого-гидрогеологической изученности, определение местоположения гидрогеологических скважин представляет значительную сложность и часто не приносит желаемого результата. В связи с этим оптимизация размещения поисково-разведочных скважин на воду на нефтегазовых месторождениях – задача актуальная.

Водоснабжение производственных объектов является важной задачей при освоении и эффективной эксплуатации любого месторождения углеводородов. От правильного выбора источника водоснабжения, включая его расположение, зависит успешность организации системы водоснабжения в целом [8].

Источником водообеспечения могут быть как поверхностные воды (реки, озера), так и подземные воды водоносных горизонтов, пригодные для определенного целевого использования. В отличие от поверхностных подземные воды характеризуются большей защищенностью от воздействия внешних факторов (химического, бактериального за-

грязнения). Поэтому наиболее целесообразно водоснабжение за счет подземных водоносных горизонтов [8].

Основываясь на проблематике дефицита воды, на Ковыктинском газоконденсатном месторождении (КГКМ) ведется комплексный подход к поиску подземных источников водоснабжения.

В процессе решения проблемы дефицита водоснабжения до настоящего времени были проведены следующие работы:

- углубленный анализ гидросети, водоразделов, родников и других косвенных признаков наличия пресных вод;
- ортофотопланирование и построение 3D-рельефа, составленного по результатам воздушно-лазерного сканирования;
- аэрогеофизическая съемка;
- электроразведочные работы;
- лабораторные эксперименты совместимости поверхностных и подземных источников водоснабжения с пластовыми флюидами;
- потоковые исследования процессов прокачки различных типов вод через пласт на керновых образцах;
- бурение поисково-оценочных гидрогеологических скважин [1].

Наиболее перспективным, с точки зрения организации водоснабжения, является локально-водоносный криогенно-таликовый средне-верхнекембрийский комплекс терригенных отложений верхоленской свиты, приуроченный к зоне интенсивного водообмена, где по зонам тектонических нарушений формируются сквозные талики. Основные запасы подземных вод этой зоны формируются за счет естественных запасов естественными и привлекаемыми за счет инфильтрации поверхностных вод ресурсами. Обеспеченным источником водоснабжения, вероятнее всего, является ресурсная составляющая. Естественные ресурсы в рассматриваемом регионе практически не изучались, имеются лишь сведения регионального характера с единичными замерами подземного стока.

Для целей водоснабжения представляет интерес надсолевой гидрогеологический этаж, который распространен в верхней части разреза до глубин 800–1000 м, дренируется речной сетью и является зоной активного водообмена. В нем выделяются три водоносных комплекса: четвертичных отложений, ордовикский и средне-верхнекембрийский. В терригенно-карбонатной толще надсолевого этажа водоносные горизонты представлены в основном песчаниками, алевролитами, трещиноватыми известняками и доломитами; локальные водоупоры – пачками аргиллитов, доломитов, гипса. Воды пресные, минерализацией до 0,8 г/л, гидрокарбонатного магниево-кальциевого состава, нейтральные и слабощелочные (рН до 7,9), невысокой температуры (до 9°C). Они являются слабо- или безнапорными, относятся к пластовым и трещинно-карстовым водам инфильтрационного генезиса. Залегающие ниже водоносные горизонты содержат воды от слабосоленых до рассолов и не пригодны для водоснабжения [8].

В 2013–2015 гг. лабораторией гидрогеологии ООО «Газпром ВНИИГАЗ» впервые выполнена оценка запасов подземных вод на семи участках недр в районе КГКМ с целью организации хозяйственно-питьевого водоснабжения соответствующих установок комплексной подготовки [9] с заданным объемом водопотребления 90 м<sup>3</sup>/сут. Также проведен всесторонний анализ геолого-гидрогеологических условий верхней части разреза месторождения [8].

Участки недр для постановки исследовательских работ определялись ООО «Газпром геологоразведка» по результатам бурения водозаборных скважин, выполненного ранее с целью организации водоснабжения установок геологоразведочного бурения. Объектами исследований были определены семь гидрогеологических скважин, произво-



дительность которых, по данным первичных опробований, обеспечивала проектный объем водопотребления (от 90 до 180 м<sup>3</sup>/сут) [8].

Важной составляющей подсчета запасов подземных вод является обоснование гидродинамической модели по каждому участку. С этой целью проведен всесторонний анализ геолого-гидрогеологических условий верхней части разреза КГКМ, а также гидрогеологической информации по представленным для оценки запасов скважинам [8].

Основываясь на полученных результатах, была пересмотрена стратегия подхода к поисково-оценочному этапу и проведены электроразведочные работы зондированием становления поля в ближней зоне в малоглубинной модификации (мЗСБ) на территории КГКМ.

Формирование геоэлектрической модели территории работ осуществлялось параллельно с бурением гидрогеологических скважин и проведением опытных откачек из водоносных пластов. При комплексном анализе результатов электроразведки принимались во внимание данные резистивиметрии, каротажа сопротивлений, гамма каротажа, а также данные по отбору шлама из разведочных и гидрогеологических скважин. Совместный анализ указанных характеристик пород позволил установить основные водоприточные интервалы разреза, а также определить основные закономерности формирования осадконакопления в юрское и кембрийское время.

Результаты бурения подтвердили правомерность применения критерия сопротивления пород в качестве прогнозного для выделения зон развития таликов.

В результате интерпретации электроразведочных работ предложены критерии выделения перспективных зон наличия пресных/слабосоленых вод, выделены первоочередные зоны для бурения эксплуатационных водозаборных скважин на пресную воду, построена карта развития таликовых зон и установлены области развития многолетнемерзлых пород.

Кроме геологоразведочных и буровых работ, проведены лабораторные исследования по изучению химического анализа вод, полученных в результате длительных откачек [1].

Выявленные гидрогеологические особенности строения территории КГКМ, совместно с комплексной геолого-геофизической интерпретацией сейсмогеологических и электроразведочных материалов, грави- и магниторазведки, материалов ГИС, геолого-геохимическими, палеоструктурными, литолого-фациальными и другими ранее проведенными исследованиями [5-7, 10] могут стать основой для выделения новых перспективных объектов на водообеспечение и обоснования приоритетных направлений для подготовки ресурсной базы пресной и технологической воды в пределах КГКМ.

По материалам комплексного анализа геолого-геофизических данных существует возможность разработать и построить суммарную карту факторов успешности скважин, которая была бы положена в основу для прямого поиска пресных подземных вод и снижения рисков бурения сухих/низкодебитных скважин.

КГКМ нуждается в дополнительных гидрогеологических исследованиях надсолевого комплекса для установления точек заложения скважин перспективных на обнаружение подземных вод.

Решение проблематики дефицита водоснабжения КГКМ комплексированием полевых методов разведочной геофизики может быть применено к другим месторождениям региона Восточной Сибири.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксеновская А.А. Комплексный подход к решению проблем дефицита воды для системы ППД месторождений Восточной Сибири/ А.А. Аксеновская, В.А.

- Гринченко, Р.Р. Валеев // Сборник трудов I научно-практической конференции по вопросам водообеспечения (гидрогеологии).- Ижевск, 2019. С. 11-15.
2. Аузина Л.И. Один из подходов к оптимизации поисково-оценочных работ на воду на месторождениях нефтегазового комплекса Восточной Сибири/ Л.И. Аузина // Известия Сибирского отделения РАН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений.- Иркутск, 2014. С. 82-88.
  3. Буддо И.В., Смирнов А.С., Мисюркеева Н.В., Шелохов И.А., Поспеев А.В., Касьянов В.В., Агафонов Ю.А. Интегрирование данных электромагнитных и сейсморазведочных исследований на всех стадиях геологоразведочных работ: от поисково-оценочного этапа доработки месторождений углеводородов // Экспозиция Нефть Газ. - 2018. - № 6 - С. 60-64.
  4. Геоинформационный подход к оценке ресурсной перспективности площадей (на примере месторождений подземных вод Восточной Сибири)/ А.В. Паршин, Л.И. Аузина, С.Н. Просекин [и др.] // Геоинформационные системы. – 2017. № 1. – С. 11.
  5. Горлов И.В. Новые газоперспективные объекты в кембрийских отложениях Ковыктинского ГКМ / И.В. Горлов, А.С. Смирнов, С.Ф. Игнатъев и др. // Материалы 4-й Международной научно-практической конференции «ГеоБайкал 2016». – Иркутск, 2016.
  6. Интеграция геолого-геофизических данных – путь к созданию достоверной модели Ковыктинского газоконденсатного месторождения / А. С. Смирнов, И. Н. Горлов, Н. Н. Яицкий [и др.] // Геология нефти и газа. - 2016. № 2. - С. 56-66.
  7. Могилевский В.Е., и др. Оценка погрешности данных аэрогравиметрической съемки // МОНИТОРИНГ. Наука и технологии, 2018. - № 3.-С. 6-17.
  8. Паршикова Н.Г. Проблемы организации хозяйственно-питьевого водоснабжения производственных объектов Ковыктинского газоконденсатного месторождения/ Н.Г. Паршикова, С.М. Петров, Н.И. Джахангирова // Проблемы ресурсного обеспечения газодобывающих районов России.- 2017. - № 3 (31). – С. 216-223.
  9. Петров С.М. Оценка запасов подземных вод по категории С1 для организации хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения Ковыктинской группы месторождений: отчет / С.М. Петров. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2014.
  10. Смирнов А. С. Геофизические методы изучения природных межсолевых резервуаров кембрия и их флюидных систем / А. С. Смирнов, И. В. Буддо, И. А. Шелохов // Подземные воды востока России. - 2018. - С. 452-456.

## **APPLICATION OF INTEGRATION OF FIELD METHODS OF EXPLORATION GEOPHYSICS FOR THE PURPOSE OF SEARCHING FOR AQUIFERS (UNDERGROUND WATERS) FOR MULTI-PURPOSE WATER SUPPLY AT THE KOVYKTA GAS CONDENSATE FIELD**

*Aleksandra A. Belousova  
IUT, Tyumen  
belousovaaleksandra21@mail.ru*

**Summary.** The article deals with the application of combining field methods of exploration geophysics in order to search for aquifers for multi-purpose water supply at the Kovykta gas-condensate field. Identified hydrogeological features of the structure of the study area, established the basic patterns of

distribution of hydrogeological parameters of individual aquifers, is an example of an integrated approach to the search for underground water sources.

**Key words:** Kovyktinskoye gas-condensate field, integration, aquifer, underground water, water supply, verkholskaya formation.

УДК 550.370

## ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНО-МЕТОДИЧЕСКИХ РАБОТ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ЗОЛОТО-ПОРФИРОВОГО ТИПА В ПРИМОРЬЕ

<sup>1</sup>Бирюков Павел Геннадьевич, <sup>1</sup>Терешкин Станислав Андреевич,  
<sup>1</sup>Шкиря Михаил Сергеевич, <sup>2</sup>Сивенкова Анастасия Павловна,  
<sup>1</sup>Гилишев Андрей Александрович  
<sup>1</sup>ИРНТУ, г. Иркутск  
<sup>2</sup>НГТУ, г. Новосибирск  
*bpgpavelbiryukov1999@mail.ru*

**Аннотация.** Импульсная электроразведка применялась при опытно-методических работах в Приморье на месторождении «Красивое» для поиска рудных тел золото-порфинового типа. Решалась задача по прослеживанию, соединяются ли рудное тело участка «Закономерное» с рудным телом месторождения «Красивое». Способом решения поставленной задачи являлось комплексное применение аппарата одномерного и трехмерного моделирования данных электромагнитных зондирований.

**Ключевые слова:** импульсная электроразведка, опытно-методические работы, трехмерное моделирование, сульфидная минерализация, поляризуемость, УЭС, рудное тело.

### Введение

Основной целью работ являлся поиск слепых рудных тел золото-порфинового типа, содержащих сульфидную минерализацию, отличающуюся аномальным значением вызванной поляризации (ВП) и низким удельным электрическим сопротивлением (УЭС), с помощью применения импульсной электроразведки с заземленным источником и приемником. Для этого применялась технология электромагнитного зондирования и вызванной поляризации (ЭМЗ-ВП), позволяющая выделить аномалии вызванной поляризации в результате решения обратных задач 1D и 3D инверсии. Были проведены две стадии опытно-методических работ.

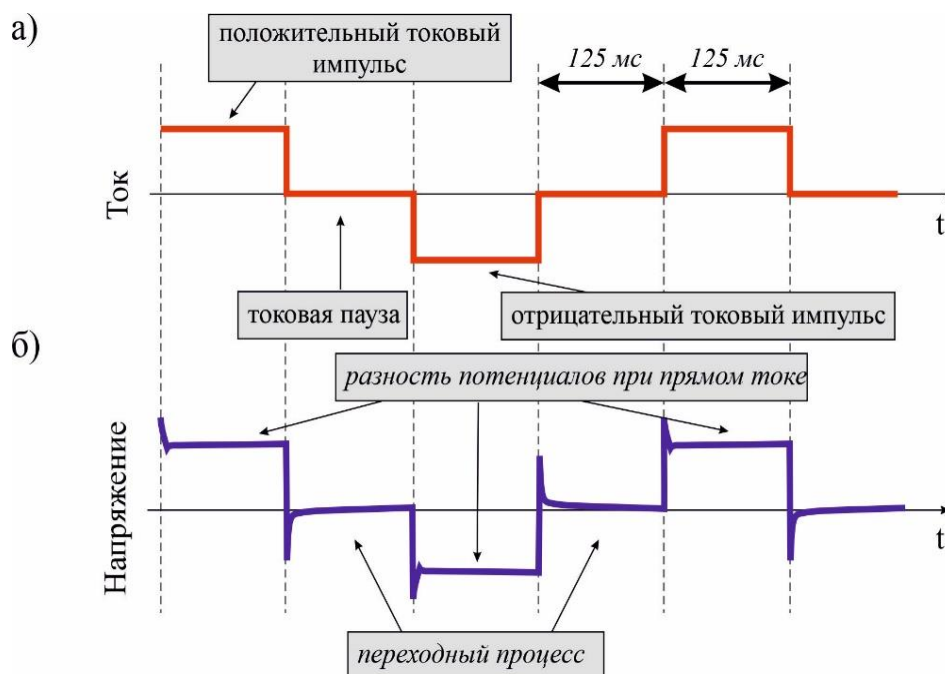
Целью проведения первой стадии опытно-методических работ (далее ОМР-1) было выполнение съемки при условии заземления питающего диполя в открытые участки рудного тела «Красивый» (в месте выработки карьера), выяснение структуры залегания штокверка и получение УЭС и поляризационных характеристик на эталонном аномальном объекте.

Задачей второй стадии опытно-методических работ (далее ОМР-2) являлась возможность проследить, соединяются ли рудное тело участка «Закономерный» с рудным телом месторождения «Красивый».

При проведении работ столкнулись с рядом сложностей: высокое сопротивление вмещающей среды (более 20 000 Ом\*м), весьма контрастные проводящие поляризующиеся объекты, существенно осложняющие интерпретацию одномерных аномалий, высокоомный верхний слой и развитие курумов, затрудняющий реализацию заземления как генераторных диполей, так и приемных линий. Кроме того, помехи от электрооборудования в работающем руднике так же оказали свое влияние на регистрируемые переходные процессы.

### Метод и Теория

ЭМЗ-ВП – метод импульсной электроразведки, использующий полную форму переходного процесса), что позволяет перейти от использования кажущихся параметров ( $\rho_k$  и  $\eta_k$ ) к полноценному решению задач одномерной или трехмерной инверсии с учетом частотной дисперсии электропроводности для становления поля горизонтального электрического диполя (Рис. 1) [5]. Разрез возбуждается с помощью электрического диполя А-В, в то время как разность потенциалов измеряется на приемных электродах. Разница напряжений между приемными электродами контролируется во времени (интервал 125 мс). Переходный процесс (гальванический и индукционный) также регистрируется во время выключения тока. Такой подход позволяет устойчиво выделять эффект вызванной поляризации в исследуемых породах и, в конечном итоге, перейти от традиционных кажущихся параметров (кажущегося сопротивления ( $Rho$ ) и кажущейся поляризуемости ( $Eta$ )) к построению трехмерных геоэлектрических моделей по результатам решения обратной задачи, с учетом частотной дисперсии электропроводности.

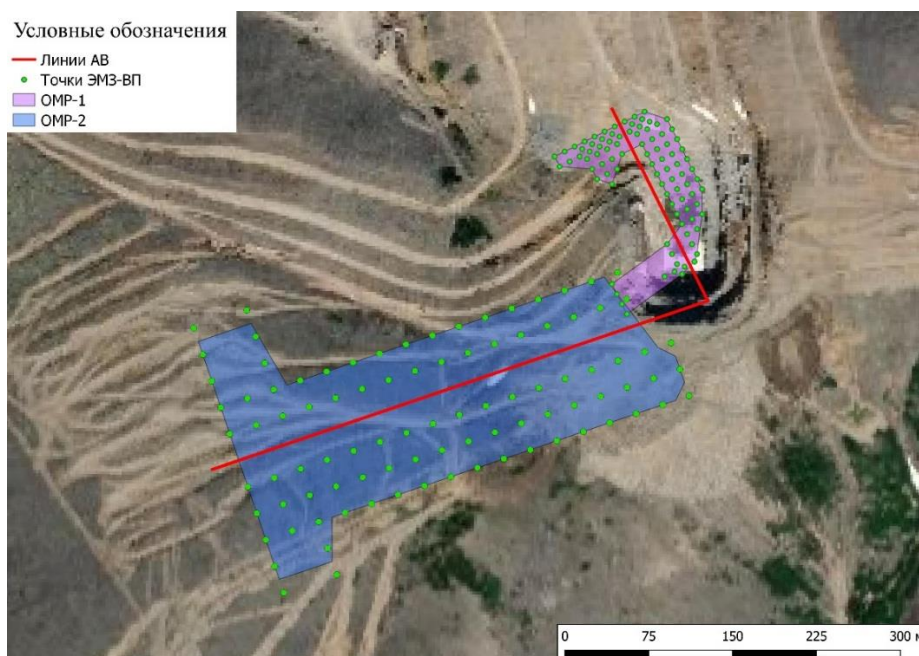


**Рис. 1. Гальванический способ возбуждения нестационарных электромагнитных полей: а) график зависимости тока от времени, отображающий форму переходных процессов; б) график зависимости напряжения от времени, отображающий форму переходных процессов**

Для выполнения 3D инверсии было использовано специализированное программное обеспечение (ПО) «Информационно-программная система обработки данных для сопровождения электромагнитных технологий геологоразведки», разработанное в Новосибирском государственном техническом университете. Это ПО реализует конечноэлементное 3D моделирование геоэлектромагнитных полей с учетом разномасштабных, контрастных и, при необходимости, криволинейных (рельеф дневной поверхности) структурных частей геоэлектрической модели и геометрическую 3D инверсию [3], которая в ходе решения трехмерной обратной задачи позволяет определять электрофизические параметры (проводимость, поляризуемость) структурных частей геоэлектрической модели и размеры этих структурных частей. Методика 3D инверсии базируется на использовании блочных структур, принцип работы с которыми описан в [4].

### Результаты работ

Шаг сети наблюдений составлял 25 x 25 м для ОМР\_2 и 10 x 10 м для ОМР\_1 (Рис. 2). Всего при проведении ОМР-1 было записано 91 ф.н. на 9 параллельных и 3-х ортогональных профилях. При проведении ОМР-2 было записано 98 ф.н. на 9 профилях, 4 из которых ортогональные.



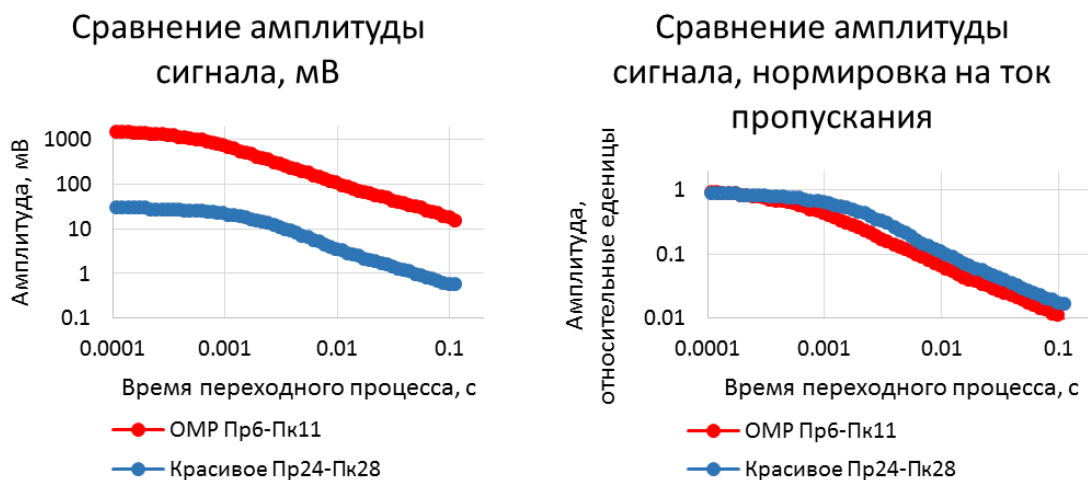
**Рис. 2. Схема расположения профилей и генераторных линий ЭМЗ-ВП на ОМР\_1 и ОМР\_2 находящихся в пределах площади «Красивый»**

Во время проведения опытно-методических работ удалось добиться высокого соотношения сигнал/шум, что позволило получить материал высокого качества. При обработке полученных данных учитывалась форма спада после выключения импульса, сформированного в питающей линии, используемой при работе. Как видно из сравнения кривых зондирования, записанных на участке «Красивый» и при проведении ОМР-1 (Рис. 3), амплитуда сигнала на приемных электродах в десятки раз больше за счет заземления источника тока в рудные тела.

Для решения задачи проследить, соединяются ли рудное тело участка «Закономерный» с рудным телом месторождения «Красивый» было решено расположить заземления источника возбуждения электромагнитного сигнала в открытые участки рудных тел, в места с прожилками пирита. Со стороны месторождения «Красивое» было использовано заземление, сделанное для проведения ОМР-1, расположившееся в удачном месте внутри карьера в прожилки пирита. Для заземления на участке «Закономерный» была выбрана «вскрышка» с максимальной пиритизацией.

По результатам трехмерного моделирования на участке ОМР-1 руда месторождения «Красивый» в районе карьера характеризуются высокой поляризуемостью, до 42% по результатам 3D инверсии, что объясняется наличием значительного количества сульфидов (Рис. 4). Красная стрелка на рисунке 4а показывает направление на юго-восток в перспективе. Вид в перспективе представлен на рисунке 4б. По значениям УЭС рудная область выделяется в диапазоне от 2000 до 5000 Ом·м, что на фоне вмещающей среды в 20000 Ом·м рудную зону можно считать проводящей областью. Аномальная зона имеет субвертикальное строение и прослеживается на глубину около 100 м. Глубже проследить объект не удастся за счет малых величин элементов установки

AB (источника возбуждения сигнала) и MN (приемный диполь), геометрия, которой спроектирована для детального изучения рудного тела.



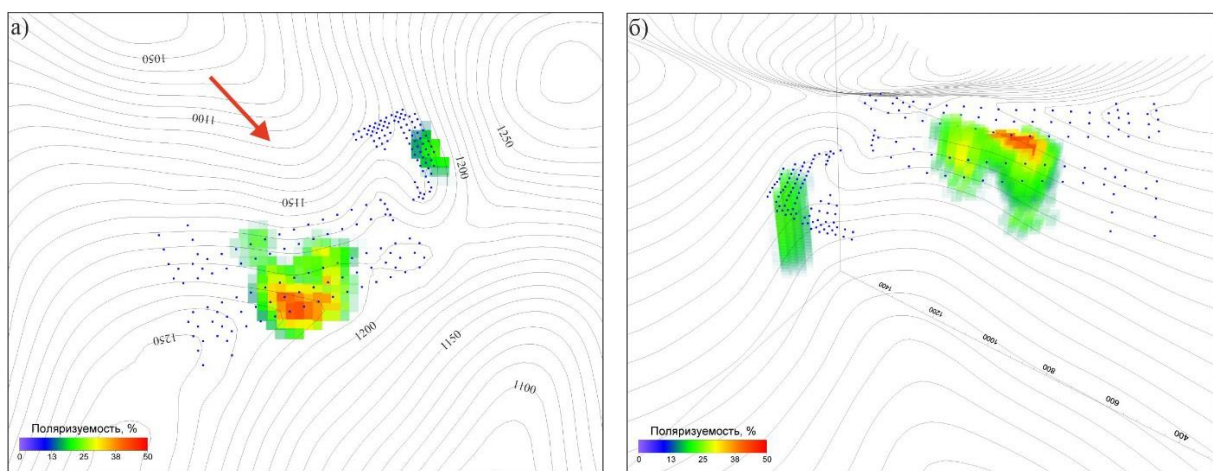
**Рис. 3.** Амплитуды типичных кривых зондирования на площади «Красивый» и при проведении ОМР-1

Месторождение «Закономерное» по площадной съемке выделяется в отдельный рудный узел с пониженным сопротивлением и высокой поляризуемостью. Выделенные аномалии находятся на восточном краю данного рудного узла. Проводящая поляризуемая аномалия имеет субвертикальную форму, по низким значениям УЭС прослеживается на глубину до 300 м., по высоким значениям поляризуемости – до 100 м.

#### Выводы

По результатам одномерного и трехмерного моделирования данных ОМР-2 на участке съемки не наблюдается объединение двух рудных тел участка «Красивый» и «Закономерный». Выделена новая изометричная аномалия на участке ОМР-1, предположительно рудного генезиса.

Трехмерное моделирование электромагнитных зондирований более эффективно для выделения аномалий вертикальной протяженности, которые могут быть интерпретируемы как зоны сульфидизации.



**Рис. 4.** Результаты 3D моделирования ОМР\_1 и ОМР\_2, Стрелкой показано направление взгляда в перспективе. а) поляризуемость, вид сверху. б) поляризуемость вид в перспективе



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cole, K.S., Cole, R.H. [1941] Dispersion and absorption in dielectrics. *Journal of Chemical Physics*, 6, 341-353.
2. Kozhevnikov, N.O., Antonov, E.Yu. [2012] Fast-decaying inductively induced polarization in frozen ground: a synthesis of results and models. *Journal of Applied Geophysics*, 82, 171-183.
3. Persova, M. G., Soloveichik, Y. G. and Trigubovich, G. M., 2011. Computer modeling of geoelectromagnetic fields in three-dimensional media by the finite element method. *Izvestiya. Physics of the Solid Earth* 47(2), 79-89, doi: 10.1134/S1069351311010095.
4. Persova, M.G., Soloveichik, Y.G., Vagin, D.V., Kiselev, D.S. & Koshkina, Y.I., 2020. Finite element solution to 3-D airborne time-domain electromagnetic problems in complex geological media using non-conforming hexahedral meshes. *Journal of Applied Geophysics* 172 (103911).
5. Давыденко Ю.А., Давыденко А.Ю., Пестерев. И.Ю., Яковлев С.В., Давыденко М.А., Комягин А.В., Шимьянский 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 аппаратнопрограммного 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».
6. Носырев М.Ю. Геоэлектрическая характеристика золоторудных месторождений верхнего Приамурья. *Тихоокеанская геология*. 2019. Т. 38. № 5. С. 76-91.
7. Давыденко Ю.А., Попков П.А., Новопашина А.В. Перспективы использования индукционной составляющей переходного процесса в традиционных методах постоянного тока // *Геофизические исследования*. 2015. Т. 16, № 4. С. 73–84.

## FIRST RESULTS OF EXPERIMENTAL AND METHODOLOGICAL WORK AT THE GOLD-PORPHYRY TYPE DEPOSIT IN PRIMORYE

<sup>1</sup>*Pavel G. Biryukov*, <sup>1</sup>*Stanislav A. Tereshkin*, <sup>1</sup>*Mikhail S. Shkirya*,  
<sup>2</sup>*Anastasia P. Sivenkova*, <sup>1</sup>*Andrey A. Gilishev*  
<sup>1</sup>*IRNITU, Irkutsk*  
<sup>2</sup>*NSTU, Novosibirsk*  
*bpgpavelbiryukov1999@mail.ru*

**Summary.** Pulse electric exploration was used for experimental and methodological works in Primorsky Krai at the deposit "Krasivoye" to search for ore bodies of gold-porphyry type. The problem of tracing whether the ore body of the plot "Zakonomernoye" connects with the ore body of the deposit "Krasivoye" was also solved. The way to solve the task was the complex application of the one-dimensional and three-dimensional modeling apparatus of electromagnetic sounding data.

**Key words:** pulsed electrical prospecting, experimental and methodological work, three-dimensional modeling, sulfide mineralization, polarizability, resistivity, ore body



УДК 550.8.056

## ИЗМЕРЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ

<sup>1</sup>*Витвинин Дмитрий Андреевич, <sup>2</sup>Бухалов Сергей Владимирович*  
*ИРНТУ, г. Иркутск*  
<sup>1</sup>*gfg-fddf@mail.ru, <sup>2</sup>xerorodger@ya.ru*

**Аннотация.** Измерение поляризационных характеристик для комплексного геолого-геофизического моделирования площадных съёмок, способствующих уменьшению затрат на разведку (заверочное бурение и пр.).

**Ключевые слова:** поляризация, лабораторная измерения, моделирование, удельное электрическое сопротивление.

### Введение

В рамках полевых электроразведочных работ по технологии электромагнитного зондирования и вызванной поляризации на площади Каншоки в Республике Казахстан были проведены исследования поляризационных свойств горных пород. В состав работ вошло полевые измерения канав геологической проходки установками с малым шагом условиях естественного залегания, а также лабораторные измерения образцов горных пород с данных канав.

Работы проведены по методу электромагнитного зондирования и вызванной поляризации (ЭМЗ-ВП) вдоль канав с целью получения дополнительной априорной информации.

### Измерения поляризационных характеристик образцов

Лабораторная установка для измерения поляризационных свойств образцов горных пород представляет собой бокс с крышкой, в крышке проделаны отверстия под измерительные и питающие электроды, заземляемые в проводящую среду. В качестве проводящей среды используется соленой раствор. Образец располагается в специальном углублении под измерительными электродами. Прямой контакт электродов с образцом исключен.

Измерения переходных процессов проводятся в токовой паузе восьми канальным измерительным модулем «Марс» с соосным и ортогональным положением приёмных электродов относительно токовых электродов АВ. Для каждой серии измерений имеется два дополнительных канала: напряжение на шунте и форма тока генератора. Для комплексного измерения образца и последующего контроля качества производится измерение параметров ячейки без образца с наполнением в виде проводящего раствора во всех геометрических положениях.

Учёт влияния раствора, собственной поляризации приёмных и питающих электродов и эффекта двойного электрического слоя реализован внесением поправок (1, 2):

$$DU_{calc_i} = \left( \frac{\Delta U_{sample_i} - \Delta U_{solution} M_i}{DF_{sample} - DF_{solution}} \right) \cdot A_{factor} \quad (1)$$

$$\Delta U_{solution} M_i = \frac{\Delta U_{solution} B_i + \Delta U_{solution} E_i}{2} \quad (2)$$

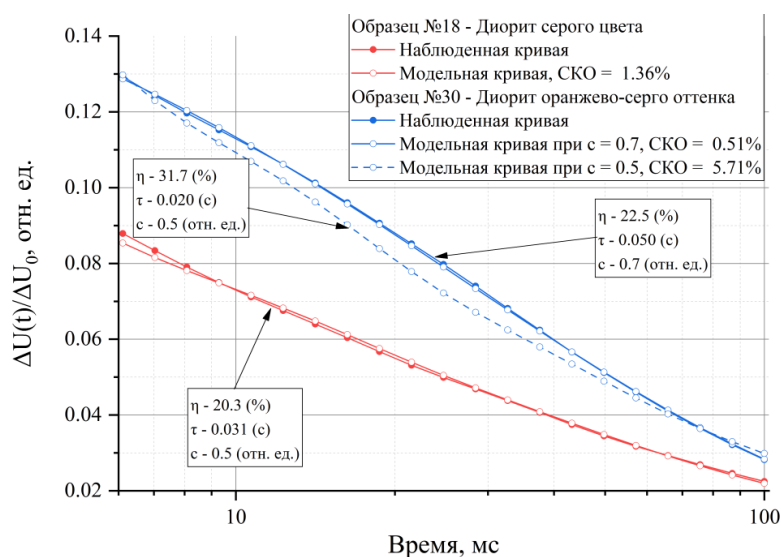
где:  $DU_{calc}$  – конечное рассчитанное значение напряжения от времени,  $\Delta U_{sample}$  измеренное значение напряжение на электродах с образцом,

$\Delta U_{solutionM}$  - среднее измеренное значение напряжение на электродах в растворе,  $\Delta U_{solutionB}$  - измеренное значение напряжение на электродах в растворе до измерения образца,  $\Delta U_{solutionE}$  - измеренное значение напряжение на электродах в растворе после измерения образца,  $DF_{sampil}$  – значение прямого поля образца,  $DF_{solution}$  - значение прямого поля для измерений в растворе,  $Afactor$  - коэффициент учёта разности амплитуды измерений.

Для решения обратной задачи, измеренных образцов лабораторной установкой, применяется двуслойная поляризационная модель Cole-Cole [1] горизонтально слоистой среды с параметрами  $\rho$ ,  $\eta$ ,  $\tau$ ,  $c$ ,  $h$ . Второй слой модели задает высокоомное неполяризуемое основание с бесконечной глубиной и закреплёнными параметрами. Моделирование выполняется в установленных пределах до достижения минимального процента невязки между измеренной и модельной кривой, моделирование производилось в программе одномерной инверсии «MarsID» [2].

В результате учёта влияния измерительной лабораторной установки вклад индукционной составляющей ( $\rho$ ) в инверсию отсутствует или крайне незначителен. В то же время параметры поляризуемости, времени релаксации и показателя степени напрямую влияют на форму теоретической кривой, что позволяет более точно установить поляризационные характеристики при расчёте кривой с высокой сходимостью (рис. 1).

Анализ образцов № 18 (канавка 21) и №30 (канавка 21) показывает различия их поляризационных характеристик в зависимости от их состава.



**Рис. 1. Наблюденные и модельные кривые с высокими и низкими параметрами поляризуемости**

Для измеренных кривых для каждого из образцов после инверсии берётся медиана от каждой кривой для параметров  $\eta$ ,  $\tau$ ,  $c$ . В результате получаются распределения 3 поляризационных характеристик для каждого измеренного образца.

#### Исследование в естественном залегании

Границы интервалов измерений, выполненных при полевых работах, имеют корреляцию с геологическими структурами, прослеживаемую как на графиках распределения кажущихся параметров, так и для результатов моделирования.

По профилю канавы № 10 в основном располагаются сильно трещиноватые метасоматизированные диориты с зонами дробления до щебня. Небольшой изменчивостью обладают кажущиеся параметры от 0,5% до 0,8 % и металл-фактор 0,0001, так же наблюдается редкостные повышения кажущегося сопротивления от 3200 Ом\*м до

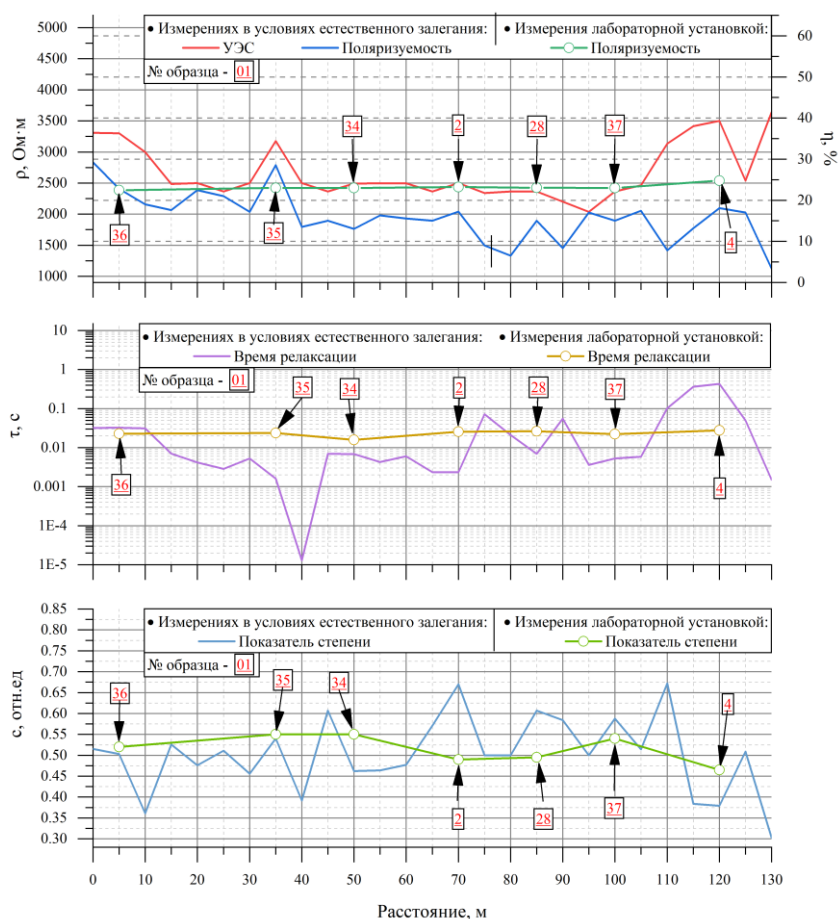
5000 Ом\*м. Прослеживается общий тренд распределений параметров с небольшим падением значений по направлению от первого пикета до конца профиля.

Интервалы канавы № 21 также в основном представлены сильно трещиноватыми метасоматизированными диоритами. В канаве наблюдаются зоны тектонического истирания и дробления. Наблюдается выход тела дайки диабазов. Дайка имеет трещиноватость, с ожелезнением, омарганцеванием и карбонатизацией по трещинам. По профилю всей канавы №21 наблюдаются изменения кажущейся поляризуемости от 0,6% до 0,1%. Кажущееся удельное электрическое сопротивление равномерно распределено в интервалах 2000-3000 Ом\*м за исключением двух высокоомных зон. Металлфактор изменяется в малых интервалах значений 0,0005 без резких изменений.

Полученные данные по распределению кажущихся параметров, а также геологического картирования использовались для формирования трёхслойной модели (слой №1 – четвертичные отложения; №2 – измеряемая аномалия, №3 слой – опорное высокоомное основание с бесконечной глубиной.) с последующим моделированием.

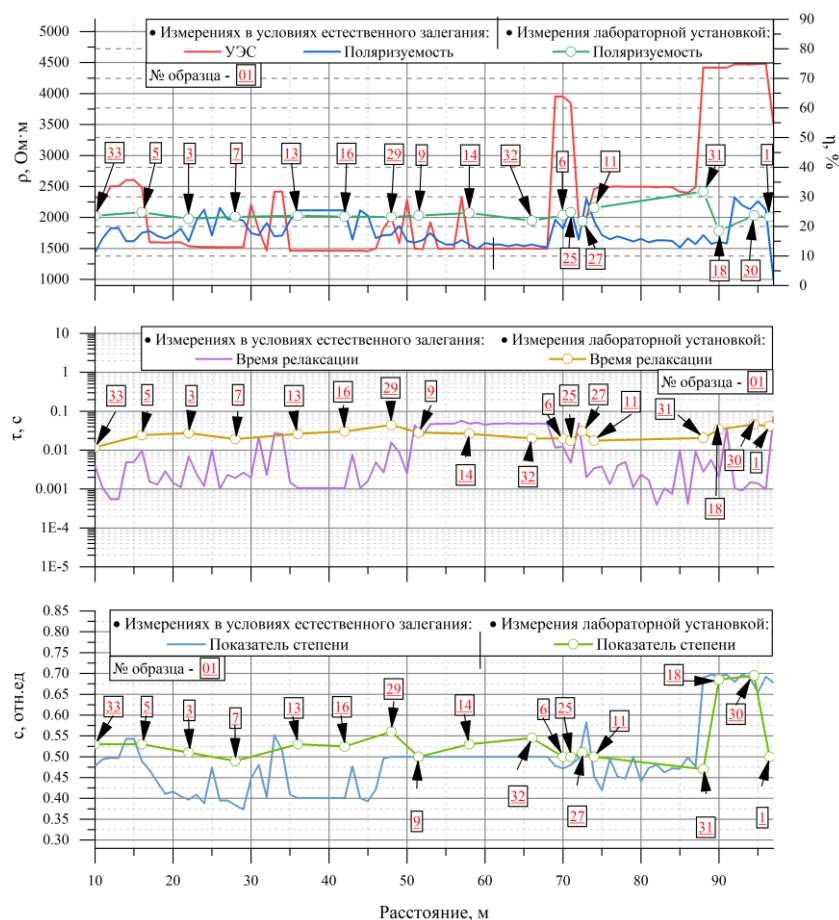
### Анализ

В результате моделирования полевых данных, а также лабораторного анализа образцов, отобранных с канав установлены зависимости распределения удельного электрического сопротивления ( $\rho$ ) и поляризационных характеристик ( $\eta$ ,  $\tau$ ,  $c$ ) для канав №10 (Рис. 2) и №21 (Рис. 3).



**Рис. 2.** Результаты моделирования для измерений микроустановками и образцов по канаве №10: а) УЭС + поляризуемость (канавы), поляризуемость (образцы); б) Время релаксации (канавы, образцы); в) Показатель степени (канавы, образцы)

Канавы №10 характеризуется однотипным распределением безрудных пород и кажущихся параметров, что позволило установить фоновые значения параметров моделирования. Параметры УЭС по канаве №10 прослеживаются в интервале от 2000 до 3500 Ом·м. Также прослеживается тренд на уменьшение параметров УЭС и поляризуемости от начала до конца канавы, схожий с кажущимися параметрами. Модельная поляризуемость образцов, в целом не соответствуют тренду модельной поляризуемости измерений в условиях естественного залегания в канаве (Рисунок 2), что, может объяснять отсутствием аномальных областей. Значения по  $\tau$ , с для образцов при этом имеет большую корреляцию с данными, полученными при моделировании канавы (Рисунок 2, б, в), что свидетельствует о корректности найденных решений.



**Рис. 3. Результаты моделирования для измерений микроустановками и образцов по канаве №21: а) УЭС + поляризуемость (канавы), поляризуемость (образцы); б) Время релаксации (канавы, образцы); в) Показатель степени (канавы, образцы)**

Распределение модельных параметров для канавы №21 по поляризуемости (Рисунок 3, а) не демонстрирует изменения с возрастанием и последующим плавным уменьшением, наблюдаемое на графиках кажущейся поляризуемости для данной канавы. Значения УЭС при этом также имеют две высокоомные области, связанных с телом диабазов и вероятной повышенной трещиноватостью (Рисунок 3, а, г). Распределение поляризуемости, полученной при измерении образцов соответствует тренду, однако показывает повышенные значения на 5-10%. При измерениях в лаборатории повышенные значения поляризуемости допускается, поэтому полученные данные следует считать корректными. Параметры распределения времени релаксации и показателя степени (Рисунок 3, б, в) хорошо сходятся.

### **Выводы**

В рамках исследования проведены измерения поляризационных свойств горных пород в условиях естественного залегания и лабораторные исследования образцов горных.

Полученные результаты демонстрируют устойчивое решение определения поляризационных характеристик горных пород.

Результаты измерения образцов соотносятся с полевыми измерениями в естественном залегании, и при измерении образцов с повышенной поляризуемостью результаты имеет лучшую корреляцию. Для образцов с низкими значениями поляризуемости более тесная связь с результатами инверсии зондирований микроустановками прослеживается на графиках времени релаксации и показателя степени.

В результате интерпретации данных полевой съемки микроустановками и лабораторных исследований отобранных образцов определены поляризационные характеристики горных пород. Полученные характеристики можно использовать для формирования, уточнения и моделирования результатов площадных съемок, уменьшая эквивалентность решения обратной задачи и уменьшая затраты на разведочную геофизику.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Cole K.S., Cole R.H. Dispersion and adsorption in dielectrics. I. Alternating current characteristics, J. Chem. Phys., 1941, vol. 9 (pg. 341-351).
2. А. с. № 2012660743 " Программа одномерной инверсии «MarsID»". Автор: Пестерев И.Ю. Заявка № 2012618705 от 16.10.2012. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 28 ноября 2012 г. Правообладатель: Общество с ограниченной ответственностью «Версофт» (Правообладание передано ООО «Гелиос» на основании договора об отчуждении исключительного права №2574861 от 26.09.2016).

## **MEASUREMENT OF POLARISATION CHARACTERISTICS OF ROCK SAMPLES FOR COMPLEX GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL INTERPRETATION**

*<sup>1</sup>Dmitry A. Vitvinin, <sup>2</sup>Sergey V. Bukhalov  
IRNITU, Irkutsk  
<sup>1</sup>gfg-fddf@mail.ru, <sup>2</sup>xerorodger@ya.ru*

**Summary.** Measuring the polarization characteristics for the complex geological and geophysical modeling of areal surveys, helps to reduce costs of exploration (check drilling, etc.).

**Key words:** polarization, laboratory measurements, simulation, electrical resistivity.

УДК550.836

## ГЕОТЕМПЕРАТУРНЫЕ МОДЕЛИ ФАНЕРОЗОЙСКИХ ОЧАГОВ ГЕНЕРАЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ И ИХ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ ЗАЛЕЖЕЙ «ПАЛЕОЗОЙСКОЙ НЕФТИ» (ГЕРАСИМОВСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ, ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)

*Галиева Маргарита Фаритовна  
НИ ТПУ, г. Томск  
margaritagalieva@gmail.com*

**Аннотация.** В настоящей работе выполнено совместное палеотемпературное моделирование осадочных бассейнов «современного» юрско-мелового и палеозойских «палеобассейнов» на примере разреза скважины 12 Герасимовского месторождения Томской области. Установлено, что сингенетичными (по времени генерации, аккумуляции и сохранности) для резервуара коренного палеозоя являются юрский (баженовский) источник нефти и палеозойский (кехорегский) источник газа.

**Ключевые слова:** палеотемпературное моделирование очагов генерации углеводородов, «современный» осадочный бассейн и палеозойские осадочные «палеобассейны», резервуар коренного палеозоя, Томская область.

### **Введение**

Одним из решений проблемы снижения добычи нефти [6] в Западной Сибири является активное вовлечение в разработку трудноизвлекаемых запасов нефти (ТРИЗ), в т. ч. залежей в образованиях доюрского комплекса. Однако реализация этой парадигмы осложнена необходимостью обновления фундаментальной теоретической базы и технологий поисков [3].

Цель исследований заключается в теоретическом обосновании и экспериментальном определении катагенетической истории юрских и доюрских отложений, обладающих нефтематеринским потенциалом, и в оценке их роли в формировании залежей в доюрских образованиях. Решение поставленных задач будет способствовать активизации вовлечения в разработку ТРИЗ Западной Сибири.

При изучении нефтегазоносности Западной Сибири моделирование катагенетических очагов генерации УВ традиционно выполняется в рамках мезозойско-кайнозойского осадочного бассейна (с 210 млн лет назад) [4]. Очевидно, что выполнение моделирования в рамках осадочного бассейна для изучения нефтегазоносности доюрского основания, как перспективного объекта наращивания добычи, недостаточно: необходимо выполнять совместное моделирование «современного» мезозойско-кайнозойского осадочного бассейна и доюрского осадочного «палеобассейна». В данной работе проведен анализ условий формирования залежей путем восстановления термической истории [2] потенциально нефтематеринских как юрских, так и доюрских пород.

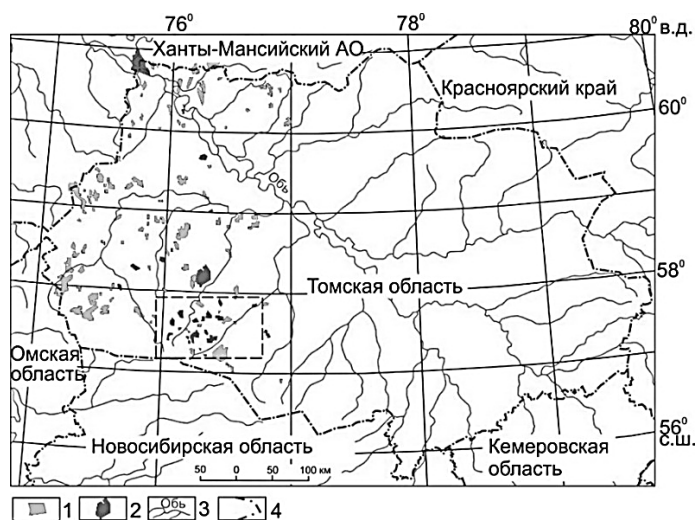
### **Характеристика территории исследований**

Территория исследований охватывает Останинскую группу месторождений, расположенную на юго-востоке Западной Сибири (рис. 1).

В формировании нефтегазоносности доюрского фундамента участвует резервуар кровли коренного палеозоя. Резервуар генетически обусловлен эпигенетическими про-

цессами в коре выветривания и сформировался не ранее 213-208 млн лет назад [1]. В качестве предполагаемых источников углеводородов для доюрского нефтегазоносного комплекса (НГК) рассматриваются потенциально материнские свиты – породы дома-никоидного типа в фундаменте – кехорегская ( $C_{1kh}$ ), чагинская ( $D_{3cg}$ ), чузикская ( $D_{2cz}$ ), мирная ( $D_{1^3mr}$ ), ларинская ( $S_{1lr}$ ) свиты, а также баженовская ( $J_{3bg}$ ) и тюменская ( $J_{1-2tm}$ ) свиты в осадочном чехле.

Для выполнения совместного палеотемпературного моделирования выбрана скважина 12 Герасимовского нефтегазоконденсатного месторождения, входящего в Останинскую группу месторождений, что обусловлено наличием измеренных температур в юрских и доюрских интервалах разреза, а также притоков в скважину УВ-флюидов из доюрских горизонтов.



**Рис. 1.** Положение Останинской группы месторождений (контур черной пунктирной линией) на схеме размещения месторождений углеводородов Томской области. 1-2 – месторождение с залежами: 1 – в юрских и меловом НГК, 2 – в юрских, меловом и доюрском НГК; 3 – речная сеть; 4 – административная граница

Образования доюрского фундамента вскрыты поисковым бурением в 17 скважинах Герасимовского месторождения. В скважине Герасимовская 8 из доюрского горизонта М из интервала 2854-2861 м получен приток безводной нефти дебитом  $127 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Приток нефти дебитом  $3,5 \text{ м}^3/\text{сут}$  получен из пласта  $M_1$  (интервал 2847-2860) в скважине Герасимовская 12. В этой же скважине зафиксированы газопроявления в интервале пласта  $M_1$ . Непромышленные притоки нефти получены из пласта  $Ю_7$  в скважине Герасимовская 12. Вместе с тем, в скважине Герасимовская 7 был получен приток газонефтяной смеси из доюрских пластов М и  $M_1$  в интервале 2746-2758 м с дебитом нефти  $20 \text{ м}^3/\text{сут}$  и газа  $5,5 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}$ .

#### **О методике исследования.**

На первом этапе решается обратная задачи геотермии – определяется плотность глубинного теплового потока из основания осадочного разреза, характеризующаяся квазипостоянным значением с юрского времени. Для определения теплового потока из основания осадочного разреза используются в качестве «наблюденных» измерения пластовых температур, полученные при испытаниях скважин и геотемпературы, пересчитанные из определений отражательной способности витринита (ОСВ) (табл. 1).

На втором этапе решается обратная задача с использованием пластовых температур и измерений ОСВ из палеозойских отложений. Стратиграфическая разбивка до-



полняется реконструкцией стратиграфического разреза, не вскрытого скважиной, с начала силурийского и до конца триасового периодов, согласно [5]. Резкое снижение значения теплового потока в триасе, ознаменовавшее окончание герцинского времени, описано с помощью математической функции, обладающей максимальной скоростью уменьшения значения, уравнением дуги – четверти окружности.

Таблица 1

**Сопоставление измеренных и расчетных геотемператур в скважине  
Герасимовская 12**

Приуроченность/ глубина, м	Температура, °С				Рассчитанный тепловой по- ток, мВт/м <sup>2</sup> /динамическая характеристика
	Пластовая	По ОСВ ( $R_{vt}^0$ )	Модельная (расчётная)	Разница расчётной и измеренной	
J <sub>3nn</sub> /2586	-	109 (0,72)	109	0	54/квазистационарный, начиная с юры, до современ- ного
J <sub>1-2tm</sub> /2750	100	-	101	+1	
J <sub>1-2tm</sub> /2797	-	117 (0,78)	116	-1	
J <sub>1-2tm</sub> /2821	-	117 (0,78)	117	0	
J <sub>1-2tm</sub> /2825	103	-	103	0	
J <sub>1-2tm</sub> /2838	-	116 (0,77)	117	+1	
C <sub>1kh</sub> /2908	-	170 (1,17)	170	0	224/квазистационарный, начиная с силура, до резкого снижения в триасе

Решением прямых задач геотермии с заданным тепловым потоком восстановили структурно-тектоническую и термическую историю пяти палеозойских потенциально нефтематеринских свит, а также юрских – баженовской и тюменской (рис. 2).

Ларинская свита (*S<sub>1lr</sub>*) находилась в главной фазе нефтеобразования (ГФН, 90-130С<sup>0</sup>): 3 млн лет (422,3-419,4) млн лет назад – и в главной фазе газообразования (ГФГ, 130-190С<sup>0</sup>): 12 млн лет (419,4-407,0) млн лет назад. 407,0 млн лет назад свита вошла в зону деструктивных для УВ геотемператур (>190 С<sup>0</sup>) и находилась в этой зоне сначала 244 млн лет (407,0-162,9) млн лет назад, а потом 95 млн лет (95,0-0) млн лет назад. Следовательно, ларинские УВ не аккумулировались в резервуаре внутреннего палеозоя.

Мирная свита (*D<sub>1mr</sub>*) находилась в ГФН: 8 млн лет (386,2-378,5) млн лет назад – и в ГФГ: 32 млн лет (378,5-347,0) млн лет назад. 347,0 млн лет назад свита вошла в зону деструктивных для УВ геотемператур и находилась в этой зоне 134 млн лет (347,0-213,0) млн лет назад. Совершенно очевидно, что мирнинские УВ не аккумулировались в резервуаре внутреннего палеозоя, сформированного в период 213-208 млн лет назад.

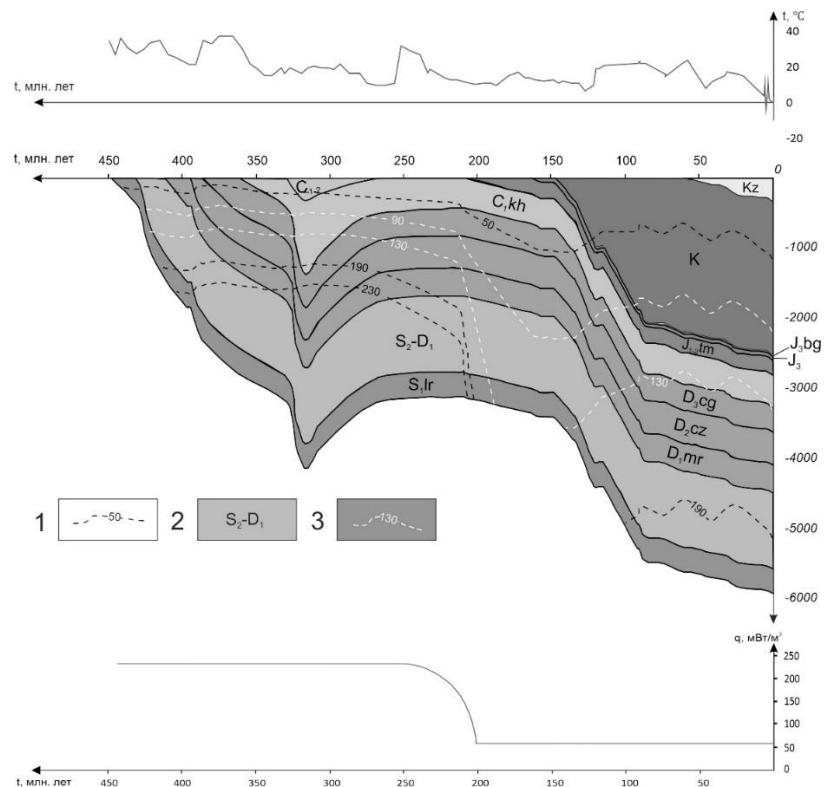
Чузикская свита (*D<sub>2cz</sub>*) находилась в ГФН: 23 млн лет (374,3-351,0) млн лет назад – и в ГФГ: 26 млн лет (351,0-324,7) млн лет назад. 324,7 млн лет назад свита вошла в зону деструктивных для УВ геотемператур и находилась в этой зоне 60 млн лет (324,7-265,1) млн лет назад. Очевидно, что чузикские УВ не могли заполняться и сохраняться в резервуаре внутреннего палеозоя.

Чагинская свита (*D<sub>3cg</sub>*) находилась в ГФН: 12 млн лет (336,5-324,7) млн лет назад – и в ГФГ: 5 млн лет (324,7-319,8) млн лет назад. 319,8 млн лет назад свита вошла в зону деструктивных для УВ геотемператур и находилась в этой зоне 55 млн лет. Следовательно, чагинские УВ не аккумулировались в резервуаре внутреннего палеозоя.

Кехорегская свита (*C<sub>1kh</sub>*) находилась в ГФН: 3 млн лет (323,0-319,7) млн лет назад – и в ГФГ: 19 млн лет (319,7-300,7) млн лет назад и 19 млн лет (24,0-4,7) млн лет назад. Нефтяной потенциал кехорегского источника с



большой вероятностью исчерпан 319,7 млн лет назад. Свита не подвергалась деструктивным для УВ геотемпературам, поэтому следует ожидать аккумуляцию и сохранность кехорегского газа в резервуаре внутреннего палеозоя. Прогноз подтверждается результатами опробования: были получены притоки газа из пласта  $M_1$  (скважины Герасимовские 12 и 7).



**Рис. 2. Палеорекострукции тектонической и термической истории в районе скважины Герасимовская 12. Условные обозначения: 1 – изотерма; 2 – стратиграфическая приуроченность отложений; 3 – изотерма граничной температуры ГФН. В верхней части рисунка приведен график палеоклиматического векового хода температур на земной поверхности, в нижней – график изменения расчетной плотности теплового потока во времени**

Тюменская свита находится в ГФН уже 95 млн лет (95,0-0) млн лет назад. Следовательно, тюменская нефть может аккумулироваться в резервуаре с 95,0 млн лет назад и по настоящее время. Прогноз подтверждается результатами опробования – в тюменской свите, а также в пластах  $M$  и  $M_1$  были получены притоки нефти (скважины Герасимовские 12, 8 и 7).

Баженовская свита находится в ГФН уже 92 млн лет (91,6-0) млн лет назад. Все это время баженовский источник может заполнять нефтью резервуар внутреннего палеозоя.

### Заключение

В результате моделирования были выявленные сингенетичные (по времени генерации, аккумуляции и сохранности) возможные источники залежей УВ в кровле коренного палеозоя, а именно: тюменский и баженовский источники нефти и кехорегский источник газа. По данным генетических анализов нефти из резервуаров коры выветривания и палеозоя, возможность аккумуляции тюменской нефти в резервуаре была исключена, поскольку эти нефти были генерированы сапропелевым ОВ.

Таким образом, в условиях геолого-геофизического разреза Герасимовского месторождения резервуар коренного палеозоя аккумулирует нефть, генерированную юрским баженовским источником, и газ, генерированный палеозойским кехорегским источником.

*Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю профессору Исаеву Валерию Ивановичу.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белозеров В.Б., Гарсия Бальса А.С. Перспективы поиска залежей нефти в отложениях девона юго-восточной части Западно-Сибирской плиты // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329. – № 6. – С. 128-139.
2. Исаев В.И., Искоркина А.А., Лобова Г.А., Старостенко В.И., Тихоцкий С.А., Фомин А.Н. Мезозойско-кайнозойский климат и неотектонические события как факторы реконструкции термической истории нефтематеринской баженовской свиты арктического региона Западной Сибири (на примере п-ва Ямал) // Физика Земли. – 2018. – № 2. – С. 124–144.
3. Конторович А.Э. Проблемы реиндустриализации нефтегазового комплекса России // Нефтяное хозяйство. – 2016. – №3. – С.14-15.
4. Лобова Г.А., Лунёва Т.Е., Исаева О.С. Нефтегазоносность коры выветривания и палеозоя Колтогорского мезопрогиба (северо-запад Томской области) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов – 2019. – Т. 330. – № 9. – С. 103-113.
5. Решения совещания по рассмотрению и принятию региональной стратиграфической схемы палеозойских образований Западно-Сибирской равнины / Под ред. В.И. Краснова. – Новосибирск, 1999. – 80 с.
6. Isaev V.I., Kuzmenkov S.G., Ayupov R.Sh., Kuzmin Yu. A., Lobova G.A., Stulov P.A. Hard-to-recover Reserves of Yugra Oil (West Siberia) // Геофизический журнал. – 2019. – Т. 41. – № 1. – С. 33-43.

### GEOTEMPERATURE MODELS OF PHANEROZOIC SOURCES OF HYDROCARBON GENERATION AND THEIR ROLE IN FORMATION OF «PALEOZOIC OIL» DEPOSITS FORMATION (GERASIMOVSKOE FIELD, TOMSK REGION)

*Margarita F. Galieva  
TPU, Tomsk  
margaritagalieva@gmail.com*

**Summary.** This paper performs coupled paleotemperature modelling of sedimentary basins: «present» Jurassic-Cretaceous basin and Paleozoic «paleobasins» by an example of a section of well 12 belongs to Gerasimovskoe field within Tomsk Region. It is stated that Jurassic (Bazhenov) oil source and Paleozoic (Kehoreg) gas source are co-generating (by time of generation, accumulation and conservation) for the reservoir of Inner Paleozoic.

**Key words:** paleotemperature modelling of sources of hydrocarbon generation «present» sedimentary basin and Paleozoic sedimentary «paleobasins», reservoir of Inner Paleozoic, Tomsk Region.

УДК 552.52

## КВАЗИСТАТИЧЕСКАЯ КОЛИЧЕСТВЕННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ ОСНОВАНИЯ КРУПНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ

<sup>1</sup>Хамидов Хайрулла Лутфуллаевич, <sup>1</sup>Ганиева Барно Рустамовна,  
<sup>2</sup>Анварова Садокат Гайратовна, <sup>3</sup>Жўраев Фирдавс Мухиддин ўгли  
<sup>1</sup>Институт сейсмологии АН РУз, Ташкент, Республика Узбекистан  
<sup>2</sup>Национальный университет Узбекистана, Ташкент, Республика Узбекистан  
<sup>3</sup>Ташкентский университет информационных технологий, Ташкент, Республика Узбекистан  
<sup>1</sup>hayrulla\_classic@mail.ru, <sup>1</sup>barnoganieva89@gmail.com, <sup>2</sup>sadokat.anvarova@mail.ru,  
<sup>3</sup>juraev.firdavs.9919@mail.ru

**Аннотация.** В работе построена квазистатическая количественная модель для использования при расчете напряжений и деформаций верхней части земной коры основания крупных резервуаров. При построении краевой задачи для решения уравнений равновесия предполагается, что жесткое упругое полупространство ослабленной несколькими не ортогональными (в частном случае ортогональными) цилиндрическими неоднородностями большой протяженности, испытывает на всем протяжении продольный сдвиг, сжатие, на бесконечности задаваемое в виде однородной деформации и вертикальное давление от веса водохранилища. Для численной реализации модели использовано тензор фундаментальных решений 2DKelvin и метод источников. Отмечено, что при формировании модели в части математической задачи, в качестве квазистатических изменений можно выделить изменения соотношений внешних сил при переходе от состояния нагрузки в состояние разгрузки, что является важным при выявлении возможностей концентрации критических напряжений в ближней зоне эксплуатируемых водохранилищ.

**Ключевые слова:** количественная модель, уравнение, напряжение, смещение, тензор, поле, расчет, алгоритм, водохранилище, состояние.

Известно, что в сейсмоактивных зонах тектонические силы, возникающие на стыке блоков земной коры, формируют области повышенных тектонических напряжений, где процессы деформирования зон трещин могут приводить к разрушению среды [1]. Дополнительные напряжения возникающие за счет веса водохранилищ являются наиболее опасными в сейсмоактивных зонах, где наибольшим образом строятся и эксплуатируются крупные водохранилища Узбекистана и сопредельных стран. Такого рода изменения в горных породах большинство сейсмологов связывают с состоянием нелинейного разуплотнения среды за счет образования трещин сдвига при достижении касательных напряжений некоторого порога. Поля напряжений и деформаций горных пород влияют на процессы в различных геофизических полях.

В работе [2,3,4] обоснована очевидность того, что в зонах деформационного влияния крупных водохранилищ области локальной тектонической сейсмичности состоят из напряженно-деформированного состояния (НДС) набора отдельных блоков, взаимные перемещения которых так же значительны, как и их собственные деформации.

Во-первых, теоретически возможно построить зависимости для описания связи между основными и дополнительными напряжениями и деформациями сплошной среды, “приспосабливая” их для описания поведения разных частей среды под нагрузкой от водохранилища [5]. Но здесь мы получим достаточно сложную математическую задачу. С другой стороны, силовое взаимодействие двух отдельных блоков само по себе является достаточно непростым.

Второй подход заключается в попытке суперпозиции этих взаимодействий, предварительно определив соответствующую модель для отдельной части тела и дать ответ на вопрос о поведении всего массива, состоящего из подобных частей.

Модели, включают в себя следующие основные моменты [6,7] и требования, представленные в [5]:

а) Квазистатическое состояние нагружения полуплоскости с разрывом или без концентрации напряжений;

б) Изучение НДС области осуществляется с учетом существующих предварительных напряжений;

в) Решается 2D модель для плоско деформированного состояния;

г) Накопление упругой энергии носить локальный характер.

В этом случае выделение избыточной концентрации тектонических напряжений в сейсмоактивных разломах в зонах деформационного влияния крупных водохранилищ на современном этапе геодинамического развития принимается процессом оценки вариации силового поля при наличии дополнительных напряжений возникающего от веса водохранилища.

Аналогично эвристическому представлению сеймотектонического процесса ближних зон крупных водохранилищ, задача ее математического моделирования даже в простейших физических и геометрических связях между деформациями, смещениями и напряжениями составляет серьезные математические трудности, обусловленные решением систем сингулярных интегральных уравнений базирующихся на методах граничных элементов. Если учесть, что сеймотектонические процессы происходят там, где деформации велики, то очевидно, концентраторы типа разрывов в земной коре, расположенных в зонах деформационного влияния водохранилищ, служат источником наиболее значительного изменения силового поля. В этом смысле, как указано в [3,6], геодинамическая задача о появлении дополнительных деформаций вдоль разломов за счет изменений веса водохранилища и основного физического силового поля заменяется физико-механической задачей о локализации дополнительных напряжений в зонах разрывов лежащих близко к водохранилищам.

Математическая постановка краевой задачи, при этом будет следующей: жесткое упругое полупространство ослабленной несколькими не ортогональными (в частном случае ортогональными) цилиндрическими неоднородностями большой протяженности, испытывает на всем протяжении продольный сдвиг, сжатие, на бесконечности задаваемое в виде однородной деформации и вертикальное давление от веса водохранилища.

Пусть полупространство: имеющее внутренние цилиндрические концентраторы напряжений и кусочно-неоднородную весомую среду находятся в плоско-деформированном состоянии. Тогда, выбрав центр прямоугольных декартовых координат так, чтобы одна ось была направлена по оси концентратора, а остальные - по условию выбора правой системы, придем к статической задаче для уравнения равновесия Ламе [5]:

$$(\lambda + \mu) \operatorname{grad}(\operatorname{div} \mathbf{W}) + \mu \nabla^2 \mathbf{W} = - mgh \quad (1)$$

где  $\mathbf{W} \{u, v, w\}$ :  $u = u(x, y, z)$ ;  $v = v(x, y, z)$ ;  $w = w(x, y, z)$  компоненты перемещений;

$\lambda, \mu$  - упругие постоянные Ламе; с условиями на границе:

$$\sigma_{nm}^{(i)} = \sigma_{nm}^{(i+1)}; W_1^i = W_2^i; \sigma_{ns}^{(i)} = \sigma_{ns}^{(i+1)} \quad (2)$$

- для сочетания и участков групп концентраторов;

$$\sigma_{nm}^{(i)} = \sigma_{nm}^{(i+1)}; W_1^i = W_2^i; \sigma_{nm}^{(i)} = k \sigma_{ns}^{(i)} \quad (3)$$

Здесь  $\sigma_{jj}^{(i)}$  -  $jj$ -тые компоненты напряжений в  $i$ -том концентраторе;  
 $k$  - коэффициент Кулона (трения покоя).

- на свободной поверхности:

$$\sigma_{nn} = 0; \sigma_{ns} = 0 \quad (4)$$

- на границе с основанием водохранилища действует квазистатическая нагрузка

$\delta g_v$  от давления веса объема:

$$\delta g_v = \frac{1}{4\pi\mu T} \sum_{k=1}^m (P_k \Delta S_k \Delta t_k / S_k^2);$$

где  $\pi \approx 3,14$ ;  $\mu$  - модуль сдвига;  $T$  - общее время нагрузки разгрузки на основание;

$P_k$  - давление на основание при  $\Delta t_k$ ;  $\Delta S_k$  - разница изменения площади зеркала при росте  $k$  от разных  $\Delta t_k$ ;  $\Delta t_k$  - интервалы от нагрузки до разгрузки (или обратно) времени (всегда  $T > \Delta t_k$ );  $S_k^2$  - изменения площади зеркала.

Дополнительные (местные) напряжения появляются за счет наличия нескольких разрывов:

$$\sigma_{pq} = \sigma_{pq}^0 + \sigma_{pq}^* + \sigma_{pq}^{**} + \delta g_v; p \sim q \sim (1, 2, 3, \dots) \quad (5)$$

Выражения (2) и (3) сформулированы по отношению к выбранной системе координат, центры которых установлены в центрах концентраторов, т.е. неоднородностей. Ее назовем местной. Уравнение (1), условия (4) и (5) составлены по отношению к основной системе координат, центр которой установлен на свободной поверхности над центром исходного концентратора. Пользуясь законом Гука и формулами Коши, а также используя аффинное преобразование, условия на границе для основного напряженного состояния приведена к основной системе.

Квазистатический процесс в термодинамике — идеализированный процесс, состоящий из непрерывно следующих друг за другом квазистатических состояний, в которых характеризующие систему термодинамические величины за время наблюдения не изменяются. Если каждое такое квазистатическое состояние системы близко к состоянию равновесия и, следовательно, систему в каждый момент времени можно считать находящейся в термодинамическом равновесии, то такие процессы называют равновесными, или, точнее, квазиравновесными [8,9]. Значение квазистатических процессов, согласно [3,9,10] заключается в следующих. Равновесная термодинамика описывает системы, находящиеся в состоянии термодинамического равновесия. Любое изменение состояния системы выводит её из состояния равновесия, и в системе начинаются неравновесные переходные и релаксационные процессы, которые в общем случае очень сложны для описания. Однако многие процессы в технике с достаточной для практических целей точностью могут описываться как квазиравновесные.

Модель квазистатических процессов значительно упрощает анализ термодинамических систем. При описании текущего состояния системы, в которой происходит квазистатический процесс, требуется столько же параметров, сколько и для макроскопического описания равновесного состояния. Квазистатические процессы не реализуются в природе, но являются хорошей моделью для процессов, протекающих достаточно медленно по сравнению с процессами установления термодинамического равновесия в системе.

Условие «медленности» относительно, а именно, сравнивают время  $t$  квазистатического изменения значения некоторой термодинамической переменной  $X$  на величину  $\Delta x$  и время релаксации  $\tau$  после мгновенного изменения этого же значения  $x$  на величину  $\Delta x$ : при квазистатическом изменении переменной  $t \gg \tau$  [9,10].

При формировании модели в части математической задачи, в качестве квазистатических изменений можно выделить изменения соотношений внешних сил при переходе от состояния нагрузки в состояние разгрузки, что является важным при выявлении возможностей концентрации критических напряжений в ближней зоне эксплуатируемых водохранилищ. Поэтому численная модель и первичный алгоритм расчета напряжений и деформаций земной коры по схеме «водохранилище + основание» базируется на изложенной выше схеме расчета НДС. Для реализации ее перемещения представим в виде суммы основного и дополнительного согласно [5,6]:

$$u = -\varepsilon_0 x \cos \alpha + u_1; \quad v = -\varepsilon_0 y \sin \alpha + v_1; \quad (6)$$

где  $u_1, v_1$  - перемещения от дополнительных напряжений, подлежащие определению с учетом вариации сил по схеме «водохранилище+основание»  $\delta g_v$ . Из этой задачи можно получить решение двух частных задач:

1) если сжатие (растяжение) по оси  $Oy$ , то имеем  $u = u_1$ ;  $v = -\varepsilon_0 y + v_1$ ;

2) если сжатие по оси  $Ox$ , то из (6) имеем  $u = -\varepsilon_0 x + u_1$ ;  $v = v_1$ ;

При тензоре 2DKelvin модели смещениям  $(u_1, v_1)$  [5] соответствуют напряжения:

$$\sigma_{xx} = -\varepsilon_0 [(\lambda + 2\mu) \cos \alpha + \lambda \sin \alpha] + (\lambda + 2\mu) \frac{\partial u_1}{\partial x} + \lambda \frac{\partial v_1}{\partial y}; \quad (7)$$

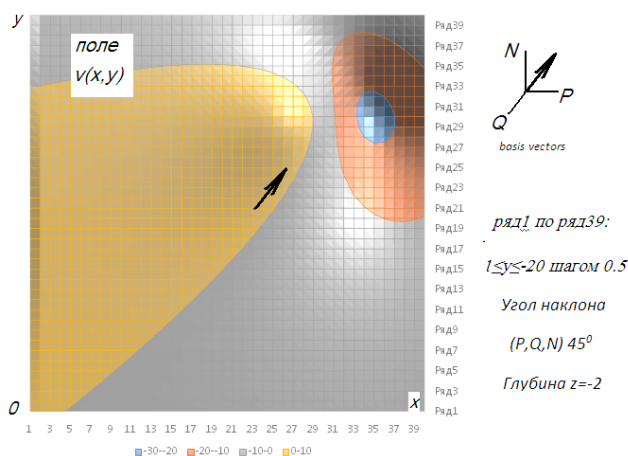
$$\tau_{xy} = \mu \left( \frac{\partial u_1}{\partial y} + \frac{\partial v_1}{\partial x} \right); \quad \sigma_{yy} = -\varepsilon_0 [(\lambda + 2\mu) \sin \alpha + \lambda \cos \alpha] + (\lambda + 2\mu) \frac{\partial v_1}{\partial y} + \lambda \frac{\partial u_1}{\partial x};$$

Далее численная модель и первичный алгоритм строится в соответствующем порядке как в [5, 6, 7]. Экспериментальные расчеты проведены при  $u_1/\varepsilon_0 x$ ;  $v_1/\varepsilon_0 x$ ;  $a=5$ ;  $b=2$ ;  $N=10$ ;  $x_0=5$ ;  $y_0=8$ ; (при 3D  $z_0=-5$ )  $m=4,5$ ;  $n=3,2$ ;  $Q=6$ ;  $P=8$ ;  $\varepsilon=1,8 \cdot 10^{-4}$ ;  $\alpha=45^\circ$ ; для поля  $0 \leq x \leq 20$ ;  $0 \leq y \leq -20$  шагом 0.5 произведены тестовые численные расчеты перемещений по тензорам 2D-Kelvin в среде  $C^{++}$ . Например, для 2D модели (7) является базовым блоком горизонтальных  $u(G_{ij})$  и вертикальных  $v(G_{ij})$  смещения (по тензору 2D-Kelvin) при учете вариации сил по схемы «водохранилище + основание» как компонент количественной модели поля действующих внутренних сил. Если в схеме «водохранилище + основание» предположить давление, действующее  $\Delta \sigma$  избыточным только в эллипсоиде, то можем считать справедливым:

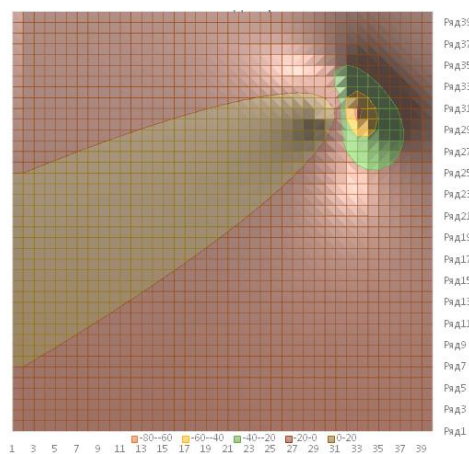
$$P + Q + N = \Delta \Delta \times [L \times r];$$

где радиус вектор  $\Gamma_i$  и  $r^2 = (x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2$ ; Далее, подставив их в выражение для смещений, можно рассчитать перемещения по схеме «водохранилище + основание» для заданных граничных условий. Пусть точки  $x_i, y_i, z_i$  соответствовали точке подвижки от исходной точки по  $i$ -той площадке разрыва с падением  $\Delta \sigma$ . Пусть при концентрации напряжений распределение сил в зонах близких разломов по схеме «водохранилище + основание» произошло так, чтобы энергия имела значение потенциально возможной соответствующей подвижке (плоскость  $z=-2$  и  $z=-4$ . при  $N=0$ ).

Ниже на рисунке 1 и рисунке 2 показаны результаты численных экспериментов, выполненных по каждому блоку тензоров 2D-Kelvin в среде  $C^{++}$ .



**Рис. 1.** Поле вертикальных перемещений на глубине  $z = -2$  при  $f(P,Q,0)$  в источнике  $(+5,+8,-5)$



**Рис. 2.** Поле вертикальных перемещений на глубине  $z = -4$   $f(P,Q,0)$  в источнике  $(+5,+8,-5)$

Таким образом, можно допустить, что количественная модель на базе тензора 2D-Kelvin функция  $\sigma_{ij}(u,v,w)$ , удовлетворяющая уравнению Ламе для полупространства для выявленных  $(P,Q)$  и при соответствующем  $\delta g_v$  и  $\Delta \sigma_i$ , может дать картину НДС земной коры основания крупных резервуаров. При этом можно предположить (используя принцип Сен-Венана), что точки  $(x_0, y_0, z_0)$  и  $(x_{0j}, y_{0j}, z_{0j})$  приложения сосредоточенной силы будут находиться в середине разрыва. Оценка площадей локальных зон деформационного влияния водохранилищ (модельные расчеты) для формирования краевых условий и анализ характеристики процессов разрушения горных пород в зонах деформационного влияния водохранилищ нами было изучено в предыдущих исследованиях [5,11]. При этом массивы горных пород в зонах активного влияния водохранилищ приняты как участок земной коры, характеризующийся общими условиями образования и определёнными инженерно-геологическими свойствами слагающих его горных пород [12,13,14].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боброва М.Е., Пережогин А.С. Моделирование поля деформаций и зон дилатации в упругом полупространстве с комбинацией двойных сил // Вестник КРАУНЦ. физ.-мат. науки. 2011. № 1 (2). С. 31-36.
2. Алимухамедов И.М., Шукуров З.Ф., Хамидов Х.Л., Зиёмов Б.З., Фахриддинов Ж.Ф. Показатели локальной геодинамической активности земной коры зон водохранилищ // Ж.Геология и минеральные ресурсы - Ташкент, 2014. - №3 - С.37-42.
3. Хамидов Л.А., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л. Возможный механизм возникновения землетрясений в зонах активного влияния водохранилищ // Журнал «Экологический Вестник Узбекистана» – 2017. - № 1 (189). - С.20-21.
4. Хамидов Х.Л., Шукуров З.Ф., Зиёмов Б.З., Фахриддинов Ж.Ф. Геодинамические оценки параметров GPS съёмок и смещений для сейсмических событий в Западном Тянь-Шане // Вестник НУ РУз. - Ташкент, 2014. - №3-4. - С.26-32.
5. Хамидов Л.А., Алимухамедов И.М., Хамидов Х.Л., Артиков Ф.Р., Ганиева Б.Р., Анварова С.Р., Ибрагимов Ф.И. Модели вариации напряженно-деформированного состояния земной коры основания крупных водохранилищ, влияющих на

- локальную геодинамику зон их активного влияния. // J.Seysmologiya muammolari.- №2 (2),-2020.- С.52-62.
6. Хамидов Л.А., Халилов М., Зиявитдинов К.Ф. Оценка напряжений для западной части Узбекистана на базе математической модели // ДАН РУз. – 2000. - № 8. - С.29-31.
  7. Хамидов Л.А. Внутренние усилия тектонических структур от вариации техногенной нагрузки // Журнал «Докл. АН РУз» - Ташкент. - 2017.- N3.- С.56-59.
  8. Аминов Л. К. Термодинамика и статистическая физика. - Казань: Казан.ун-т, 2015. -180 с.
  9. Квазистатический\_процесс <https://ru.wikipedia.org/wiki/> .
  10. Kh.L. Khamidov Assessment of strain effect of strong-motion (focus) zones of earthquakes on earth's surface displacement // J.Geodesy and Geodynamics.- China: vol.8.- N1.- 2017.-P. 34-40.
  11. Хамидов Л.А., Алимухамедов И.М., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л. Параметры локальной геодинамики ближних зон водохранилищ. // J.Seysmologiya muammolari.-№1 (2),-2020.-С.64-80.
  12. Идармачев И.Ш. Вариации кажущегося сопротивления горных пород верхнего мела в районе плотины Чиркейской ГЭС под воздействием переменной нагрузки водохранилища // Вестник Дагестанского научного центра РАН. 2014. № 52. С. 11–16.
  13. Ёдгоров Ш.И. К вопросу оценки современного состояния геоэкологических условий на примере территорий некоторых водохранилищ Узбекистана // Журнал «Ўзбекистон кончилиқ хабарномаси» - 2017. - №1. - Б.77-83. ISBN 2181-7383/
  14. Хамидов Л.А., Адиллов К.А. Конструкция краевых условий для внутренних концентраторов при реализации метода «источников» и «стоков» // Международной научно-технической конференции «Современные проблемы механики», 23-24 сентябрь, Ташкент, 2009, т.1, С.535-540.

## QUASI-STATIC QUANTITATIVE MODEL FOR CALCULATING STRESSES AND STRAINS OF THE CRUST OF THE BASE OF LARGE RESERVOIRS

<sup>1</sup>*Khayrulla L. Khamidov*, <sup>1</sup>*Barno R. Ganieva*, <sup>2</sup>*Sadokat G. Anvarova*,  
<sup>3</sup>*Firdavs M. Uli Zhurayev*

<sup>1</sup>*Institute of Seismology, Academy of Sciences, Tashkent, Republic of Uzbekistan*

<sup>2</sup>*National University of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan*

<sup>3</sup>*Tashkent University of Information Technologies, Tashkent, Republic of Uzbekistan*  
<sup>1</sup>*hayrulla\_classic@mail.ru*, <sup>1</sup>*barnoganieva89@gmail.com*, <sup>2</sup>*sadokat.anvarova@mail.ru*,  
<sup>3</sup>*juraev.firdavs.9919@mail.ru*

**Annotation.** In the work, a quasi-static quantitative model is built for use in calculating the stresses and deformations of the upper part of the earth's crust at the base of large reservoirs. When constructing a boundary-value problem for solving equilibrium equations, it is assumed that a rigid elastic half-space weakened by several non-orthogonal (in the particular case, orthogonal) cylindrical inhomogeneities of great extent, experiences longitudinal shear, compression at infinity specified in the form of a uniform deformation and vertical pressure from reservoir weight. For the numerical implementation of the model, the fundamental solution tensor 2DKelvin and the source method are used. It is noted that during the formation of the model in terms of the



mathematical problem, as quasi-static changes, one can distinguish changes in the ratios of external forces during the transition from the load state to the unload state, which is important in identifying the possibilities of the concentration of critical stresses in the near zone of the operated reservoirs.

**Key words:** quantitative model, equation, stress, displacement, tensor, field, calculation, algorithm, reservoir, state.

УДК 550.344.094.45

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА АППРОКСИМАЦИИ ДИСПЕРСИОННОЙ КРИВОЙ ИЗГИБНОЙ ВОЛНЫ

<sup>1</sup>Гинзбург Евгений Александрович, <sup>2</sup>Чистяков Никита Юрьевич,

<sup>1</sup>ПГНИУ, г. Пермь

<sup>2</sup>ФХС-ПНГ, г. Пермь

<sup>1</sup>ginzburg2014@mail.ru, <sup>2</sup>nikita.chistyakov@fxc-png.ru

**Аннотация.** Интервальное время поперечной волны не всегда возможно оценить с использованием монопольных приборов, например, в низкоскоростных породах, при интервальном времени поперечной волны 500 и более мкс/м, монопольные приборы не регистрируют поперечную волну и для ее регистрации используют приборы имеющие дипольные зонды. Дипольные источники возбуждают изгибную волну, интервальное время которой на низких частотах соответствует интервальному времени поперечной волны, но современные приборы возбуждают изгибную волну на более высоких частотах. Поэтому для определения интервального времени изгибной волны на низких частотах можно построить дисперсионную кривую с помощью дополнительных параметров: диаметр скважины, интервальное время жидкости в скважине, плотность жидкости в скважине, плотность породы, интервальное время продольной волны и интервальное время поперечной волны. Этот расчет занимает много времени, поэтому можно аппроксимировать полученную изгибную кривую до нулевой частоты простой аналитической функцией, которая имеет несколько параметров. В настоящее время на практике в России данный подход не используется, поэтому мы решили проверить его на реальных данных.

**Ключевые слова:** Поперечная волна, изгибная волна, интервальное время, дисперсия, дисперсионный анализ.

Для построения модельной дисперсионной кривой интервального времени акустической волны необходимо учесть множество параметров, которые влияют на вид этой кривой. К таким параметрам можно отнести: изменение свойств жидкости, децентрация прибора, изменение диаметра скважины и плотности породы и т.д. Для регистрации дополнительных параметров, необходимо дополнительное оборудование и дополнительные исследования.

Huang, X., и Yin H. разработали гистограммный метод [1] и впоследствии его улучшили Zheng, Y. и др. [4], который предполагает, что низкочастотная часть дисперсионной кривой приобретает вид прямой, в которой интервальное время практически равно константе. Таким образом, спроецировав подсчитанные результаты на ось интервального времени для формирования распределения значений, определяются границы пиков распределения, которые, в свою очередь, определяют интервальное время в пласте. Недостатком гистограммного подхода является то, что волновые помехи, как правило, создают ложные пики гистограммы, которые при интерпретации могут быть неверно истолкованы.

Tang, X. M. и др. разработали новый метод анализа дисперсии, который преодолевает недостаток гистограммного подхода [3]. Этот подход использует простую аналитическую кривую, которая сопоставляется с измеренной кривой дисперсии. При использовании этого метода, аппроксимирующая кривая должна соответствовать не

только низкочастотной части дисперсионной кривой, но также и дисперсионной части на более высоких частотах, при этом необходимо уменьшить влияние помех, которые вызывают ложные пики гистограммы. В отличие от теоретической дисперсионной кривой, имеющей многочисленные волновые параметры, эта аппроксимирующая кривая содержит минимальный набор параметров и, в принципе, соответствует реальной дисперсионной кривой интервального времени волны.

Кривая дисперсии, за исключением участков низких и высоких частот, постепенно возрастает с увеличением частоты. Исходя из этого, можно предположить, что функция гипертангенса подойдет для решения этой задачи. Эта функция задается через параметры волны:

$$S(w) = S_0 + \delta S * \tanh(xw - y),$$

$$S(w) = \begin{cases} S_0 - \delta S, w \rightarrow 0 \\ S_0 + \delta S, w \rightarrow \infty \end{cases} \quad (1)$$

Подобно измеренной кривой дисперсии интервального времени, кривая гипертангенса ограничена низко- и высокочастотными пределами. Исходя из уравнения 1, параметр  $S_0$  и параметр  $\delta S$  определяют низкочастотный и высокочастотный предел. Так как частота постоянно увеличивается (стремится к бесконечности), функция гипертангенса постепенно возрастает от предела низких частот до предела высоких частот. Параметр  $x$  определяет, как кривая меняется с частотой, в то время как параметр  $y$  определяет положение меняющегося участка кривой на частотной оси. С помощью этих четырех параметров, функцию гипертангенса можно представить в виде реальной дисперсионной кривой интервального времени.

Приближение вида кривой функции к кривой реальной дисперсии выполняется путем минимизации ошибки:

$$E(S_0, \delta S, x, y) = \int_{\Omega} [S(w, S_0, \delta S, x, y) - S_d(w)]^2 dw \quad (2)$$

где  $S_d$  – реальная дисперсия, рассчитанная по массиву акустических сигналов [4], а  $S$  – аппроксимирующая кривая, заданная уравнением 1. Минимизация выполняется по частоте в диапазоне измеряемых данных  $\Omega$ . Выбросы в данных  $S_d$  расцениваются как ошибки аппроксимации и уменьшаются или исключаются вовсе.

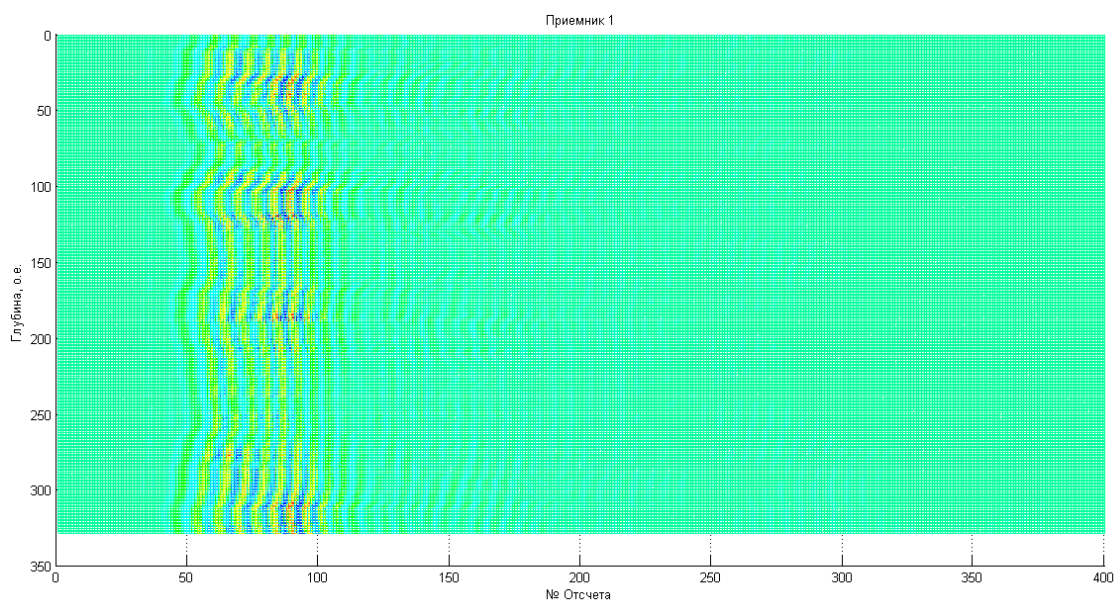
Коррекция эффекта дисперсии важна для повышения точности измерения интервального времени поперечной волны в пласте. Для этого использована характеристика карты SPD:

$$SPD(s) = \frac{1}{w_M - w_1} \int_{w_1}^{w_M} \exp \left\{ - \left[ \frac{s - S_d(w)}{\sigma_s} \right]^2 \right\} dw \quad (3)$$

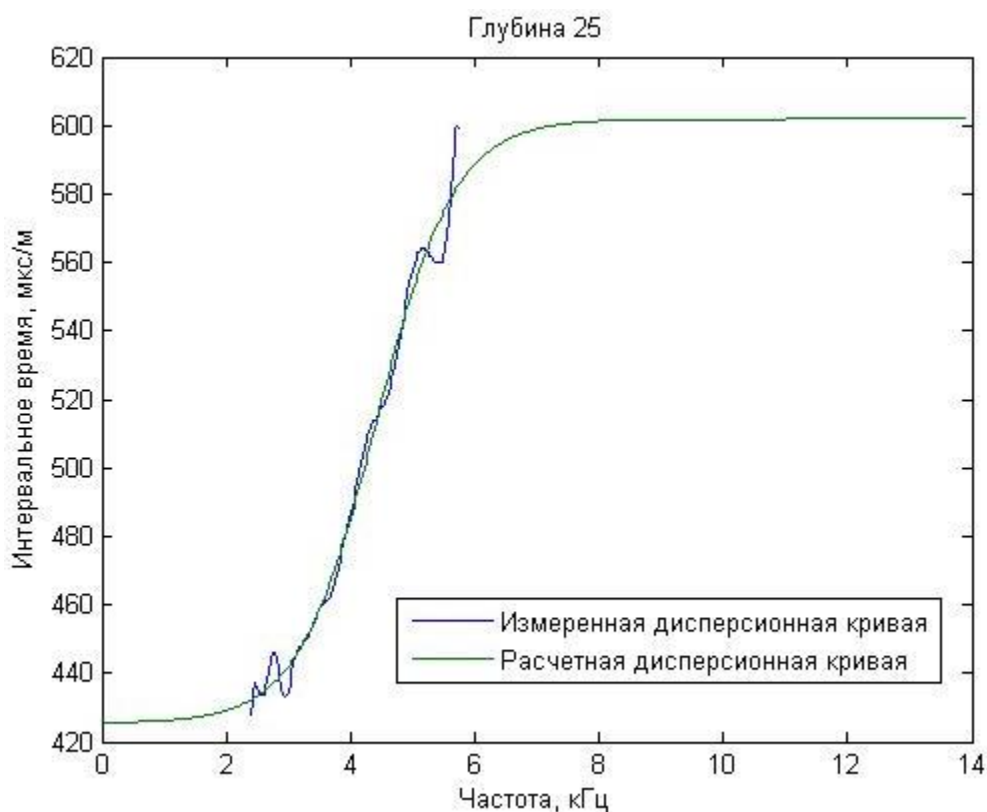
где  $M$  - количество частотных точек (от  $\omega_1$  до  $\omega_M$ ),  $S_d$  – дисперсия интервального времени, а  $\sigma_s$  - стандартное отклонение данных дисперсии. Из-за аналитического свойства экспоненциальной функции, SPD имеет менее резкое рассеяние по сравнению с рассеянием, вычисленным посредством обычного метода гистограммы.

Подобно методу гистограммы, если дисперсия интервального времени приурочена к низким частотам, то функция SPD достигнет пика в низкочастотной области.

В качестве входных данных использовались времена прихода акустических волн, записанных акустическим кросс-дипольным каротажным прибором, на восьми приемниках. На рисунке 1 изображены времена прихода акустических волн, записанные на 1 приемнике.

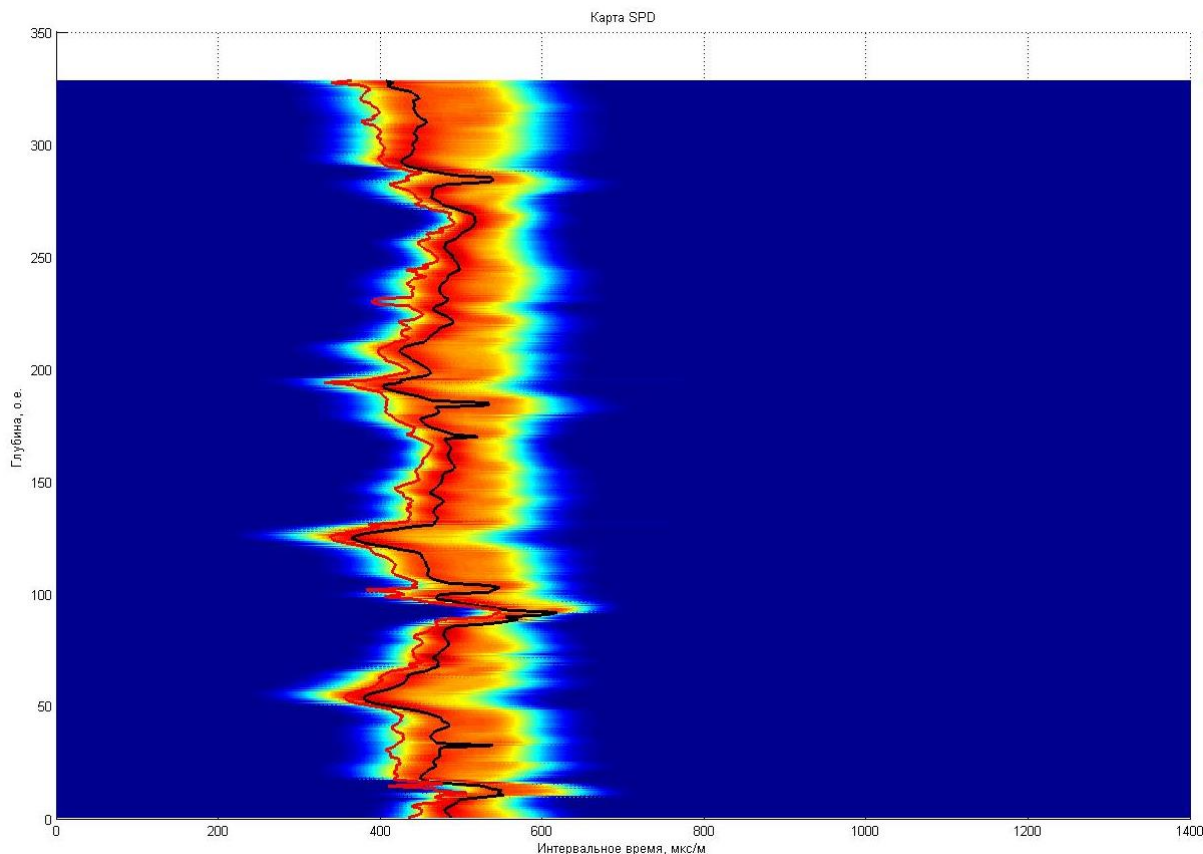


**Рис. 1.** Времена прихода акустических волн, записанные первым приемником



**Рис. 2.** Аппроксимирующая функция гипертангенса и измеренная дисперсионная кривая

Чтобы увидеть, как простой метод подгонки соответствует полевым данным, мы наносим на график измеренную дисперсионную кривую и аппроксимированную гипертангенсом кривую (рис. 2). Синей линией показана измеренная дисперсионная кривая, а зеленой – расчетная дисперсионная кривая, полученная с помощью функции гипертангенса. В диапазоне частот 2–6 кГц, расчетная и измеренная дисперсионные кривые совпадают друг с другом.



**Рис. 3. Кривая интервального времени полученная по карте SPD (черная линия), кривая интервального времени с поправкой на дисперсию (красная линия) и карта SPD (изображение)**

Теперь можно сравнивать обработанные кривые интервального времени и данные SPD (рис. 3). Кривая интервального времени после обработки SPD, отображаемая черным цветом, показывает стабильно более высокие значения, чем интервальное время после подгонки кривой (красная кривая), со средней процентной разницей примерно 10%. Это обеспечивает сравнение интервального времени подгонки кривой с данными SPD. Гистограммный метод оценивает интервальное время слоя путем обнаружения края гистограммы, который в нашем случае является функцией SPD. Как показано на рисунке 3, кривая интервального времени достаточно хорошо коррелируется кривой функции SPD.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Huang, X., and H. Yin, 2005, A data-driven approach to extract shear and compressional slowness from dispersive waveform data: 75th Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts, 384–387.
2. Tang, X. M., and Cheng C.H., 2004: Quantitative borehole acoustic methods, Elsevier.
3. Tang, X. M., Li C., and Patterson D., Baker Hughes, 2009, A curve-fitting method for analyzing dispersion characteristics of guided elastic waves: SEG Houston 2009 International Exposition and Annual Meeting, 461-465.
4. Zheng, Y., X. Huang, X. Tang, D. Patterson, and H. Yin, 2006, Application of a new data-driven dispersive processing method to LWD compressional and shear waveform

data: Annual Technical Conference and Exhibition, Society of Petroleum Engineers, Paper 103328.

## **ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF THE METHOD FOR APPROXIMATION OF THE DISPERSIVE BENDING CURVE**

*<sup>1</sup>Evgenii A. Ginzburg, <sup>2</sup>Nikita Yu. Chistyakov*

*<sup>1</sup>PSU, Perm*

*<sup>2</sup>FXC-PNG, Perm*

*<sup>1</sup>ginzburg2014@mail.ru, <sup>2</sup>nikita.chistyakov@fxc-png.ru*

**Summary:** The interval time of the shear wave is not always possible to estimate using monopole devices, for example, in low-velocity rocks, when the interval time of the shear wave is 500 and more  $\mu/m$ , monopole devices do not register the shear wave and instruments with dipole probes used to register it. Dipole sources excite a flexural wave, the slowness of which at low frequencies corresponds to that of a shear wave, but modern instruments excite a flexural wave at higher frequencies. Therefore, to determine the interval time of the flexural wave at low frequencies, it is possible to construct a dispersion curve using additional parameters: borehole diameter, fluid interval in the well, fluid density in the well, rock density, compressional wave interval, and shear wave interval. This calculation is time-consuming, so it is possible to approximate the resulting flexural curve to zero frequency with a simple analytical function that has several parameters. At present, this approach do not used in practice in Russia, so we decided to test it on real data.

**Key words:** shear wave, flexural wave, interval time, dispersion, analysis of variance.

УДК 550.360:551.588.7

## ОЦЕНКА ПОДЗЕМНОГО ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ МЕГАПОЛИСА ПО ДАНЫМ СКВАЖИННЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ ЕКАТЕРИНБУРГА)

<sup>1</sup>*Горностаева Анастасия Александровна, <sup>2</sup>Хацкевич Богдан Дмитриевич*  
*ИГФ УрО РАН, г. Екатеринбург*  
<sup>1</sup>*free\_ride\_@mail.ru, <sup>2</sup>disaybl@yandex.ru*

**Аннотация.** Описан способ разделения и количественной оценки температурных аномалий подземной среды мегаполиса, вызванных климатическими изменениями и строительством отапливаемого здания на локальном участке земной поверхности, путем анализа данных температурных измерений в скважине ИГФ-280 в Екатеринбурге.

**Ключевые слова:** городские острова тепла, геотермия, тепловое поле, температурный каротаж, скважина, температурная аномалия

Проблема городских островов тепла – одна из важнейших проблем современной экологии, урбанистики. Со времен открытия этого явления два века назад [9, 13] проблема не перестает быть актуальной, а внимание к ней только усиливается. Чаще всего основным объектом исследований является приземная атмосфера, характеристики ее термического, ветрового и влажностного режимов, распределение вредных для человека веществ, а основным методом – метеорологические наблюдения [1, 4, 11, 14, 15 и др.]. Однако антропогенное повышение температуры в городах проявляется не только в атмосфере, но и в подземной среде [7 и ссылки в этой работе, 8]. Изменение температуры грунтов влияет на их фильтрационные и прочностные качества [10]. Тепло, попавшее в подземную среду, может распространяться и накапливаться подземными водами [12].

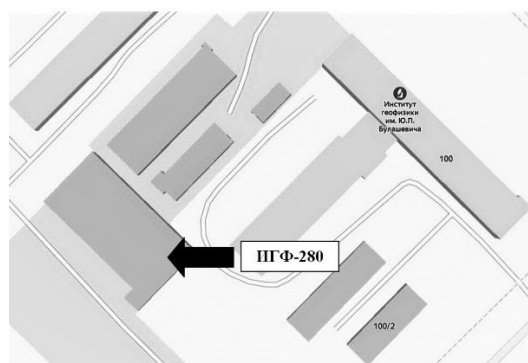
Основным источником информации о подземных температурах города служат буровые скважины. Цель данной работы – показать, как разделить температурные аномалии подземной среды мегаполиса, вызванные климатическими изменениями на земной поверхности и локальными трансформациями земной поверхности, путем анализа данных температурных измерений в скважинах.

Будем решать задачу на примере города Екатеринбурга. На территории Института геофизики УрО РАН расположена скважина ИГФ-280, пробуренная в 1983 году. В 1984 году на участке, где находится скважина, был построен отапливаемый ангар (производственное здание без подвала) размерами 30×60 м. Скважина оказалась внутри ангара, в его западном углу на расстоянии 5 и 10 м от стен (рис. 1).

В январе 2020 года с помощью кварцевого термометра в скважине были проведены прецизионные дискретные температурные измерения. Аномальное температурное поле скважины определяется двумя факторами: климатическими изменениями в Екатеринбурге и увеличением температуры на локальном участке отапливаемого здания. Его можно представить в виде:

$$T(z, t) = T_0 + G_0 z + \Delta T^{\text{клим}}(z, t) + \Delta T^{\text{лок}}(z, t), \quad (1)$$

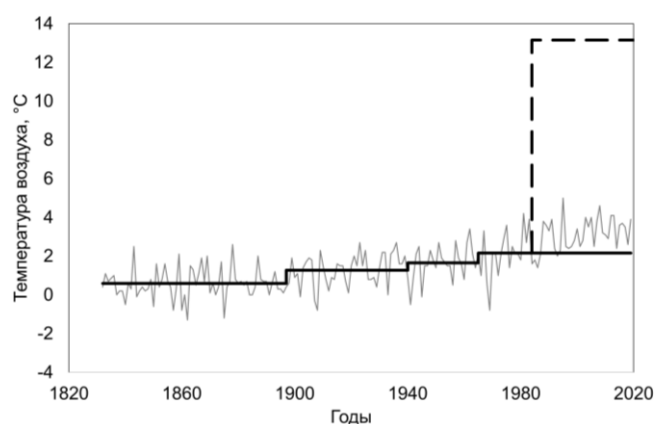
где  $T_0$  – исходная невозмущенная температура земной поверхности,  $z$  – глубина,  $t$  – время,  $G_0$  – геотермический градиент,  $\Delta T^{\text{клим}}(z, t)$  и  $\Delta T^{\text{лок}}(z, t)$  – температурные аномалии, связанные с климатом города и локальными изменениями температуры в здании.



**Рис. 1. Расположение здания и скважины ИГФ-280**

Для моделирования температурного поля, обусловленного изменениями климата, исходная температурная история, в качестве которой была взята история изменений температуры приземного воздуха в Екатеринбурге — <http://pogodaiklimat.ru/history/28440.htm> (рис. 2, серая тонкая линия), до момента постройки здания была представлена ступенчатой функцией равных температур в пределах заданных временных интервалов (рис. 2, сплошная черная линия). После 1984 года климатические изменения уже не влияли на температурное поле, поэтому температура поверхности считалась постоянной (рис. 2, штриховая черная линия).

Для ступенчатой температурной истории вертикальное распределение температурной аномалии в теплофизически однородной среде при отсутствии перетоков подземных вод описывается решением одномерного нестационарного уравнения теплопроводности [5]. В отличие от климатических изменений, влияние здания распространяется на ограниченный участок поверхности. Динамика распространения климатической и локальной аномалий на глубину также будет различна. Для круговой аномальной области аналитическое выражение распределения температурной аномалии по вертикальному профилю, проходящему через центр круга, было получено в [2, 3]. Исследуемая скважина, однако, расположена в здании, контур которого не позволяют непосредственно использовать соотношение для круга. Для расчета локальной аномалии для произвольного контура можно применить метод аппроксимации круговыми секторами [6]. Вертикальное распределение локальной температурной аномалии рассчитывается как сумма вкладов всех секторов, взвешенная на площадь круга с центром в месте нахождения скважины.



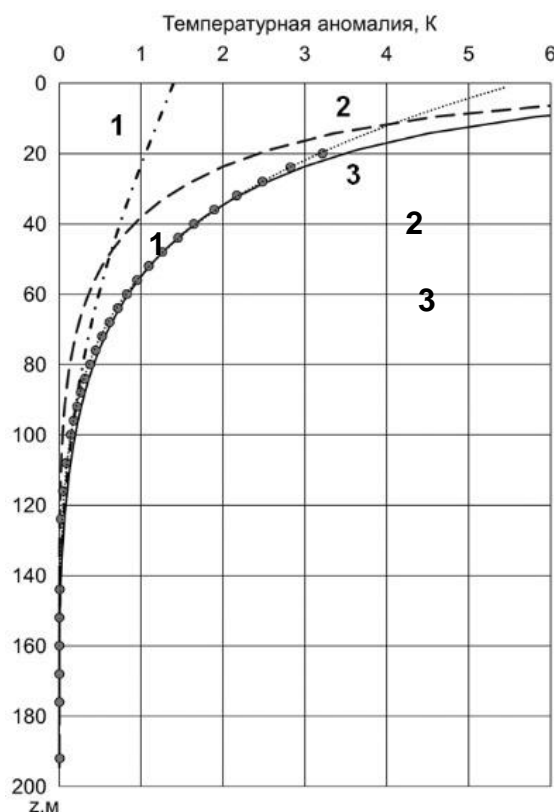
**Рис. 2. Изменения среднегодовой температуры приземного воздуха на метеостанции Екатеринбурга (тонкая серая кривая) и аппроксимация вариаций температуры в отсутствие здания (сплошная черная линия) и после его строительства (штриховая черная линия)**



Минимизируя невязку между вычисленной и наблюдаемой температурными аномалиями, в зависимости от значения теплопроводности,  $a$  и амплитуды скачка температуры земной поверхности после строительства здания  $D^{лок}$ , можно оценить климатическую, локальную и суммарную аномалии по отдельности:

$$\sigma(a, D) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [\Delta T_i^{клим}(z_i, a) + \Delta T_i^{лок}(z_i, a, D^{лок}) - \Delta T_i^{изм}(z_i)]^2}{n-1}} \rightarrow \min. \quad (2)$$

Соответствующие минимуму невязки температурные аномалии, отвечающие за климатические и локальные изменения температуры земной поверхности, приведены на рис. 3. Климатическая аномалия имеет максимальную амплитуду 1.4 К на поверхности и затухает до 0.1 К на глубине 140 м. Локальная аномалия с максимальной амплитудой 11 К на поверхности достигает глубины 90 м на уровне 0.1 К. Таким образом, локальная аномалия стационарировалась уже около 10 лет назад, и ее дальнейшее распространение на глубину прекратилось.



**Рис. 3. Температурные аномалии: 1 – температурная аномалия, обусловленная изменением климата на земной поверхности, 2 – температурная аномалия, возникшая вследствие строительства здания, 3 – суммарная температурная аномалия**

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брусова Н.Е., Кузнецова И.Н., Нахаев М.И. Тепловое возмущение мегаполиса на фоне региональной неоднородности поля приземной температуры // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. – 2017. – № 365. – С. 22 – 34.

2. Демежко Д.Ю. Геотермический метод реконструкции палеоклимата (на примере Урала). Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – 144 с.
3. Демежко Д.Ю., Рывкин Д.Г. Учет локальных аномалий поверхностной температуры при палеоклиматической интерпретации данных термометрии скважин // Деп. В ВИНИТИ. 1996. – № 1411-В96.
4. Дудорова Н.В., Белан Б.Д. Оценка факторов, определяющих формирование городского острова тепла в г. Томск // Оптика атмосф. и океана. – 2016. – Т. 29. – №. 5. – С. 426.
5. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. М.: Наука, 1964. – 488 с.
6. Balobaev V.T., Kutasov I.M., and Eppelbaum L.V. Borehole paleoclimatology – the effect of deep lakes and "heat islands" on temperature profiles // Clim. Past Discuss., 2008. – V. 4. – P. 415–432, <https://doi.org/10.5194/cpd-4-415-2008>.
7. Benz S.A., Bayer P., Menberg K., Jung S., and Blum P. Spatial resolution of anthropogenic heat fluxes into urban aquifers // Science of The Total Environment, 2015. – V. 524. – P. 427 – 439.
8. Epting J., Händel F., Huggenberger P. Thermal management of an unconsolidated shallow urban groundwater body // Hydrology and earth system sciences, 2013. – V. 17. – P. 1851 – 1869.
9. Howard L. The climate of London. – W. Phillips, sold also by J. and A. Arch, 1818. – V. 1.
10. Liu C., Shi B., Tang C., and Gao L. A numerical and field investigation of underground temperatures under Urban Heat Island // Building and Environment, 2011. – V. 46(5). – P. 1205 – 1210.
11. Lokoshchenko M.A., Korneva I.A. Underground urban heat island below Moscow city // Urban Climate, 2015. – V. 13. – P. 1 – 13.
12. Menberg K., Blum P., Schaffitel A., and Bayer P. Long-term evolution of anthropogenic heat fluxes into a subsurface urban heat island // Environmental science and technology, 2013. – V. 47. – № 17. – P. 9747 – 9755.
13. Mills G. Luke Howard and the climate of London // Weather, 2008. – V. 63. – № 6. – P. 153 – 157.
14. Oke T.R. City size and the urban heat island // Atmospheric Environment (1967), 1973. – V. 7. – № 8. – P. 769 – 779.
15. Rizwan A.M., Dennis L.Y.C., Chunho L.I.U. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island // Journal of Environmental Sciences, 2008. – V. 20. – № 1. – P. 120 – 128.

## THE EVALUATION OF THE URBAN SUBSURFACE THERMAL FIELD USING THE DATA ON TEMPERATURE MEASUREMENTS IN BOREHOLES (EVIDENCE FROM YEKATERINBURG)

<sup>1</sup>Anastasiya A. Gornostaeva, <sup>2</sup>Bogdan D. Khatskevich  
IGF UB RAS, Yekaterinburg

<sup>1</sup>free\_ride\_@mail.ru, <sup>2</sup>disaybl@yandex.ru

**Summary.** The method for the separation and quantification of temperature anomalies in an urban subsurface induced by climate change and the construction of a heated building at the local area using temperature log measured in the borehole IGF-280 (Yekaterinburg) has been described.

**Key words:** urban heat island, geothermy, thermal field, temperature logging, borehole, temperature anomaly

УДК 622.014.2: 550.835.41

**ONLINE МОНИТОРИНГ СОДЕРЖАНИЙ СЕРЕБРА В РУДАХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ, РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ  
ТОО «КОРПОРАЦИЯ КАЗАХМЫС»**

*Джункураев Ермек Маликович, Акыш Жомарт Ахметулы,  
Салимов Канат Ибрагимович, Сериков Азамат Еркинбекович,  
Жумашев Кайрат Габдуллоевич  
ТОО «Корпорация Казахмыс», Жезказган, Казахстан  
serg\_yef@mail.ru*

**Аннотация.** Статья посвящена решению проблемы online мониторинга низких (1+ ppm) содержаний серебра в рудах. Аппаратура – носимый спектрометр РПП–12Т. Метод опробования руд–рентгенофлуоресцентный.

**Ключевые слова:** поперечная волна, изгибная волна, интервальное время, дисперсия, дисперсионный анализ.

ТОО «Корпорация Казахмыс» (Kazakhmys LLC) – крупнейшая медная компания Казахстана. Добычу руды обеспечивают шахты и карьеры Жезказганской, Балхашской и Карагандинской производственных площадок. В разработке находятся месторождения медистых песчаников Жезказган, Жаман–Айбат, Жиландинская группа (Итауз, Восточная Сарыоба, Западная Сарыоба, Кипшакпай, Карашошак) а также сложные, характеризующиеся большим размахом содержаний промышленных, сопутствующих и мешающих компонентов медьсодержащие полиметаллические месторождения, такие как: золото–медно–порфировое месторождение Нурказган; колчеданно–медно–свинцово–цинковые месторождения Кусмурын и Акбастау; золото–колчеданно–медно–свинцово–цинковое месторождение Абыз; Саякская группа медно–скарновых месторождений; медно–порфировое месторождение с ураном Шатырколь.

Для эффективного ведения добычных и геологоразведочных работ на таких сложных месторождениях требуются надежные средства геофизического online мониторинга элементного состава и химического содержания металлов в рудах, находящихся в горном массиве, в навале отбитой горной массы, в транспортных емкостях, на лентах технологических конвейеров, керне разведочных скважин.

В рудничном геофизическом опробовании акцент сейчас делается не только на мониторинг содержаний в рудах основного (медь) компонента, но и на мониторинг содержаний сопутствующих (серебра, в первую очередь) компонентов. Попутная добыча серебра существенно влияет на экономику ТОО «Корпорация Казахмыс». Организация управляемой попутной добычи серебра и других сопутствующих рудных компонентов в горных подразделениях ТОО «Корпорация Казахмыс» является одной из наиболее важных производственных задач. Данная работа посвящена исследованиям путей ее решения.

Средние содержания серебра в рудах месторождений медистых песчаников Жезказган, Жаман–Айбат и Жиландинской группы составляют в среднем 15 ppm (на остальных разрабатываемых месторождениях – гораздо ниже: Коунрад и Нурказган – 2–3 ppm).

Для организации эффективной системы контроля попутной добычи серебра, содержания последнего надо определять от 1+ ppm. А это – предельный уровень для большинства online анализаторов: и лабораторных, и носимых.

Вывод: обеспечение достоверного определения содержаний серебра геофизическими методами в процессе online мониторинга руд представляет собой очень сложную методическую и аппаратную задачу, которая применительно к месторождениям Жезказган, Жаман–Айбат и Восточная Сарыоба, усложнена необходимостью опробования горных выработок вертикальными сечениями высотой до 7 м.

С 1971 года в Жезказгане основным методом геофизического опробования и анализа руд является рентгенофлуоресцентный метод (XRFM). Этот метод также выбран нами в качестве базового метода исследований.

В качестве геофизической аппаратуры нами использовались носимые энергодисперсионные рентгенофлуоресцентные (EDXRF) спектрометры: РПП–12Т, разработанные ТОО «Аспап Гео» (г. Алма–Ата) специально для определения низких содержаний серебра, кадмия и ряда других элементов, а также для РФО высоких забоев.

В исследованиях использовались две разновидности EDXRF спектрометра РПП–12Т: в шахтном (рис. 1А, 2В) или карьерном (рис. 2А, 2Б) и керновом (рис. 1Б) исполнении. РПП–12Т также имеет опцию «РФА порошковых проб» (рис. 3). Стандартный носимый спектрометр РПП–12Т комплектуется двумя метровыми штангами диаметром 2,6см (высота опробования забоя в этом случае составит 4м: рис. 2.В.1). Для Жезказгана число штанг увеличено до 4–5 (рис. 2.В.2).

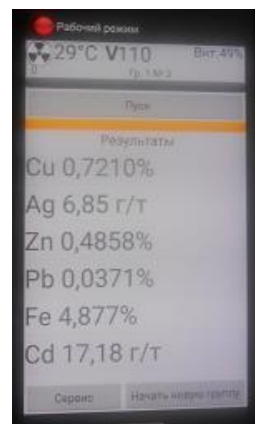
В качестве блока регистрации и обработки используется серийный смартфон (рисунки 1В и 2Б) с операционной системой Android и ударопрочным корпусом (защита класса IP67). Это know how: у конкурентов используются карманные персональные компьютеры, возможности которых намного ниже. Реализована беспроводная (bluetooth) система передачи информации от датчика к блоку обработки, что существенно повышает безопасность процесса РФО высоких забоев.



А. Шахтный и карьерный



Б. Керновый



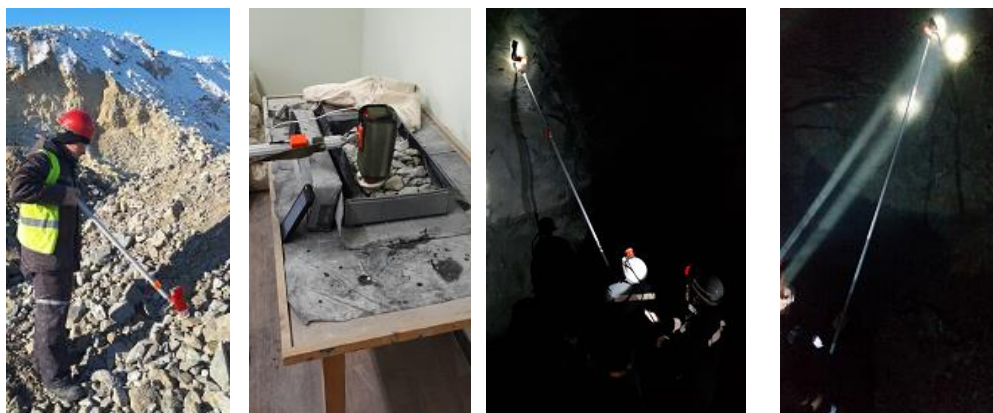
В. Результаты РФО

Рис. 1. EDXRF спектрометр РПП–12Т

РПП–12Т [1] оснащен высокоскоростным кремниевым дрейфовым детектором (SDD) площадью 25 мм<sup>2</sup> и малогабаритным рентгеновским излучателем 50 кВ, 10 Вт. Площадь сбора аналитической информации – до 4 см<sup>2</sup>. Число определяемых элементов 34 (Cu, Zn, Pb, Ag, Cd, As, Ba, Fe, Mo, Mn, Ti, V, Cr, Co, K, Ca, Ni, Ga, Br, Rb, Sr, Zr, Y, Nb, Sn, Sb, Bi, Se, In, Pd, Te, W, Th, U). Спектрометр РПП–12Т имеет три рабочих режима: Естество, Керн и Порошок.

Такие решения, как: применение высокоскоростного SDD и малогабаритного рентгеновского излучателя; оптимизация условий возбуждения аналитических линий К–серии серебра, применение самой современной высокоскоростной электроники; мощное методическое и программное обеспечение позволили повысить светосилу (входная загрузка свыше 100 кГц) блока возбуждения и детектирования и соотношение

сигнал/фон и, тем самым, существенно разогнать чувствительность спектрометрического тракта РПП–12Т к содержаниям серебра, что в совокупности и обеспечило возможность уверенной работы спектрометра при уровне содержаний серебра в рудах от 1+ ppm при экспозиции РФО в точке наблюдения 10 сек.



А. Руда  
в навале

Б. Проба  
руды

В. РФО забоя в шахте  
В.1 (h=3м)

В.2 (h=6м)

**Рис. 2. Виды РФО с РПП–12Т**



А. Насадка в сборе

Б. Насадка и кювета

В. РФА проб

**Рис. 3. Опция «РФА порошковых проб»**

РПП–12Т характеризуется высокой прочностью и защищённостью, простотой в эксплуатации и, как следствие, минимальными требованиями к квалификации оператора. Время непрерывной работы РПП–12Т без подзарядки аккумуляторов (они в первой штанге) не менее 10 часов. Вес датчика не более 1,5 кг.

Для выяснения способности спектрометра возможности РПП–12Т решить задачу online мониторинга содержаний серебра вообще и на низких (от 1+ ppm) содержаниях, в частности, были проведены следующие циклы исследований [1].

1. На керне разведочной скважины (месторождение Жезказган) по следующей программе: а) рентгенофлуоресцентное опробование (РФО) метровых интервалов керна в ящиках в непрерывном режиме (датчик перемещается вдоль интервала керна равномерно со скоростью 20 сек/м; б) РФО метровых интервалов керна с шагом наблюдений 10 см (10 точек/м) и 20 см (5 точек/м) с экспозицией измерений 10 с и 5 с для каждого шага наблюдений; в) контрольное РФО метровых интервалов керна для режимов измерений, указанных в пунктах а) и б). Контрольное РФО (пункт «б» программы) проводилось с небольшой сдвижкой. Режим РФО – «Керн». Результаты исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1

**РПП–12Т. Результаты РФО керн скважины на серебро, ppm**

№№ инт.	Х/А	Режимы опробования керн									
		Непрерывный		10 точек/м				5 точек/м			
				10с		5с		10с		5с	
		Осн.	Кон.	Осн.	Кон.	Осн.	Кон.	Осн.	Кон.	Осн.	Кон.
41	3,7	4,2	4,2	3,2	3,7	2,6	3,5	3,0	3,3	3,3	1,9
42	4,7	5,4	4,3	3,5	4,2	4,2	3,6	2,9	3,0	3,3	5,1
40	5,2	5,5	4,9	5,6	4,5	3,8	5,1	3,7	7,5	2,3	5,2
61	8,5	9,2	8,2	7,8	7,0	6,6	7,0	5,6	10,1	7,0	5,7
47	15,4	16,2	15,5	13,9	16,4	12,6	13,5	10,6	17,1	14,0	11,2
55	16,1	17,4	15,8	16,5	17,1	18,0	15,9	20,7	12,3	15,4	20,6
56	20,2	17,7	23,4	15,7	19,0	23,0	21,4	20,1	11,3	28,3	17,7
48	37,0	45,3	43,1	40,4	45,0	41,6	38,9	39,2	43,9	38,4	42,4
50	46,1	44,1	44,5	44,6	45,4	41,3	43,5	43,6	45,6	40,2	42,4
52	17,2	17,1	17,9	16,6	16,0	17,3	18,1	18,3	17,4	16,2	17,9
<b>Ср.</b>	<b>17,41</b>	<b>18,2</b>	<b>18,2</b>	<b>16,8</b>	<b>17,8</b>	<b>17,1</b>	<b>17,1</b>	<b>16,8</b>	<b>17,2</b>	<b>16,9</b>	<b>17,0</b>
<b>σ</b>		<b>4,6</b>	<b>4,4</b>	<b>3,6</b>	<b>2,4</b>	<b>1,9</b>	<b>2,1</b>	<b>3,6</b>	<b>1,4</b>	<b>3,2</b>	<b>2,3</b>

Анализ данных таблицы 1 показывает: сходимость результатов средних содержаний серебра по метровым интервалам керн по РФО и химическому анализу полностью соответствует требованиям геологических служб рудников ТОО «Корпорация Казахмыс». Результаты исследований на забаласовых медных пересечениях (не вошли в таблицу 1), показали, что спектрометр РПП–12Т уверенно решает задачу online мониторинга содержаний серебра, начиная с содержаний 1+ ppm.

2. Путем выполнения РФО эталонных рудных штуфов. В табл. 2 приведена распечатка результатов РФО эталонного штуфа № 51 с минимальным содержанием серебра (аттестованные содержания: Cu = 0,15%, Zn = 0,48%, Pb = 0%, Ag = 2,2 ppm, Cd = 37,0 ppm). На штуфе в разных точках выполнялось пять измерений по 10 с каждое. Режим РФО – «Естество». Вывод: РПП–12Т уверенно определил содержание серебра на уровне 2,0 ppm.

Таблица 2

**Распечатка результатов РФО эталонного штуфа № 51**

Вертикаль 51												
N	Содержания по точкам						Содержания средние по 5 точкам					
	Cu, %	Ag, ppm	Zn, %	Pb, %	Cd, ppm	Fe, %	Cu, %	Ag, ppm	Zn, %	Pb, %	Cd, ppm	Fe, %
1	0,13	2,3	0,51	0,00	38,7	1,50	0,141	2,0	0,493	0,00	37,6	1,52
2	0,14	2,3	0,49	0,00	38,1	1,52						
3	0,15	1,6	0,49	0,00	38,2	1,59						
4	0,14	2,4	0,48	0,00	38,2	1,52						
5	0,14	2,1	0,50	0,00	38,0	1,47						
Среднее содержание по вертикали:							0,14	2,0	0,49	0,00	37,6	1,52

3. РФО грубо измельченных вагонных проб (по 5–6 кг каждая), отобранных с двух составов руды (карьер «Кресто–7») на Жезказганской обогатительной фабрике №1. На каждой пробе выполнялось 35–40 измерений с экспозицией 10 с. Режим измерений – «Естество». Результаты РФО: медь – 3,03% и 2,28% (х/а – 2,98% и 2,39%), серебро – 57,5 ppm и 37,7 ppm (х/а: 52,5 ppm и 39,4 ppm), кадмий – 4,1 ppm и 6,3 ppm (х/а – 4,4 ppm и 5,9 ppm). Вывод: сходимость данных РФО с РПП–12Т и химического анализа хорошая и полностью устроила рудничных геологов.

4. РФА государственных стандартных образцов (ГСО) руд с использованием опции «РФА порошковых проб». Режим измерений – «Порошок». Экспозиция измерений

– 30 сек. В таблице 4 приведены результаты исследований на пяти ГСО (по ГСО–3029 даны также аттестованные содержания молибдена). Вывод: доказана хорошая сходимость содержаний серебра и других элементов по данным РФА ГСО.

Таблица 4

**Спектрометр РПП–12Т. Результаты исследований на ГСО**

ГСО	Вид анализа	Содержание элементов, % (* – ppm)				
		Cu	Pb	Zn	Ag*	Cd*
2887	РПП–12Т	0,537	0,0356	0,0121	8,6	6,9
	х/а	0,55	0,037	0,011	9,3	не атт.
2888	РПП–12Т	1,533	0,1019	0,0243	24,6	7,1
	х/а	1,55	0,103	0,023	25,9	не атт.
2889	РПП–12Т	3,149	1,8866	0,786	34,9	70,2
	х/а	3,16	1,90	0,80	35,0	71,0
2891	РПП–12Т	40,312	2,243	2,869	701,5	286,5
	х/а	40,40	2,25	2,89	707,7	290,0
3029	РПП–12Т	0,30			1,9	89 (Мо*)
	х/а	0,30			2,1	86

5. РФА геологоразведочных проб. 6. РФО керна разведочной скважины. При РФО керна параллельно использовался альтернативный вариант аппаратуры – носимый EDXRF спектрометр «СПЕКТРОСКАН GEO» ООО «НПО «Спектрон» (С–Пб, Россия). Были получены интересные результаты, но ограничения по размеру статьи не позволили, к сожалению, их подробно обсудить. Позволим себе только указать, что, по сравнению с РПП–12Т, «СПЕКТРОСКАН GEO»: тяжелее (2,4 кг), комплектуется всего двумя метровыми тонкими штангами, имеет менее производительный карманный персональный компьютер (624 МГц против 2500 МГц).

*Авторы благодарят научного руководителя Ефименко Сергея Анатольевича*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. Nigmatullin, A. N. Kan, S. A. Yefimenko, V. Onyshchuk, O. Shabaturova. Geophysical online monitoring of copper ores for silver's detection at Kazakhmys Corporation LLC // XIIIth International conference "Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects". Geoinformatics 2019. 13-16 May 2019, Kyiv, Ukraine DOI: 10.3997/2214-4609.201902095

**ONLINE MONITORING OF SILVER CONTENT IN ORE DEPOSITS  
PRODUCED «KAZAKHMYN CORPORATION», LLC**

*Ermeke M. Dzhunkuraev, Zhomart A. Akysh, Kanat I. Salimov, Azamat E. Serikov,  
Kairat G. Zhumashev  
«Kazakhmys Corporation», LLC, Zhezkazgan, Kazakhstan  
serg\_yef@mail.ru*

**Abstract.** The article is devoted to solving the problem of online monitoring of low (1+ ppm) silver contents in ores. Equipment - portable spectrometer RPP-12T. The ore sampling method is X-ray fluorescent.

**Key words:** energy dispersive X-ray fluorescence spectrometer, online monitoring of ore quality, Zhezkazgan deposit, silver.

УДК 550.8:552.08

## ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ГРАНИТОИДОВ ДАХОВСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА (СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ КАВКАЗ)

*Ильин Виталий Викторович*  
*Воронежский государственный университет, г. Воронеж*  
*vitaliy.ilin.2000@bk.ru*

**Аннотация.** Изучены петрофизические характеристики разных петрологических групп гранитоидов Даховского кристаллического массива. На основе проведенных исследований составлена петрофизическая модель гранитоидов двух фаз генерации.

**Ключевые слова:** Даховский кристаллический массив, гранитоиды, магнитная восприимчивость, плотность, скорость продольных волн, петрофизическая модель.

Даховский кристаллический массив (ДКМ) расположен на северо-западной периферии Передового хребта Большого Кавказа. Совместно с другими близкими по структурным и вещественным особенностям выступами доверхнепалеозойского основания (Блыбским, Сахрайским, Бескесским и др.) он приурочен к Пшекиш-Тырныаузской зоне разломов, разделяющей структуры Главного хребта Большого Кавказа и Северо-Кавказского краевого массива Скифской плиты. Возраст, строение, эволюция этих выступов, включая и ДКМ, до настоящего времени вызывают дискуссию, основные аргументы которой изложены в [1,2,7 и др.]. Наиболее неоднозначными, часто взаимоисключающими, являются представления о глубинном строении массива. Повысить степень достоверности построений возможно только в результате моделирования геофизических полей, базирующегося на петрофизических характеристиках объекта.

Даховский массив в приповерхностной части имеет площадь порядка 30 км<sup>2</sup>. Морфологически резко приподнят над обрамляющими его юрскими отложениями. В геологическом строении ДКМ (рис. 1) широко распространены разнообразные по возрасту и составу магматические и метаморфические породы [2,6,7]. Периферию массива слагают кристаллические образования балканского метаморфического комплекса, относимые к верхнему протерозою [6]. Их петрофизические особенности частично рассмотрены в [4,5]. Центральную часть занимает прорывающий их массив гранитоидов малкинского плутонического комплекса.

Развитие последнего проходило в два этапа. Образования первой фазы внедрения сложены средне-крупнозернистыми амфибол-биотитовыми гранодиоритами, возраст которых составляет порядка 301 млн. лет, отвечающий границе верхнего карбона и нижней перми, что коррелируется с завершением герцинского тектогенеза. Породы второй фазы представлены локальными линейно вытянутыми телами, разноориентированными дайками, жилами и штоками мусковитовых и двуслюдяных гранитов, обрамляющими гранитоиды первой фазы с юго-запада и востока. Кроме того, в гранитоидах первой фазы малкинского комплекса в виде ксенолитов, размером от десятков сантиметров до 250 м в поперечнике, встречаются плагиограниты и диориты, относимые к даховскому плагиогранит-диоритовому плутоническому комплексу.

С целью изучения физических свойств гранитоидов малкинского плутонического комплекса, из обнажений вдоль р. Белая и впадающих в неё притоков было отобрано



свыше 120 максимально свежих образцов и проведены массовые каппаметрические измерения (свыше 150) непосредственно на обнажениях.



**Рис. 1.** Геологическая карта Даховского кристаллического массива [2]: 1 – серпентиниты; 2 - кристаллические сланцы, амфиболиты балканского комплекса; 3-4 – малкинский комплекс: 3 - гранодиориты I фазы, 4 – лейкограниты II фазы внедрения; 5 – терригенный комплекс ранней юры; 6 – терригенные отложения средней юры; 7 – разрывные нарушения крутого падения (взбросы, сбросы, сдвиги); 8 – надвиги; 9 – разнотипные стратиграфические границы

Определение физических характеристик собранной коллекции выполнено в петрофизической лаборатории кафедры геофизики Воронежского госуниверситета традиционными для нее методами [3]. В ходе работы были изучены плотность, магнитная восприимчивость и скорость прохождения продольных волн. Сведения об удельном электрическом сопротивлении гранитоидов почерпнуты из ранее выполненного на кафедре геофизики ВГУ исследования [5].

Плотность образцов изучалась методом гидростатического взвешивания с использованием высокоточных весов «HIGHLAND» HCB – 1502. Магнитная восприимчивость определена каппаметром KM-7 производства Чехии. Им же выполнены полевые каппаметрические наблюдения на обнажениях. Измерение скорости продольных волн проводилось ультразвуковым дефектоскопом УК 10ПМС. Для определения удельного электрического сопротивления в петрофизической лаборатории кафедры геофизики используется комплекс на базе измерителя иммитанса E7-20.

Результаты лабораторных измерений сведены в таблицу. Для более полной характеристики магнитной восприимчивости в ней, а также при статистической обработке результатов учтена информация полевой каппаметрии. Полученные данные прошли стандартную обработку с построением гистограмм, вариационных кривых распределения параметров и определения статистических характеристик. На рис. 2 приведены вариационные кривые распределения измеренных параметров гранитоидов каждой из двух фаз внедрения.

Характер распределения физических свойств пород, слагающих малкинский плутонический комплекс, позволяет с уверенностью выделить петрофизические группы, приуроченные к определенному петрологическому типу гранитоидов.

Так, явное бимодальное распределение плотностных свойств (рис. 2а) указывает на наличие двух петроплотностных групп в рамках малкинского комплекса. Первому максимуму с распределением, близким к нормальному, соответствует среднее значение

плотности  $2,61 \text{ г/см}^3$ . Петрологически данной группе соответствуют гранитоиды второй фазы внедрения, представленные гранит-аплитами.

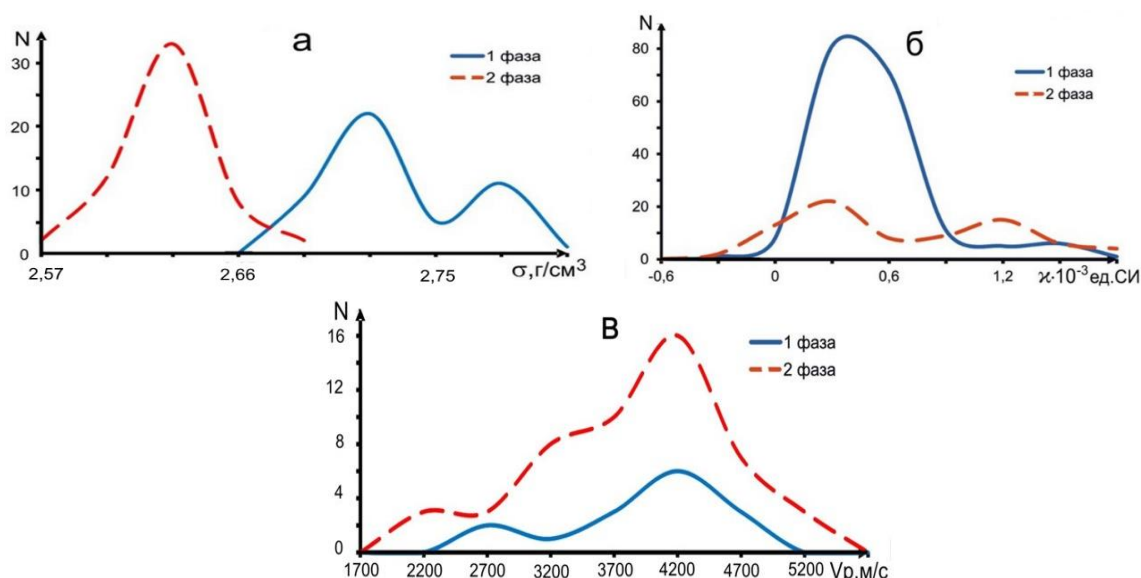
Вторая группа характеризуется средним значением плотности  $2,72 \text{ г/см}^3$  и в свою очередь подразделяется на две подгруппы более низкого порядка, которым присущи значения плотности  $2,70$  и  $2,76 \text{ г/см}^3$ . Данной петроплотностной группе отвечают гранитоиды первой фазы внедрения, петрологически относимые к гранодиоритам.

Таблица 1

### Физические свойства гранитоидов Даховского кристаллического массива

Наименование породы	Плотность $\sigma$ , $\text{г/см}^3$		Скорость продольных волн $V_p$ , м/с		Магнитная восприимчивость $\chi \cdot 10^{-3}$ ед. СИ		Удельное сопротивление $\rho$ , Ом·м	
	min max	среднее	min max	среднее	min max	среднее	min max	среднее
Гранитоиды 1 фазы	$\frac{2,67}{2,78}$	2,72	$\frac{2212}{5208}$	4300	$\frac{-0,507}{1,581}$	0,271	$\frac{98,38}{591,25}$	363,5
Гранитоиды 2 фазы	$\frac{2,57}{2,67}$	2,61	$\frac{2158}{5545}$	4342	$\frac{-0,430}{1,743}$	0,454	$\frac{71,14}{489,72}$	248,2

Примечание: данные об удельном электрическом сопротивлении пород предоставлены В.Н. Коробом



**Рис. 2. Вариационные кривые петрофизических параметров гранитоидов ДКМ: а – плотность; б - магнитная восприимчивость; в - скорость продольных волн**

Распределение магнитной восприимчивости носит менее сложный характер: выделяется крутой пик, характерный для большей части выборки. Данный экстремум свидетельствует о принадлежности к гранитоидам первой фазы генерации со средним значением магнитной восприимчивости  $0,271 \cdot 10^{-3}$  ед. СИ. Максимальное число определений сосредоточено в пределах от  $0$  до  $0,9 \cdot 10^{-3}$  ед. СИ (рис. 2б).

Вариационная кривая с двумя экстремумами иллюстрирует распределение магнитной восприимчивости в гранитоидах второй фазы внедрения. Их магнитная восприимчивость носит отчетливо выраженный бимодальный характер, что позволяет выделить в рамках этой группы пород две подгруппы: первую со средней  $0,217 \cdot 10^{-3}$  ед. СИ и вторую  $1,117 \cdot 10^{-3}$  ед. СИ.

Средняя скорость продольных волн для гранитоидов второй фазы составляет  $4342 \text{ м/с}$ , что идентично гранитоидам первой фазы внедрения. Отмечается незначи-

тельная левая асимметрия вариационной кривой скорости (рис. 2в), что свидетельствует о возможном влиянии на этот параметр наложенных гипергенных процессов.

Сведения об удельном электрическом сопротивлении гранитоидов (таблица 1) предоставлены В.Н. Коробом, в обобщенном виде они приведены в работе [9]. Этот параметр определен для ограниченного количества образцов. Тем не менее, имеющиеся данные позволяют предположить дифференциацию пород первой и второй фаз внедрения - различие в средних значениях удельного сопротивления составляет более 30%.

На основе совокупности результатов изучения физических свойств гранитоидов Даховского кристаллического массива составлена его петрофизическая модель (рис. 3). Из нее следует, что различные их типы достаточно четко дифференцируются по петрофизическим параметрам. Предложенная модель может служить основой для применения геофизических методов при глубинных исследованиях, геологическом картировании и поисках полезных ископаемых.

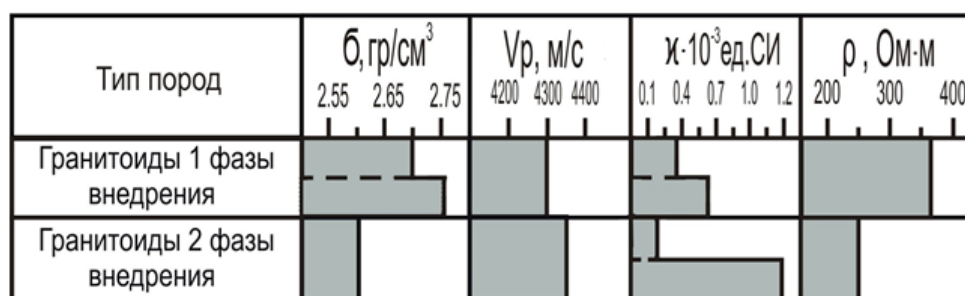


Рис. 3. Петрофизическая модель гранитоидов Даховского кристаллического массива

Автор считает приятным долгом поблагодарить научного руководителя доцента кафедры геофизики ВГУ В.И. Жаворонкина за постановку задачи и помощь в ее решении, а также профессора В.М. Ненахова и доцента А.В. Жабина за многочисленные консультации и предоставленный каменный материал.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гамкрелидзе И.П., Шенгелиа Д.М. Докембрийско-палеозойский региональный метаморфизм, гранитоидный магматизм и геодинамика Кавказа. – М: Научный мир, 2004. – 464с.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Издание второе. Серия Кавказская. Карта дочетвертичных образований. Лист L-37-XXXV (Майкоп) / С.Г. Корсаков, Е.В. Белуженко, И.Н. Семенуца, 2004.
3. Жаворонкин В.И. Кулешов А.В. Петрофизический облик золоторудного проявления Милоградское (Приморье) // XVIII Международная конференция "Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле". – М.: ИИЦ ФГБУ ИФЗ РАН, 2017. - С. 101-104.
4. Жаворонкин В.И., Ненахов В.М., Короб В.Н. Физические свойства и петрологические особенности серпентинитов Даховского массива (Западный Кавказ) // XX Международная конференция "Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле". Материалы конференции. – М.: ИГЕМ РАН, 2019. – С. 104-107.
5. Короб В.Н., Кузнецова Ю.В., Ляшенко Н.В. Петрофизические свойства магматических пород Даховского кристаллического массива // Иновационные

- методики геофизических исследований. – Воронеж: Научная книга, 2018. – С. 50–54.
6. Корсаков С.Г., Семенуха И.Н., Белуженко Е.В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Издание второе. Серия Кавказская. Лист L-37-XXXV (Майкоп). Объяснительная записка. – М.: МФ ВСЕГЕИ, 2013. – 308 с.
  7. Ненахов В.М., Жабин А.В., Никитин А.В., Бондаренко С.В. Внутреннее строение тектонической зоны северного обрамления Даховского кристаллического массива (Западный Кавказ) // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. Геология. – 2019. – № 1. – С. 5–14.
  8. Попов Ю.В. Положение магматических комплексов Даховской горст-антиклинали в эволюции магматизма зоны Передового хребта Большого Кавказа // Актуальные проблемы региональной геологии, литологии и минерагении. – Ростов-на-Дону, 2005. – С. 131–141.
  9. Сомин М.Л., Левченков О.А., Котов А.Б. и др. Палеозойский возраст высокобарических метаморфических пород Даховского выступа (Северо-Западный Кавказ): результаты U-Pb - геохронологических исследований // Докл. РАН. - 2007. - Т. 416, № 3. - С. 360-363.
  10. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых. Справочник геофизика / Под ред. Н.Б. Дортман. – М.: Недра, 1984. – 455 с.
  11. Adamia SH., Zakariadze G., Chkhotua T. et al. Geology of the Caucasus: A Review // Turkish Journal of Earth Sciences. - 2011. - Vol. 20. - Pp. 489–544.

## **PETROPHYSICAL PARAMETERS OF GRANITOIDS OF THE DAKHOVSKY CRYSTALLINE MASSIVE (NORTHWESTERN CAUCASUS)**

*Vitaly V. Ilin*  
*Voronezh State University, Voronezh*  
*vitaliy.ilin.2000@bk.ru*

**Summary.** The petrophysical characteristics of different petrological groups of granitoids of the Dakhovsky crystalline massif have been studied. Based on the studies carried out, a petrophysical model of granitoids of two generation phases has been compiled.

**Key words:** Dakhovsky crystalline massif, granitoids, magnetic susceptibility, density, longitudinal wave velocity, petrophysical model.

УДК550.836

**ЭКСКЛЮЗИВНАЯ КАРТА ТЕПЛОВОГО ПОТОКА  
ЗАПАДНЫХ РАЙОНОВ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ НА ФОНЕ  
НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ, МЕЗОЗОЙСКО-КАЙНОЗОЙСКИХ  
ТЕКТОНИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ И СИСТЕМЫ «КРУПНЫХ»  
РАЗЛОМОВ ЮГО-ВОСТОКА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

*Крутенко Даниил Сергеевич  
НИ ТПУ, г. Томск  
dskrutenko@gmail.com*

**Аннотация.** В данной работе проведен качественный сопоставительный анализ распределения плотности глубинного теплового потока, нефтегазоносности, тектонических элементов осадочного чехла и локализации разрывных нарушений 2 и 3 класса в западной части Томской области. Отмечена корреляция аномалий теплового потока и размещения месторождений УВ, структур мезозойско-кайнозойской тектоники. Установлено, что корреляция между зонами повышенного теплового потока и дизъюнктивными нарушениями отсутствует.

**Ключевые слова:** тепловой поток, нефтегазоносность, тектонические элементы, дизъюнктивные нарушения, корреляция, Томская область

**Введение.**

Существуют различные мнения о влиянии дизъюнктивной тектоники на неоднородность теплового поля. Так одни исследователи считают, что наличие разрывных нарушений приводит к повышению теплового потока, другие – что значимого изменения геотемпературного поля вблизи глубинных разломов не происходит, поскольку время угасания температурной аномалии исчисляется первыми миллионами лет. Поэтому глубинные разломы древнего возраста заложения не сопровождаются геотемпературными аномалиями [6].

Для того, чтобы проанализировать влияние разрывных нарушений на изменение теплового потока необходимо выполнить построение карты плотности глубинного теплового потока, что было сделано автором ранее [1], и совместить ее с наиболее достоверной картой разрывных нарушений для данной территории [5].

**Характеристика территории исследований.**

Территория исследования включает западную часть Томской области, в которой сосредоточено большинство месторождений углеводородов (УВ) региона. По отложениям платформенного чехла исследуемый район находится в зоне развития четырех структур первого порядка: Нюрольской и Усть-Тымской мегавпадин, Средневасюганского мегавала и Парабельского мегавыступа. Восточная граница территории исследования совпадает с восточной границей Усть-Тымской мегавпадины и Бакчарской мезовпадины.

Баженовская свита является источником формирования залежей УВ в ловушках верхнеюрского и мелового нефтегазоносных комплексов (НГК) по всей территории исследования. Для Нюрольской и Усть-Тымской мегавпадин, вместе с тем, характерна нефтегенерирующая тогурская свита с рассеянным органическим веществом (РОВ) гумусово-сапропелевого типа, служащая материнской толщей для нижнеюрского и доюрского НГК [4].

### О методике исследования.

Автором была дополнена карта теплового потока Томской области, которая была построена ранее [1] (рис. 1). Для построения карты использовались расчетные значения плотности глубинного теплового потока в 204 поисково-разведочных, опорных и параметрических скважинах на территории исследования. Все значения теплового потока получены методом палеотемпературного моделирования [3].

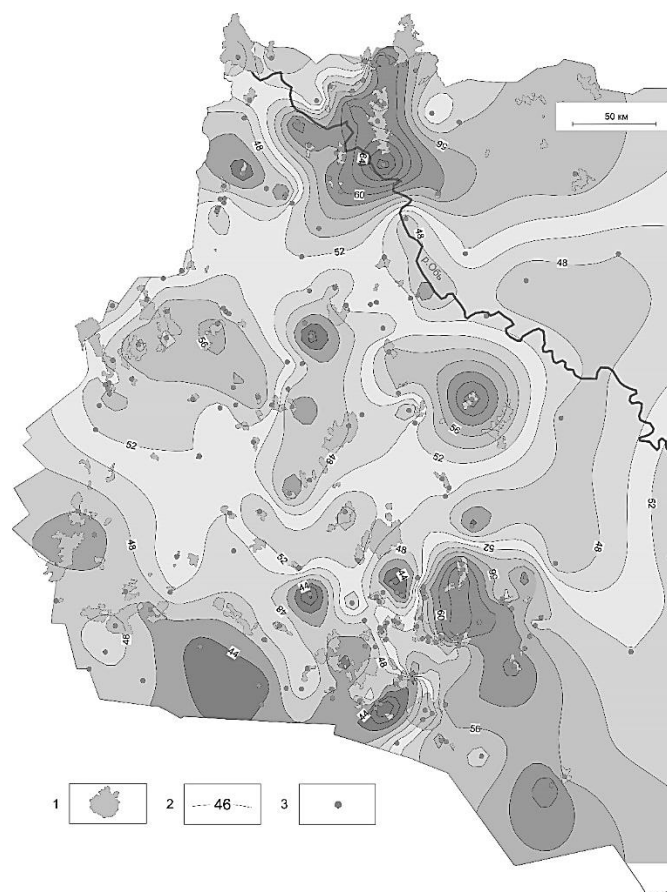


Рис. 1 – Схематическая карта плотности теплового потока западной части Томской области: 1 – месторождения УВ; 2 – изолинии теплового потока, мВт/м<sup>2</sup>; 3 – скважина палеотемпературного моделирования.

### Обсуждение результатов.

**Тепловой поток и нефтегазоносность.** На карте теплового потока (рис. 1) наблюдаются следующие аномальные особенности: «положительная аномалия», «отрицательная аномалия», «градиентная зона». На карте видим 4-е ярко-выраженные положительные аномалии теплового потока. В северной части карты крупная положительная аномалия сформировалась вокруг Трайгородско-Кондаковского месторождения. С востока центральной части карты расположена положительная аномалия вокруг месторождения Снежное, а с запада центральной части карты – положительная аномалия связана с месторождениями Ломовое, Озерное и Катильгинское. В юго-восточной части карты в обрамлении положительной аномалии расположены месторождения Рыбальное, Пинджинское и Мирное. Вместе с тем, на карте выделяются 7 относительно небольших по занимаемой территории отрицательных аномалий.





Рис. 2 – Тепловой поток из подошвы осадочного чехла на фрагменте тектонической карты по сейсмическому горизонту Па (подошва баженовской свиты) на основе [5] с добавлениями: I – положительная структура I порядка: – Нижневартовский свод, II – Каймысовский свод, III – Александровский свод, IV – Средневасюганский мегавал, V – Пыль-Караминский мегавал, VI – Парабельский мегавыступ; 2 – отрицательная структура I порядка: VI I – Нюрольская мегавпадина, VI II – Усть-Тымская мегавпадина; 3 – промежуточная структура I порядка: IX – Межовско-Барабинская мегамоноклиналь, X – Северо-Парабельская мегамоноклиналь; 4 – положительная структура II порядка: 1 – Нововасюганский мезовал, 2 – Трайгородский мезовал, 3 – Средневасюганский мезовал, 4 – Лавровский мезовыступ, 5 – Пудинское мезоподняtie, 6 – Горелоярское мезоподняtie, 7 – Восточно-Чижапское мезоподняtie, 8 – Колпашевский мезовал, 9 – Калгачский мезовыступ; 5 – отрицательная структура II порядка: 10 – Колтогорский мезопрогиб, 11 – Центральнюрольская мезовпадина, 12 – Южно-Нюрольская мезовпадина, 13 – Косетский мезопрогиб, 14 – Самлатский мезопрогиб, 15 – Неготский мезопрогиб, 16 – Пыжинский мезопрогиб, 17 – Бакчарская мезовпадина; 6 – мезоседловины: 18 – Ледянская, 19 – Караминская, 20 – Черемшанская, 21 – Шингинская, 22 – Чузикско-Чижапская; 7 – месторождения углеводородов: а) в доюрском и/или юрском НГК, б) в доюрском и/или юрском и меловом НГК; 8 – тепловой поток из

основания осадочного чехла; 9 – разломы: а) 2 класса, б) 3 класса; 10 – административная граница Томской области

**Тепловой поток и тектонические структуры осадочного чехла.** Считается [2], что в пределах положительных структур наблюдается повышение величин плотности теплового потока на 5-20%, по сравнению с зонами отрицательных структур, тем большее, чем больше размеры этих структур. При совместном анализе распределения плотности теплового потока и структурных элементов осадочного чехла отчетливо прослеживается их корреляция (рис. 2). С данной особенностью не коррелирует только Средневасюганский мегавал, характеризующийся отрицательной аномалией. Также нельзя оценивать корреляцию характера аномалии теплового потока с локализацией Нижневартовского свода и Парабельского мегавыступа, потому что, первый входит в границу Томской области частично, а второй охарактеризован слишком маленьким количеством скважин, по которым посчитаны значения теплового потока.

**Тепловой поток и система разломов.** Изучив расположение дизъюнктивных нарушений 2 и 3 классов на территории исследования и сопоставив его с распределением плотности глубинного теплового потока, можно однозначно выделить лишь одну зону положительной корреляции – район Александровского свода, где наблюдается самая высокоамплитудная аномалия теплового потока. В остальных районах карты визуальная корреляция повышенных значений теплового потока с локализацией дизъюнктивных нарушений отчетливо не прослеживается.

Полученный результат может быть вызван несколькими причинами. Во-первых, отсутствие корреляции может являться подтверждением того, что глубинные разломы древнего возраста заложения не сопровождаются аномалиями современного теплового потока. Во-вторых, результат может свидетельствовать о неполной изученности пространства разрывных нарушений на исследуемой территории.

#### **Заключение.**

На основе 204-х определений в скважинах глубинного теплового потока построена карта теплового потока западной части Томской области. Полученное распределение плотности глубинного теплового потока явно коррелирует с тектоническими элементами мезозойско-кайнозойских платформенных отложений. Вместе с тем по построенной карте не подтверждается тот факт, что дизъюнктивные нарушения контролируются зонами повышенного теплового потока. Качественный анализ полученного материала показывает, что корреляция между плотностью глубинного теплового потока и расположением разрывных нарушений 2 и 3 класса отсутствует.

*Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю профессору Исаеву Валерию Ивановичу.*

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Галиева М.Ф., Крутенко Д.С. Карта теплового потока и нефтегазоносность Томской области // XXI Уральская молодежная научная школа по геофизике. Сборник научных материалов. – Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2020. – С. 41-45.
2. Ермаков В.И., Скоробогатов В.А. Тепловое поле и нефтегазоносность молодых плит СССР. – М.: Недра, 1986. – 222 с.
3. Исаев В.И., Лобова Г.А., Мазуров А.К., Старостенко В.И., Фомин А.Н. Районирование мегавпадин юго-востока Западной Сибири по плотности ресурсов сланцевой нефти тогурской и баженовской материнских свит // Геология нефти и газа. – 2018. – №1. – С. 15–39.



4. Исаев В.И., Лобова Г.А., Старостенко В.И., Фомин А.Н. Схемы районирования Усть-Тымской мегавпадины по плотности ресурсов сланцевой нефти тогурской и баженовской материнских свит // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2015. – Т.326. – №12. – С. 6-19.
5. Конторович В.А. Тектоника и нефтегазоносность мезозойско-кайнозойских отложений юго-восточных районов Западной Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2002. – 253 с.
6. Курчиков А.Р., Ставицкий Б.П. Геотермия нефтегазоносных областей Западной Сибири. – М.: Недра, 1987. – 134 с.

**EXCLUSIVE DEEP HEAT FLOW MAP OF THE WESTERN  
PART OF TOMSK REGION WITH OIL AND GAS POTENTIAL,  
MEZOZOIC-CENOZOIC TECTONIC STRUCTURES AND SYSTEM OF  
«LARGE» FAULTS OF THE SOUTH-EAST OF WESTERN SIBERIA**

*Daniil S. Krutenko*  
*TPU, Tomsk*  
*dskrutenko@gmail.com*

**Summary.** This paper performs qualitative comparative analysis of deep heat flow distribution, oil and gas potential, tectonic structures of sedimentary cover and 2 and 3 classes faults localization in the western part of Tomsk Region. Correlation relationships of deep heat flow anomalies and location of hydrocarbon fields and Mezozoic-Cenozoic tectonic structures were pointed. It was stated that correlation between higher deep heat flow zones and disjunctive faults is absent.

**Key words:** deep heat flow, oil and gas potential, tectonic structures, faults, correlation, Tomsk Region

УДК 550.370

## ВЫДЕЛЕНИЕ ВОДОНАСЫЩЕННОЙ ЗОНЫ НА ВЕРХНЕКАМСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ СОЛЕЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТРЕХМЕРНОЙ ИНВЕРСИИ ДАННЫХ ИМПУЛЬСНОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ

<sup>1</sup>Лазурченко Антон Витальевич, <sup>2</sup>Шкиря Михаил Сергеевич,

<sup>3</sup>Белова Анастасия Юрьевна

ИРНТУ, г. Иркутск

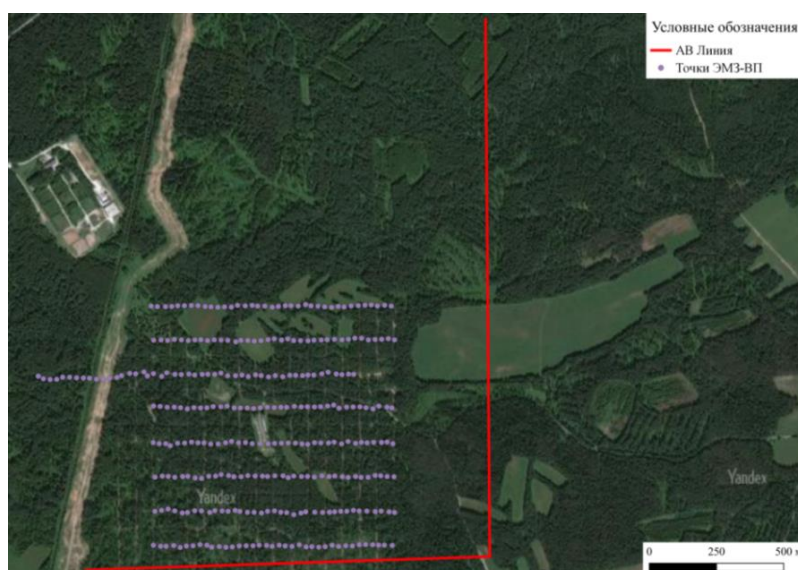
<sup>1</sup>lozurchenko@gmail.com, <sup>2</sup>shkirya.ms@gmail.com, <sup>3</sup>bay@gelios-geo.com

**Аннотация.** Технология электромагнитного зондирования и вызванной поляризации тестировалась на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей для оценки состояния солевых и надсолевых пород. Использовалась установка ортогональная и соосная для повышения чувствительности. По результатам трехмерного моделирования локализована низкоомная зона, насыщенная рассолами.

**Ключевые слова:** электромагнитное зондирование, импульсная электроразведка, водозащитная толща, трехмерное моделирование.

### Введение

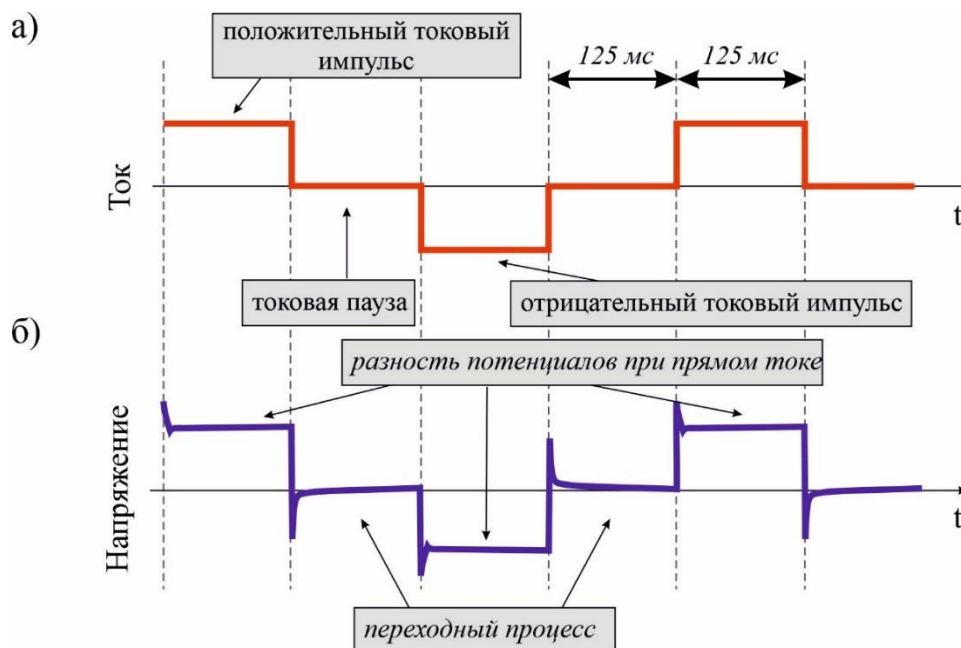
Ситуация на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей (ВКМС) имеет повышенную техногенную опасность и несет урон для народного хозяйства. Происходили неоднократные аварии, связанные с поступлением вод в шахту. Применение технологии электромагнитного зондирования и вызванной поляризации (ЭМЗ-ВП) позволяет уточнить геологическое строение разреза и выделить потенциально опасные низкоомные зоны в водозащитной толще. Всего было записано 599 точек зондирования, с общей протяженностью профилей 7500 м и площадью 0.9 км<sup>2</sup>. Регистрация переходных процессов, осуществлялась аппаратно-программным комплексом «МАРС» [1]. Шаг между профилями – 128 м, между пикетами – 25 м. Использование ортогонального генераторного диполя в измерительной установке дополнительно к соосной позволило достичь более устойчивого решения трехмерной обратной задачи (Рис. 1).



**Рис. 1. Схема участка работ**

### Теория и технология работ методом ЭМЗ-ВП

В методе ЭМЗ-ВП разрез возбуждается последовательностью прямоугольных разнополярных импульсов с помощью генераторного диполя АВ – горизонтальной электрической линией (ГЭЛ). На приемных электродах заземленной линии регистрируется полная последовательность импульсов, что позволяет рассчитать переходный процесс на заданных временных задержках, нормированных на разность потенциалов, взятую перед выключением токового импульса (Рис. 2) [6]. Данный подход существенно повышает информативность традиционных методов постоянного тока и дает возможность более детально изучать литологическое строение разреза.



**Рис. 2.** Гальванический способ возбуждения нестационарных электромагнитных полей: а) график зависимости тока от времени, отображающий форму переходных процессов; б) график зависимости напряжения от времени, отображающий форму переходных процессов

### 1D и 3D инверсия

Процессы вызванной поляризации, связанные с обратной задачей в рамках одномерной горизонтально-слоистой модели, вычисляются и применяются в программном комплексе Mars1D [5] путем решения формулы Коула-Коула [2]. Эта формула используется для комплексного представления удельного электрического сопротивления (УЭС) [3]:

$$\rho(\omega) = \rho_0 \left[ 1 - \eta_0 \left( 1 - \frac{1}{1 + (i\omega\tau)^c} \right) \right], \quad (1)$$

где  $\rho$  - удельное электрическое сопротивление;  $\rho_0$  - удельное сопротивление постоянного тока;  $i$  - мнимая единица;  $\omega$  - круговая частота;  $\eta$  - коэффициент поляризуемости структуры; ( $0 \leq \eta \leq 1$ );  $\tau$  - постоянная времени поляризационного процесса (время релаксации);  $c$  - экспонента, определяющая ширину экспоненциального спектра переходного отклика вызванной поляризации ( $0 \leq c \leq 1$ ).

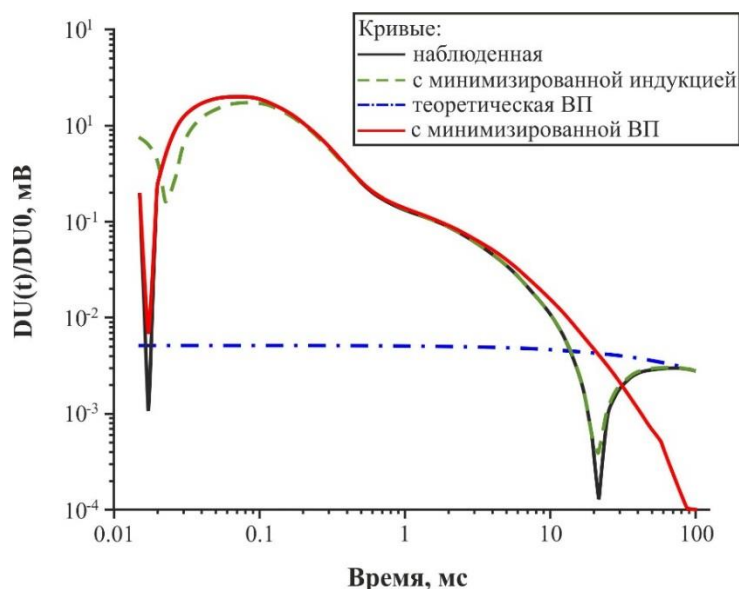
Формула Комарова:

$$\beta(t) = 1 - \frac{1}{\ln(B^2)} \ln \left( \frac{1 + \frac{Bt}{T_0}}{1 + \frac{t}{BT_0}} \right), \quad (2)$$

где  $\beta$  - зависимость затухания вызванной поляризации (ВП) от времени;  $T_0$  - время затухания;  $t$  - время;  $B$  - коэффициент затухания ( $B > 1$ ).

Подход Комарова в формуле (2) был получен с помощью лабораторных экспериментов. Он является аналогом формулы Коула-Коула (1) во временной области и действителен для показателя степени  $s = 0,5$ .

Для выделения эффектов вызванной поляризации был выполнен ряд процедур (Рис. 2): 1) Рассчитана горизонтально-слоистая модель без учета частотной дисперсии среды для всей площади работ; 2) Из наблюдаемых кривых были вычтены теоретические кривые, полученные на предыдущем шаге.



**Рис. 3. Изменение кривых зондирования при процессе минимизации эффектов ВП**

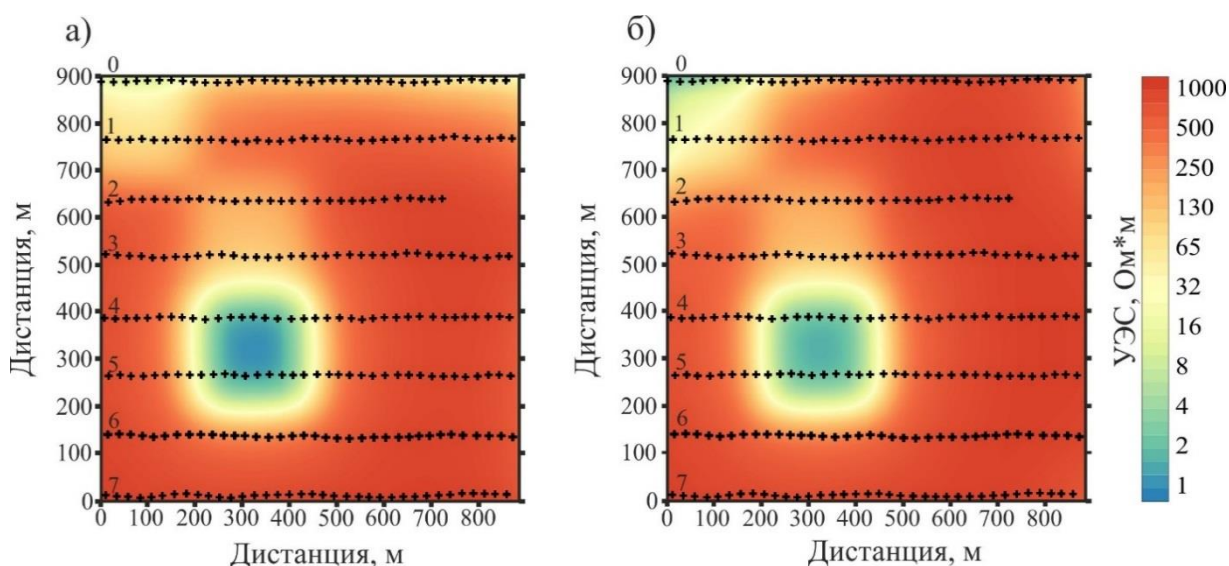
Модель электромагнитного сопротивления и измеренные данные для решения прямой задачи в 3D были импортированы в программный комплекс G13D и ITEM-IP [7], где выполнялись все необходимые вычисления.

### Результаты работ

Геология и стратиграфия Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей достаточно сложна. Эвапоритовые отложения имеют форму линзы площадью около 8,2 тыс. км<sup>2</sup>, которая прослеживается в меридиональном направлении на протяжении 206 км, а в широтном - до 56 км. Эта последовательность достигает общей толщины до 550 метров. Слой отложений подразделяется (снизу-вверх) на каменную соль, богатую калийными солями интервальную зону, состоящую из сильвинитовой зоны и карналлитовой зоны, покрывающую слой каменной соли и солонцевато-мергелевый пласт. Нижний участок соляно-мергелевой сукцессии также содержит слои каменной соли, и этот блок называется «пластами перехода». Над соляно-мергелевой толщей расположен некластиково-карбонатный комплекс, сложенный разнородными породами и несформированно перекрытый четвертичными отложениями [4].

Инверсия данных электромагнитного зондирования, зарегистрированных на ВКМС, была первоначально выполнена в одномерном виде для оценки чувствительности технологии ЭМЗ-ВП к присутствию низкоомных пород в соляной толще. Инверсия данных в рамках одномерной горизонтально-слоистой модели выполнялась в программном комплексе «Mars1D». На первом этапе массовой обработки данных ЭМЗ-ВП выполнен подбор УЭС с помощью применения различных алгоритмов минимизации функционала в многомерном признаковом пространстве, при этом поляризационные параметры были закреплены и не подбирались. Функционал невязки рассчитывался среднеквадратическим и робастным способами.

Следующим этапом было проведено 3D моделирование и созданы более подробные модели для обеспечения лучшей сходимости данных и повышения разрешающей способности данных по глубине. Трехмерная инверсия для объекта поиска была выполнена на глубине 180-250 метров в пластах, включающих целевой объект. Слои были разбиты на блоки размером 250 x 250 метров. Мощность блоков соответствовала ожидаемой мощности различных геологических пластов, взятой из априорной информации. Ряд блоков вокруг измерительной установки служит для количественной оценки и компенсации эффектов искажения окружающей среды. В программе ITEM-IP [8] была реализована одновременная инверсия для соосной и ортогональной установок с учетом формы спада фронта импульса тока в каждом из местоположений источника на рисунке 4 представлен крайний результат трехмерной инверсии данных ЭМЗ-ВП. По результатам инверсии была выделена низкоомная зона, заполненная перенасыщенным рассолом. Эта аномалия УЭС связана с относительно высокой водонасыщенностью пород, т. е. представляет собой зону повышенной пористости.



**Рис. 4. Сравнение результатов трехмерной инверсии на глубине 110-130 метров для а) соосной и б) ортогональной установок.**

### Выводы

1. Метод ЭМЗ-ВП был успешно апробирован для поиска зон, повышенной геологической опасности, на месторождении по добыче калийно-магниевой соли.
2. В результате трехмерной инверсии данных площадной съемки для соосной и ортогональной установки были получены устойчивые решения прямых и обратных задач.
3. На основании результатов инверсии удалось определить горизонтально-слоистую модель залегания пород на площади работ. Результаты 3D-инверсии позволили локализовать зону низкого УЭС, которая интерпретируется как насыщенная солевым рассолом пористая зона.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Belova, A., Y. Davydenko, A. Zhukov, D. Bogdanovich, S. Bukhalov, M. Shkirya and K. Abornev, 2019, Assessment of water-protective sequence at the VerkhneKamsky deposit of salts from 3D inversion results of EMS-IP. Near Surface Geoscience conference and exhibition, extended abstract, The Hague, session We\_25th\_A05, 5p.

2. Cole K.S., Cole R.H. Dispersion and adsorption in dielectrics. I. Alternating current characteristics, *J. Chem. Phys.*, 1941, vol. 9 (pg. 341-351)
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, vol. 43 (pg. 588-609)
4. Белова А.Ю., Шкиря М.С., Давыденко Ю.А., Башкеев А.С. Некоторые методические аспекты применения технологии электромагнитного зондирования и вызванной поляризации на верхнекамском месторождении Калийно-магниевых солей. В книге: *Инженерная и рудная геофизика 2020. 16-я научно-практическая конференция совместно с семинаром «Инженерная и рудная геология 2020»*. 2020. С. 108.
5. Давыденко Ю.А., Давыденко А.Ю., Пестерев И.Ю., Яковлев С.В., Давыденко М.А., Комягин А.В., Шимьянский 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 аппаратнопрограммного 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».
6. Давыденко Ю.А., Попков П.А., Новопашина А.В. Перспективы использования индукционной составляющей переходного процесса в традиционных методах постоянного тока // *Геофизические исследования*. 2015. Т. 16, № 4. С. 73–84.
7. Персова М.Г., Соловейчик Ю.Г., Тригубович Г.М., Токарева М.Г. «Методы и алгоритмы восстановления трехмерной структуры проводимости и поляризуемости среды по данным электромагнитных зондирований на основе конечноэлементного 3d-моделирования», *Изв. Физика Земли*. 49 (2013) 329–343.
8. Персова М.Г., Соловейчик Ю.Г., Вагин Д.В., Домников П.А., Токарева М.Г., Тригубович Г.М. «О подходе к решению прямых и обратных трехмерных задач вызванной поляризации», *ГеоБайкал 2012 - 2-я международная научно-практическая конференция*.

## ALLOCATION OF WATER-SATURATED LAYER AT VERKHNKAMSKY SALT DEPOSIT BY RESULTS OF THREE-DIMENSIONAL INVERSION OF PULSE ELECTRIC EXPLORATION DATA

<sup>1</sup>*Anton V. Lazurchenko*, <sup>2</sup>*Mikhail S. Shkirya*, <sup>3</sup>*Anastasia Yu. Belova*  
*INRTU, Irkutsk*

<sup>1</sup>*lozurchenko@gmail.com*, <sup>2</sup>*shkirya.ms@gmail.com*, <sup>3</sup>*bay@gelios-geo.com*

**Summary.** The technology of electromagnetic sounding and induced polarization was tested at the Verkhnekamsky potassium-magnesium salt deposit to assess the state of salt and post-salt rocks. An orthogonal and co-axial setup was used to increase the sensitivity. Based on the results of three-dimensional modeling, a low-resistance zone saturated with brines is localized.

**Key words:** electromagnetic sounding, pulsed electrical prospecting, water-saturated layer, three-dimensional modeling.



УДК 550.834.05

## ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ШЕЛЬФА ОХОТСКОГО МОРЯ

*Лисковский Павел Николаевич*  
*ИМГиГ ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск*  
*pashalis@inbox.ru*

**Аннотация:** Статья посвящена геолого-геофизической характеристике приповерхностных газовых зон Северо-Восточного шельфа о. Сахалин. Приводится изученность месторождений методами сейсморазведки высокого разрешения - ВРС и сейсмоакустики. Обозначены методики выделения приповерхностного газа, выполнена общая оценка интерпретации и классификация газовых зон, с выделением разрывных нарушений и зон ослабления.

**Ключевые слова:** Шельф Охотского моря; газоконденсатное месторождение; сейсморазведка высокого разрешения; сейсмический горизонт.

### **Изученность северо-восточного шельфа Охотского моря.**

Во второй половине XIX столетия, были получены самые первые сведения о геологических особенностях территории острова Сахалин в целом и инженерно-геологических условий ряда его отдельных частей.

Систематические геологические, гидрогеологические и геоморфологические исследования северных районов острова начали проводиться только после 1940 г. Именно в это время были выяснены основные закономерности геологического строения верхней части разреза.

В 1948 году крупнейшие геологические организаций страны проводили планомерную Государственную геологическую съемку и инженерно-геологические изыскания для обоснования крупных строительных объектов.

С 1950 по 1960 годы был периодом появления материалов фундаментальной и достаточно информативной теоретической основы для проведения региональных инженерно-геологических исследований.

Таким образом, накопленные к концу XX века материалы по геологическому, гидрогеологическому и геоморфологическому строению, специфики распространения инженерно-геологических условий острова Сахалин позволили проектным и изыскательным организациям подходить к решению вопросов различных стадий проектирования сооружений и последующего мониторинга со знанием региональной инженерно-геологической обстановки.

Достаточно детально геологическое, геоморфологическое и инженерно-геологическое строение северо-восточного шельфа о.Сахалин отражено в научных изданиях [10, 11] и крупнейших тематических монографиях, в частности, в «Геологии СССР», т. 33 (1970 г.) и «Инженерная геология СССР», т. 4 (1977 г.).

В результате проведенных в период с 1990 по 1995 гг., инженерно-геологических изысканий уточнилось геологическое строение на структурах северо-восточного шельфа Охотского моря.

Вплотную, работы по изучению верхней части геологического разреза проводились, начиная с 2008 г. Был выполнен комплекс морских инженерно-геологических работ на двух площадках с целью подготовки их для постановки полупогружной буровой установки (ППБУ) на точки бурения 2-х скважин. Комплекс

работ включал батиметрию, сейсмоакустическое профилирование, гидролокацию бокового обзора, отбор проб донных грунтов и бурение инженерно-геологической скважины. Работы были выполнены на площадках 3х3 км по сети ортогональных профилей [3, 5]. По результатам работ были выявлены зоны скоплений газовых эманаций, представляющих определённую опасность при проводке поисковых скважин [1, 7]. Даны рекомендации о дальнейшей направленности изучения площади в этих аспектах.

С 2015 года зоны с повышенным содержанием газовых эманаций стали привязываться к структурным поверхностям, построенным по выделенным для каждого конкретного случая условным сейсмическим горизонтам [4, 9]. Это позволило представить полученный материал в более наглядной форме, не перегружая «карту опасностей» разноглубинными аномалиями.

### **Характеристика, методы исследований, критерии ранжирования и способ определения «приповерхностного газа».**

Результаты многолетних геофизических и инженерно-геологических исследований в районе северо-восточного шельфа Охотского моря свидетельствуют о практически повсеместном распространении газонасыщенных осадков в придонной части осадочного разреза [6, 8]. Неглубокие приповерхностные залежи свободного газа представляют высокую опасность при проведении буровых работ. Таким образом, освоение морских месторождений должно сопровождаться детальными комплексными исследованиями верхней части разрезов, включающих отложения мощностью до нескольких сотен метров. При случайном вскрытии таких залежей в процессе бурения происходит неконтролируемый газовый выброс.

Термин "приповерхностный газ" ("shallow gas") до сих пор трактуется неоднозначно. В зарубежной литературе понятие «приповерхностный газ» - это свободный газ в нелигифицированных отложениях [12, 13, 14, 15]. В тоже время к типу приповерхностных скоплений газа часто относят залежи свободного газа, залегающие на глубине до 1000 м ниже морского дна.

Одной из причин формирования неглубоких залежей свободного газа может служить субвертикальная миграция газа из крупного месторождения. При наличии глинистых флюидоупоров достаточной мощности, играющих роль сдерживающего фактора для дальнейшего продвижения газа вверх, залежи газа могут локализоваться на разных гипсометрических уровнях вблизи донной поверхности.

Площадное и глубинное расположение таких скоплений газа (или, т.н, газовых карманов) в настоящее время прогнозируются по результатам интерпретации данных сейсмической съемки высокого разрешения - ВРС, сверх-ультравысокоразрешающей сейсморазведкой, сейсмоакустикой, акустикой и стандартных методов сейсморазведки, проводимых на этапе инженерно-геологических изысканий в пределах площадок, выбранных для бурения скважин [2].

Основными критериями ранжирования выявленных аномалий являются:

— высокий риск – аномалия, обладающая всеми сейсмическими характеристиками аномальной зоны неглубоко залегающего газа, включающая наличие признаков газа в ближайших скважинах или наличие в районе бурения ранее идентифицированного регионального горизонта неглубоко залегающего газа (например, связанного с руслами палеорек);

— умеренный риск – аномалия, обладающая большинством сейсмических характеристик зоны неглубоко залегающего газа, но которая, в соответствии с интерпретацией данных, может оказаться не газовой, так как в отношении присутствия газа имеются обоснованные сомнения;



— низкий риск – аномалия, обладающая некоторыми сейсмическими характеристиками аномальной зоны неглубоко залегающего газа, но которая в соответствии с интерпретацией данных не является газовой, хотя имеются некоторые сомнения относительно интерпретации;

— пренебрежимо малый риск – либо аномалия в данном месте отсутствует, либо очевидные причины образования аномальной зоны никак не связаны с газом.

Наличие свободных газов и газогидратов дистанционно прогнозируется по наличию на временных сейсмических разрезах «ярких пятен» и сильного отражающего горизонта BSR (Bottom Simulating Reflector), соответствующего подошве газовых пропластков [1]. Однако геологическое строение реальной среды гораздо сложнее и неоднозначнее, чем в большинстве случаев прогнозируется. Бурение ряда скважин показало, что присутствие на временных разрезах BSR не является однозначным подтверждением наличия газонасыщенных пластов и наоборот: такие пропластки выявлялись в зонах, где BSR был не виден. Кроме того, часто выявление и прослеживание на временных разрезах BSR затруднено и неоднозначно. Таким образом, существующие технологии не позволяют косвенными методами получить однозначное заключение о наличии или отсутствии газа. Бурение пилотного ствола скважины является основным способом подтвердить или опровергнуть наличие газа в верхней части геологического разреза (до глубины около 1000 м от донной поверхности).

По данным 2D высокоразрешающей сейсморазведки (ВРС) над сводовой зоной центрального участка вдоль длинной оси складки выявлены 4 аномальные зоны, связанные с газом. Аномалия типа "газовая труба" - характеризуется полным затуханием сейсмического сигнала (отсутствием отражающих границ), что указывает на высокую газонасыщенность осадка (Рис. 1).

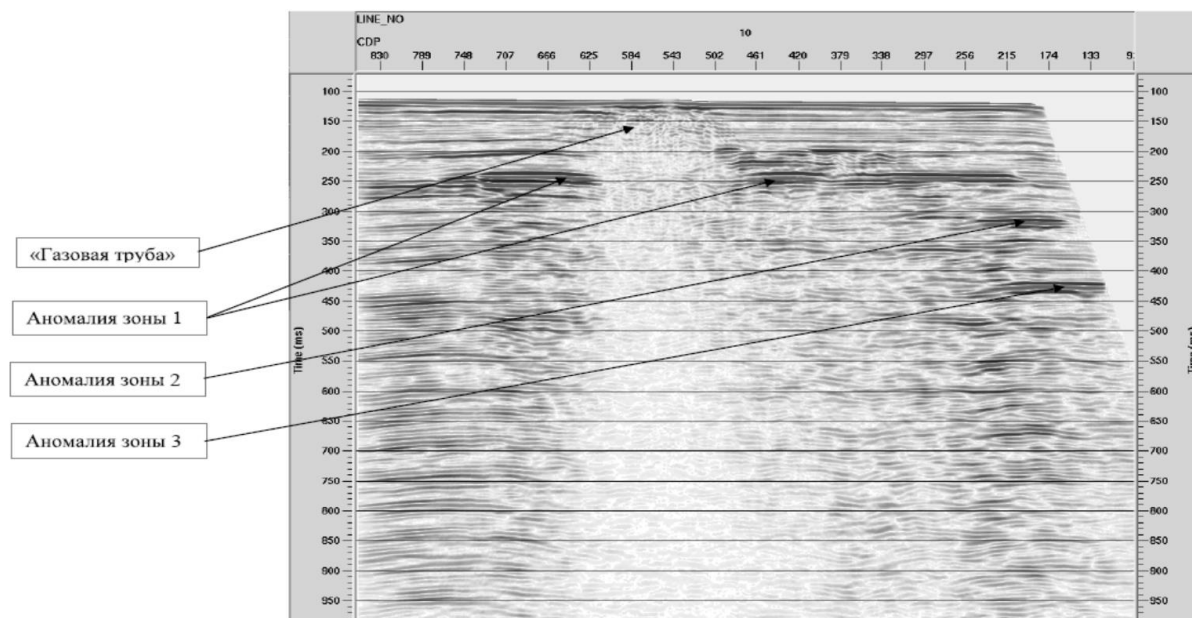


Рис. 1. «Газовая труба» и газовые карманы

Разгерметизация в ходе бурения газовых карманов может привести к прорыву газа, образованию котлованов и загазованности водной толщи (Рис.2). В дальнейшем, при подготовке к бурению эксплуатационных скважин больше внимания необходимо уделять выбору точки заложения в соответствии с данными инженерно-геологических

изысканий на наличие полей приповерхностного газа с целью избегания расположения устьев скважин в зонах распространения газовых полей.



**Рис. 2. Выброс придонного газа рядом с ПШБУ Actinia**

### **Заключение**

На основании имеющихся данных о придонных опасностях глубоководных месторождений необходимо предпринимать технические и технологические решения для осуществления качественной проводки скважин в сложной геологической обстановке. При этом повышенное внимание должно уделяться планированию операций по вскрытию потенциально газоносного разреза, подготовке персонала для действий в условиях проявления и поддержанию работоспособности всех технических средств, предназначенных для предотвращения и ликвидации негативного воздействия приповерхностных залежей свободного газа и газогидратных скоплений, представляющих высокую опасность при проведении буровых работ.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Гайнанов В.Г. «О природе «ярких пятен» на временных разрезах сейсмоакустического профилирования», университет «Дубна», МГУ.
2. Дзилна И.Л., Ульст В.Г. Методические рекомендации по инженерно-геологическому изучению нефтегазоперспективных районов шельфа. Рига, ВНИИморгео, 1983, 80 с.
3. Инструкция по морской сейсморазведке и сейсмоакустике. Геленджик, 1986.
4. Корягин В.В. (ВО ИГ и РГИ) «Интерпретация аномалий сейсмической записи с помощью интерактивного моделирования». Геология нефти и газа, №09, 1990.
5. Методическое руководство по геологической съёмке четвертичных отложений, Л., «Недра», 1987, 308с.
6. Мудрецов В.Б., Жильцов А.М. Аномальные сейсмоакустические зоны на северо-восточном шельфе о. Сахалин. В журнале «Тихоокеанская геология», Новосибирск, «Наука», Сибирское отделение №3, 1990.

7. Обработка и интерпретация материалов локации бокового обзора для определения вещественного состава поверхностных образований шельфа. Методические рекомендации. Л., «Недра», 1989, 45с.
8. Обжиров А.И. и др. Нефтегазоносность и газогидраты в Охотском море. Ж-л «Подводные исследования и робототехника», №2, 2012
9. Пейтон Ч. «Сейсмическая стратиграфия», 1989 г.
10. Пищальник В.М., Бобков А.О. «Океанографический атлас шельфовой зоны острова Сахалин», Часть 1 Т1, / Южно-Сахалинск, 2000, 173 с.
11. Assessing Geo-Hazards. Peter Aird, Drilling Consultant.
12. Shallow Gas Blowout Kill Operations. Adams, N.J., Kuhlman, L.G., Neal Adams Firefighters, Middle East Oil Show, 16-19.11.1991, Bahrain.
13. Overcoming Shallow-Gas Drilling Difficulties in the Gulf of Thaila Pornpoch Tiraputra, Pattanapong Thiravutpinyo, and Sunchai Pongorapin, SPE, PTT Exploration and Production; Bernard, Fraboulet, SPE, TOTAL Exploration and Production; and Mohammed Dooply, Walter Friedl, and Youssef Elmarsafawi, SPE, Schlumberger. IADC/SPE 87179.
14. Well Design Specificities for Shallow Gas Production of Tunu Field. S. Oumer, H. Taufiqurrachman, MP. Perruchot, F. Yunus – TOTAL E&P INDONESIE. IADC/SPE 134957.
15. Drilling Safely Offshore in Shallow Gas Areas. C.W.Sandlin SPE 15897

## **GEOLOGICAL FEATURES OF THE UPPER PART SECTION AT THE NORTHEASTERN SHELF OF THE OKHOTSK SEA**

*Pavel N. Liskovyi*  
*IMGG FEB RAS, Yuzno-Sakhalinsk*  
*pashalis@inbox.ru*

**Summary.** The article is devoted to the geological and geophysical characteristics of near-surface gas zones in the Northeast shelf of Sakhalin Island. Fields in this region are explored by using high-resolution seismic (2D HRS) and seismic acoustics. Methods of near-surface gas location are indicated, an overall assessment of the interpretation and gas zones classification with the faults and attenuation zones localization has done.

**Key words:** Sea of Okhotsk shelf, gas condensate field, high-resolution seismic survey, seismic horizon.

УДК 553.98

## ПРИМЕНЕНИЕ НИЗКОЧАСТОНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ С ЦЕЛЮ ПОИСКА И РАЗВЕДКИ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

<sup>1</sup>Лихачева Ольга Владимировна, <sup>2</sup>Кашин Глеб Юрьевич,  
<sup>3</sup>Мироньчев Вадим Геннадьевич  
ФГБОУ ВО «УдГУ», г. Ижевск

<sup>1</sup>likhachevaolga2001@gmail.com, <sup>2</sup>gleb.gurza159@yandex.ru, <sup>3</sup>fngp@udsu.ru

**Аннотация.** В данной статье рассмотрена проблема поиска и разведки очень мелких месторождений нефти на территории Удмуртии. Решить эту проблему можно путем создания принципиально нового подхода к геологоразведочным работам. Одним из таких подходов является применение технологии низкочастотной сейсморазведки для поиска, разведки и вовлечения в разработку данных месторождений.

**Ключевые слова:** Удмуртская Республика, микросейсмическая сейсморазведка, очень мелкие месторождения, низкочастотная сейсморазведка, нефть и газ.

В 90-ые годы 20 века на территории Удмуртской Республики были открыты последние крупные нефтяные месторождения, приуроченные к структурным ловушкам – наиболее легко выделяемым геологическим объектам, содержащим залежи углеводородов. Это привело к значительному снижению объемов прироста запасов нефти. С начала нулевых годов и по сей день уровень нефтедобычи значительно превосходит уровень восполнения ресурсной базы, что приводит к ее истощению.

Если данное положение дел будет сохраняться и дальше, то уже в обозримом будущем это может привести нефтяные компании Удмуртии к серьезным экономическим проблемам. Исходя из того, что экономика Удмуртской Республики в значительной мере зависит от налогов, поступающих от добычи нефти, то можно ожидать серьезную рецессию всей экономики Республики. Преодолеть данную ситуацию позволит только создание концептуально нового подхода к геологоразведочным работам.

Одним из перспективных направлений развития нефтяной отрасли Удмуртии является поиск и вовлечение в разработку очень мелких месторождений нефти, а также залежей – сателлитов уже открытых нефтяных месторождений [1].

На территории Удмуртской Республики было выявлено большое количество перспективных на нефть структур. Только в северо-восточной части Республики таких структур насчитывается около 65. Однако, при применении традиционных методов геологоразведки и разработки, освоение этих структур является нерентабельным. Причиной этого является сложность интерпретации данных 2D и 3D сейсморазведки и выбор точек для закладки поисковых и разведочных скважин при работе на малоразмерных и малоамплитудных нефтяных месторождениях.

Опоисковывание и разведка очень мелких нефтяных месторождений требует применение комплекса дорогостоящих геологических методов и большого объема буровых работ.

Наиболее серьезной проблемой вовлечения в разработку месторождений с геологическими ресурсами нефти до 1 млн. тонн, независимо от их стратиграфии, тектоники и геологического строения, является очень высокое отношение пробуренных скважин к объему извлекаемых запасов, что приводит к экономической неэффективности разработки данных месторождений. Еще одной существенной проблемой являются

затруднения, связанные с прогнозом ресурсов углеводородов, содержащихся в залежах, не вскрытого бурением месторождения.

Вследствие больших затрат, не приносящих результатов, нефтяные компании Удмуртии стали существенно сокращать геологоразведочные работы. В результате чего, в 2018 году, крупнейшая нефтяная компания Удмуртской Республики – ОАО «Удмуртнефть» и вовсе прекратила как проведение геофизических работ методом 2D и 3D сейсморазведки, так и бурение поисковых и разведочных скважин.

Решить эти проблемы геологам Удмуртии во многом может помочь применение низкочастотной сейсморазведки для прогнозирования флюидонасыщения.

Низкочастотная сейсморазведка – низкочастотная инфразвуковая разведка на нефть и газ, технология прогноза углеводородов в геологических структурах, первоочередной задачей которой является определение нефтегазоносности перспективных на нефть структур.

Использование низкочастотной сейсморазведки в комплексе со стандартными методами изучения структурного строения продуктивных толщ позволит прогнозировать нефтегазоносность территорий, сокращая финансовые и временные затраты на бурение «сухих» скважин, ускорит восполнение ресурсной базы углеводородов. Данная технология сделает возможным выявлять месторождения нефти с геологическими запасами менее 1 млн. тонн и определять на них наиболее перспективные точки для заложения на них небольшого количества поисковых и разведочных скважин (1-3 скважины) с дальнейшим переводом их в эксплуатационные. Это бы позволило значительно снизить расходы на поисковый и разведочный этап ГРП и эксплуатационное разбуривание таких месторождений, что повысило бы их геолого-экономическую эффективность и сделало бы их разработку рентабельной.

#### **Выводы:**

1. Низкочастотная сейсморазведка позволяет создать надежную геометризацию залежей, предотвратить ошибки, связанные с неправильной оценкой прогнозных ресурсов углеводородов, наиболее рационально выбрать точки для закладки поисковых и разведочных скважин с дальнейшей возможностью их перевода в эксплуатационные, что позволяет существенно сократить объемы бурения и сделать очень мелкие месторождения рентабельными.

2. Перевод поисковых и разведочных скважин в эксплуатационные позволяет создать неупорядоченную сетку эксплуатационных скважин, что делает возможным экономически эффективно разрабатывать очень мелкие месторождения на естественных, особенно водонапорном, режимах залежи.

3. Доразведка нефтяных месторождений Удмуртской Республики при помощи низкочастотной сейсморазведки позволит выявить новые, ранее не разрабатываемые залежи углеводородов. Своевременное вовлечение в разработку новых залежей на открытых ранее месторождениях и ловушек-сателлитов, позволит избежать крупных затрат на строительство и поддержание инфраструктуры на этих объектах.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. G. Kashin, V. Mironychev and O. Likhacheva / Implementation of passive seismic during the oil & gas exploration works in the Udmurt Republic, Russia // Conference Proceedings, XIV International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”, Nov 2020, Volume 2020, p.1 – 5.

## USE OF LOW-FREQUENCY SEISMIC EXPLORATION FOR PROSPECTING AND EXPLORATION OF OIL FIELDS IN THE UDMURT REPUBLIC

*<sup>1</sup>Olga V. Likhacheva, <sup>2</sup>Gleb Yu. Kashin, <sup>3</sup>Vadim G. Mironychev  
UdSU, Izhevsk*

*<sup>1</sup>likhachevaolga2001@gmail.com, <sup>2</sup>gleb.gurza159@yandex.ru, <sup>3</sup>fngp@udsu.ru*

**Summary.** This article deals with the problem of search and exploration of very small oil fields in Udmurtia. This problem can be solved by creating a fundamentally new approach to exploration. One of these approaches is the use of microseismic technology for search, exploration and involvement in the development of these fields.

**Key words:** Udmurt Republic, microseismic exploration, very small deposits, low-frequency seismic exploration, oil and gas.

УДК 551.248.2

## МЕТОДОЛОГИЯ ИЗУЧЕНИЯ ЧЕТВЕРТИЧНОЙ ГЕОДИНАМИКИ ПЛАТФОРМЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ В СВЯЗИ С ОЦЕНКОЙ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА

<sup>1</sup>Макеев Владимир Михайлович, <sup>2</sup>Корженкова Любовь Андреевна  
Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН (ИГЭ РАН), г. Москва  
<sup>1</sup>vmakeev@mail.ru, <sup>2</sup>korjenkova2404@mail.ru

**Аннотация.** Согласно структурно-геодинамическим исследованиям, в работе изложены основные идеи и новые подходы в изучении четвертичных структур и сейсмотектонических условий платформенных территорий. Четвертичные деформации рассматриваются в качестве изгибных, упругих и рассогласованных относительно ранее созданных структурных планов. Структурно-геодинамическое районирование основано на признании непрерывности деформаций и динамическом единстве активных центров с пассивными областями. Уровень сейсмического потенциала оценивается как убывающий от активных центров к относительно пассивным в геодинамическом отношении областям.

**Ключевые слова:** четвертичная тектоника и современная геодинамика, зоны сейсмической активности, концептуальные основы и принципы, структурно-геодинамическое и сейсмотектоническое районирование.

Предметом обсуждения является четвертичная геодинамика как часть геодинамики новейшего этапа, которая имеет достаточно самостоятельное значение. Дело в том, что в течение новейшего тектонического этапа (позднего кайнозоя) во многих областях не только активного проявления тектонических движений, но и в пределах платформ, установлены достаточно значительные перестройки структурных планов, отраженные в распределении и составе новейших отложений и форм рельефа. Одна из наиболее заметных перестроек произошла на рубеже неогена и четвертичного периода или в эоплейстоцене. Этот рубеж исследователи отмечали во многих различных областях, особенно при составлении карт новейшей тектоники, когда вставала необходимость выбора изображения суммарных деформаций за новейший этап, при котором не потерялись бы основные формы рельефа земной поверхности [3].

Одной из проблем новейшей тектоники, продолжительность которой составляет 30-35 млн. лет, является выделение структур и определение их генезиса. Установлено, что общая (суммарная) амплитуда новейших поднятий на платформенных территориях составляет всего 300-350 м на базе в тысячу км, что и создает трудности для их выявления. Четвертичные деформации, являющиеся предметом нашего анализа, характеризуются еще меньшей амплитудой, составляющей несколько метров на километр расстояния. При этом среди них различаются тектоно-гравитационные, гляциотектонические и диагенетические структуры, которые требуют своей оценки. Все это приводит к созданию противоречивых моделей неотектонического строения платформ и их геодинамики в целом [1, 2, 4 и др.]. В последние годы развитие получила модель глубинных геодинамических систем, в основе которой лежит признание разнородности сил и напряжений [3, 5, 9].

Задачами исследования является разработка критериев, принципов и подходов выделения четвертичных структур, а также определение необходимых и достаточных условий и обстановок для концентрации дополнительных напряжений и их сейсмиче-

ской разрядки. Следует заметить, что энергия платформенных землетрясений, которая обычно связывается с погребенными разломами кристаллического фундамента, не столь велика, как в горно-складчатых областях, но ее проявления крайне нежелательны. Слабая, но непрерывная сейсмичность, локализованная в зонах нарушений, порождает устойчивую газо-флюидную проницаемость и повышенную интенсивность экзогенных процессов, что может привести к негативным явлениям на площадках инженерных объектов [6, 8].

Цель изучения четвертичной тектоники и геодинамики – выявление активных и сейсмически опасных зон тектонических нарушений с низким геодинамическим фоном. В основу этих исследований положен специализированный структурно-геоморфологический анализ, учитывающий структурно-формационные и геодинамические условия формирования структур. В литературе этот анализ известен как методика структурно-геодинамического анализа [6, 7].

Результаты исследований. При структурно-геодинамических исследованиях платформенных территорий и рассмотрении проблем сейсмической безопасности в качестве исходных были выработаны принципы, основанные на представлениях о непрерывности деформаций и динамическом единстве активных и относительно пассивных в геодинамическом отношении областей.

1) Принцип разновозрастности неотектонических структур. В течение неотектонического этапа, начиная с позднего олигоцена, вследствие эволюции земной коры, имеют место более или менее значительные изменения полей напряжений, направленности, стиля и режима тектонических движений. Установлено, что общие новейшие и четвертичные деформации не всегда повторяют друг друга. Четвертичные деформации, как наиболее значимые для сейсмотектоники по причине их молодости, не являются прямым продолжением или некоторой уменьшенной копией общих структур в целом. Именно четвертичные деформации наилучшим способом характеризуют современное поле напряжений и тенденции эндогенных и определенных ими экзогенных процессов. В данном случае признается, что главной фазой позднекайнозойской активности является эоплейстоценовая фаза (позднеплиоценовое–раннечетвертичное время). Она определяется по изменениям мощности отложений, глубины и ширины эрозионных форм. Мощности отложений увеличиваются во впадинах (прогибах) и уменьшаются или вообще отсутствуют на поднятиях. Соответственно, образуются менее глубокие и более широкие врезы в первом случае, и обратные соотношения во втором случае. На поднятиях формируется комплекс эрозионно-денудационных ступеней, которые коррелируются с разновозрастными отложениями во впадинах. Такой подход позволяет выявить локальную структурную зональность в главных устойчиво развивающихся поднятиях и прогибах.

2) Принцип преимущественности изгибной деформации над разрывной. В четвертичной структуре платформ доминирующими являются изгибные деформации земной коры. Роль тектонических разломов, по крайней мере в четвертичной структуре, не обоснована до сих пор. Их выделение и оценки основаны преимущественно на косвенных геоморфологических данных и дистанционных изображениях и, как правило, слабо подтверждены надёжными геологическими данными. Для платформ, особенно для осадочного чехла, характерны преимущественно изгибные упругие деформации, выраженные малоградиентными поднятиями и прогибами с большими размерами в плане. Амплитуды деформаций, отнесенные к большим расстояниям и неотектоническим интервалам времени (сотни тысяч лет), делают невозможным образование активных разломов. Скорее это можно выразить в качестве прямых и обратных флексур. Активность разломов, которых очень много в кристаллическом фундаменте платформ, зависит от многих факторов, среди которых рассматривается их позиция относительно активных



центров. Но те из них, которые активны, могут развиваться, как правило, в виде зон динамического влияния.

3) Принцип суперпозиции разнородных факторов. Земная поверхность и её рельеф рассматривается как геологическое образование, которое отличается от других геологических формаций не только в силу специфики своего развития, но и с точки зрения взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов. В этой ситуации результирующее соотношение всех факторов может быть достаточно разнообразным, требующим внимательного комплексного анализа и учёта возможного вклада всех составляющих. Это особенно важно, когда дело касается геодинамических построений, в которых различаются глобальные (панрегиональные) геодинамические системы, связанные с движениями литосферных плит и блоков; региональные геодинамически активные области, связанные с глубинными очагами (центрами) литосферы и земной коры; локальные геодинамические зоны, связанные с вещественно-структурными неоднородностями земной коры и ее слоев, включая приповерхностный. В этом случае принимается, что деформационная зональность, распространяемая от геодинамически активных территорий к пассивным, будет определять уровень сейсмического потенциала. В этой связи его следует рассматривать в качестве убывающего от активной области к относительно пассивной.

4) Принцип соответствия структур напряженному состоянию. Важнейшей целью геодинамического анализа является напряженное состояние земной коры и отдельных ее слоев и распределение в них главных напряжений. При их изучении применяются разные методы прямых и косвенных определений. Данных прямых измерений, выполненных в скважинах и горных выработках, к сожалению, немного, и они не дают достаточно представительной картины, за исключением лишь отдельных областей и районов. К тому же эти данные характеризуют напряженное состояние, сложившееся на время измерений, и отнесение их к более продолжительным временам требует учета многих обстоятельств. Из косвенных методов определений геодинамических условий формирования структур наиболее эффективными и близкими к реальности представляются геодинамические интерпретации, основанные на анализе закономерностей структурных рисунков как комплексов парагенетически сопряженных изгибных и разрывных нарушений, которые должны соответствовать некоторому распределению тектонических сил на определенном этапе эволюции геодинамических условий. Определение этих закономерностей позволяет производить районирование больших и малых платформенных территорий по геодинамическому принципу.

5) Принцип принадлежности структур к геодинамически активным областям. Важной проблемой при структурно-геодинамическом районировании является соотнесение изгибных структур в целом или отдельных их частей с источниками тектонических сил и полями напряжений. На основании этого можно предположить, что источники сил разной природы могут воздействовать на литосферу, земную кору и отдельные ее слои. Выражением этих воздействий являются динамическая деформационная зональность и ее изменчивость в пространственно-временном измерении. Сущность этого явления состоит в том, что вещественно-структурные неоднородности земной коры в силу специфики своего строения, реологических свойств и других особенностей, трансформируют напряжения, вызванные неотектоническими силами. Это приводит к пространственной и временной дифференциации территорий по характеру изгибности структур, выраженной зональностью и появлению так называемых «динамических границ». У тектонически активных горно-складчатых областей и платформенных областей устойчивых и длительных опусканий (Прикаспийская и др.) и поднятий (Фенноскандинавское и др.), их границы, как правило, не остаются постоянными в течение времени. По этой причине на некотором удалении от активных областей

фиксируется фронт динамического воздействия в виде деформационной зональности, в том числе в виде глубинных границ с «мерцающим» типом выражения в рельефе.

б) Принцип рассогласованности разновозрастных структур. Под влиянием неотектонических напряжений происходит частичная или полная перестройка донетектонических (древних) структур и образование новых, нередко хорошо выраженных в рельефе. В этом аспекте неотектонические структуры рассматриваются как наложенные или рассогласованные относительно ранее созданных. Это не исключает появление в отдельных зонах дополнительных напряжений, обусловленных различной реакцией по-разному устроенных слоев на любые более молодые напряжения, в т.ч. современные. В платформенных условиях часто ими являются тектонические нарушения без видимых смещений опорных горизонтов. Крупнейшим рассогласованием является граница между кристаллическим фундаментом и осадочным чехлом платформ, между поверхностью фундамента и разноглубинными горизонтами осадочного чехла, между четвертичным структурным планом и более древними структурными планами осадочного чехла и фундамента. При этом рассогласованность возрастает с увеличением временного диапазона сопоставляемых горизонтов, отвечающих палеозойским, мезозойским и альпийским тектоно-магматическим этапам. В их плане можно выделить зоны повышенной и пониженной рассогласованности. Разобшение структурных планов особенно ощутимо на локальном уровне, когда вещественные неоднородности становятся наиболее существенным фактором, перераспределяющим четвертичное поле напряжений. Этот фактор определяет особенности развития неотектонических деформаций.

Таким образом, признание исходных положений в качестве принципов позволяет исследовать низкоградиентные платформенные деформации с единых методологических позиций, что крайне важно с целью оценки уровня энергетического (сейсмического) потенциала геодинамически активных зон. Структурно-геодинамические исследования позволяют не только выявить и количественно оценить четвертичные структуры и зоны сейсмической активности (зоны ВОЗ), но и объяснить их происхождение по принципу геодинамического контроля. Подобная оценка активных зон рассматривается как критерий типизации их на сейсмически и геоэкологически значимые. Путь к новому пониманию сеймотектоники платформ лежит в разностороннем анализе ранее созданных вещественно-структурных неоднородностей под влиянием внешних напряжений, приложенных к ним. Обсуждаемая тема актуальна с точки зрения совершенствования методологических аспектов, а также способов рационального, эффективного и безопасного использования обширных платформенных территорий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грачев А.Ф. Новейшая тектоника, геодинамика и сейсмичность Северной Евразии. М.: Пробел, 2000. – 487 с.
2. Бабак В.И., Николаев Н.И. Карта геоморфолого-неотектонического районирования Нечерноземной зоны РСФСР. Масштаб 1 : 500 000. М.: ГУГК, 1984.
3. Макаров В.И. О региональных особенностях новейшей геодинамики платформенных территорий в связи с оценкой их тектонической активности // Недр Поволжья и Прикаспия. Спец. вып. 13. – Саратов. 1996. – С. 53-60.
4. Макаров В.И., Макарова Н.В., Несмеянов С.А. и др. Новейшая тектоника и геодинамика: область сочленения Восточно-Европейской платформы и Скифской плиты. М.: Наука, 2006. 206 с.
5. Макарова Н.В., Макеев В.М., Дорошко А.Л., Т.В. Суханова, Коробова И.В. Геодинамические системы и геодинамически активные зоны Восточно-

- Европейской платформы // Бюл. МОИП. Отд. геол. Т. 91. Вып. 4-5. 2017. – С. 13-27.
6. Макеев В.М. Структурно-геодинамические условия устойчивости территорий особо опасных и технически сложных объектов на древних платформах // Автореф. на соиск. докт. геол.-минер. наук. ООО «Ай-клуб». 2015. – 50 с.
  7. Макеев В.М. Макарова Н.В. Деформации глубинных слоев земной коры Восточно-Европейской платформы: причины и следствия // Российский сейсмологический журнал. Т.2. 2020. №3. – С. 57-69.
  8. Уломов В.И., Никитин С.Н. Технический регламент проведения работ по общему сейсмическому районированию территории Российской Федерации. Свод правил // Инженерные изыскания. 2010. №6. – С. 62-67.
  9. Shchukin Yu.K. Deep dynamic systems of Northern Eurasia // Abstr. 11 Intern. Conf. on Basement Tectonics. Potsdam. 1994. – P. 142-143.

### **METHODOLOGY FOR RESEARCH THE QUATERNARY GEODYNAMICS OF PLATFORMS IN CONNECTION WITH THE ASSESSMENT OF SEISMIC POTENTIAL**

*<sup>1</sup>Vladimir M. Makeev, <sup>2</sup>Lyubov A. Korzhenkova  
Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS (IEG RAS), Moscow  
<sup>1</sup>vmakeev@mail.ru, <sup>2</sup>korjenkova2404@mail.ru*

**Summary.** According to structural and geodynamics research, the paper presents the main ideas and new approaches to the research of Quaternary structures and seismotectonics conditions of platform territories. Quaternary deformations are considered as flexural, elastic, and misaligned with respect to previously created structural plans. Structural-geodynamic zoning is based on the recognition of the continuity of deformations and the dynamic unity of active centers with passive areas. The level of seismic capacity is estimated as descending from the active sites to the relatively passive in relation to the geodynamic areas.

**Key words:** Quaternary tectonics and recent geodynamics, zones of seismic activity, conceptual foundations and principles, structural-geodynamic and seismotectonic zoning.

УДК 550.832

## РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЦИФРОВОГО СТВОЛА СКВАЖИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ

<sup>1</sup>Се Минцзюнь, <sup>2</sup>Сунь Цзяньмэн<sup>1</sup>ПГНИУ, г. Пермь<sup>2</sup>Китайский нефтяной университет, г. Циндао, Китайская Народная Республика<sup>1</sup>sunjm@upc.edu.cn, <sup>2</sup>yiranxmj@gmail.com

**Аннотация.** Рассмотрено развитие технологии методов моделирования цифрового ядра и цифрового ствола скважины. Смоделировано пространственное распределение модуля упругости, показателей цементации, удельного сопротивления, пористости и проницаемости цифрового ствола. Проведено сравнение результатов моделирования с результатами ГИС.

**Ключевые слова:** цифровой ядро, цифровой ствол скважины, нетрадиционные коллекторы, моделирование.

В настоящее время нетрадиционные коллекторы стали центром исследований в нефтегазовой отрасли. Однако, из-за их сложной структуры, литологии и физических свойств, а также ограниченного периода и стоимости эксперимента невозможно провести точное количественное традиционное петрофизическое исследование. С развитием компьютеризации технологии цифрового ядра и цифрового ствола скважины могут стать эффективным дополнением к традиционным петрофизическим данным. На основе многомасштабной модели цифрового ядра, электрических имиджей и данных традиционных каротажей создана трехмерная цифровая модель ствола скважины, то есть крупномасштабный цифровой пласт по окружности скважины.

Одним из важнейших методов моделирования цифрового ядра является численная реконструкция, которая использует математические алгоритмы для восстановления трехмерного цифрового ядра на основе существующей статистической информации или двумерного изображения ядра и включает метод процесса, алгоритм имитации отжига, гауссовский процесс, метод последовательного индикаторного моделирования, метод Монте-Карло с цепями Маркова, многоточечная геостатистика и т.д. Jianmeng S и другие объединили алгоритм имитации отжига с методом процесса [1] для создания цифрового ядра на основе диагенеза уплотнения, что значительно сокращает время обработки и дает хорошие результаты при создании трехмерных цифровых ядер для распределения пор и сложных процессов формирования горных пород.

Точность исследования технологии цифрового ядра составляет микрон или даже нанометр, а точность исследования технологии геологического моделирования – порядка метра или даже километра. Технология моделирования цифрового ствола находится между ними и изучает влияние различных факторов пласта и среды скважины на физические свойства пласта.

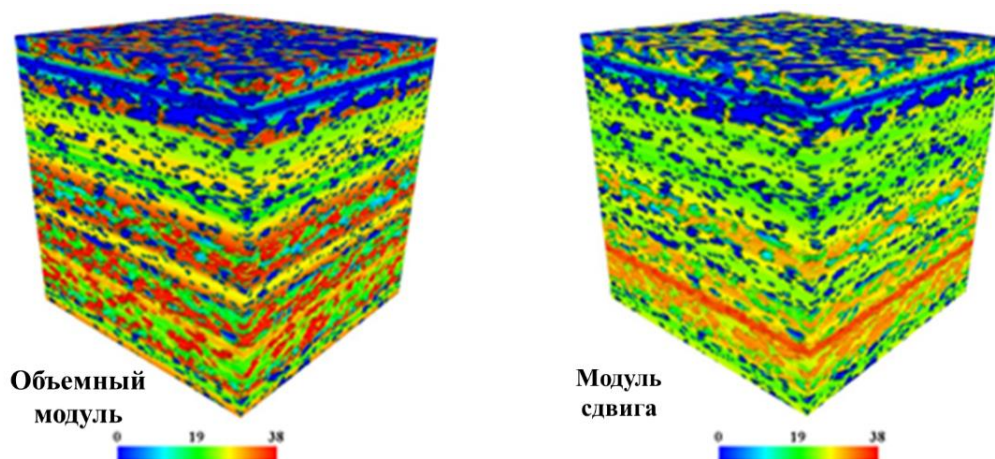
Построение цифрового ствола скважины на базе многоточечной геостатистики использует тренировочные изображения и достоверные данные для иерархического построения. Для ядра полного диаметра проведено сканирование медицинским компьютерным томографом при томографии (КТ) и применен сегментированный и реконструированный цифровой ядро сантиметрового уровня в качестве тренировочного изображения. Использован метод Filtersim для заполнения пустой зоны электрического ими-

джа, и в сочетании с калибровкой неглубокого бокового каротажа данные электрического изображения преобразованы в изображение пористости, которое может использоваться в качестве достоверных данных. Преобразуются достоверные данные по глубине в трехмерный цилиндр, после этого строится цифровой пласт с помощью многоочечной геостатистики в соответствии с последовательностью пластов. Выполняется имитационное бурение на окончательном полном цифровом пласте и получается базовая модель цифрового ствола скважины.

При таких исследованиях можно создать модель дискретной сети трещин для имитирования трещинных коллекторов с использованием расчёта фрактальной теории, каскадного процесса умножения, распределение Фишера и алгоритма дробного броуновского движения. Кроме того, сочетание данных КТ-сканирования пробки ядра с высоким разрешением и данных КТ-сканирования в микронах различных пластов и литофаций может дать для моделей цифрового ствола такие атрибуты, как проницаемость, удельное сопротивление и модуль упругости и т.д.

На основе разномасштабной и разнокомпонентной модели цифрового ядра проведено моделирование распределения модуля упругости показателей цементации и удельного сопротивления трехмерного цифрового ствола в интервале 2400,00-2407,35 м.

На рис. 1 показаны схемы распределения объёмного модуля и модуля сдвига цифрового ствола. С использованием метода увеличения масштаба модуля упругости посредством пошагового моделирования может быть получена функция модуля упругости крупномасштабного цифрового ядра, соответствующая ядру полного размера. Эта функция используется в качестве основы для определения модуля упругости в цифровой модели ствола скважины. В соответствии с содержанием компонентов в цифровой модели ствола скважины с использованием метода ограничения цифровой модели рельефа можно определить окончательный модуль упругости. Как показано на рис. 1, общий модуль упругости относительно высок из-за высокого содержания кварца, относительно развитого полевого шпата и низкой пористости в этом интервале.

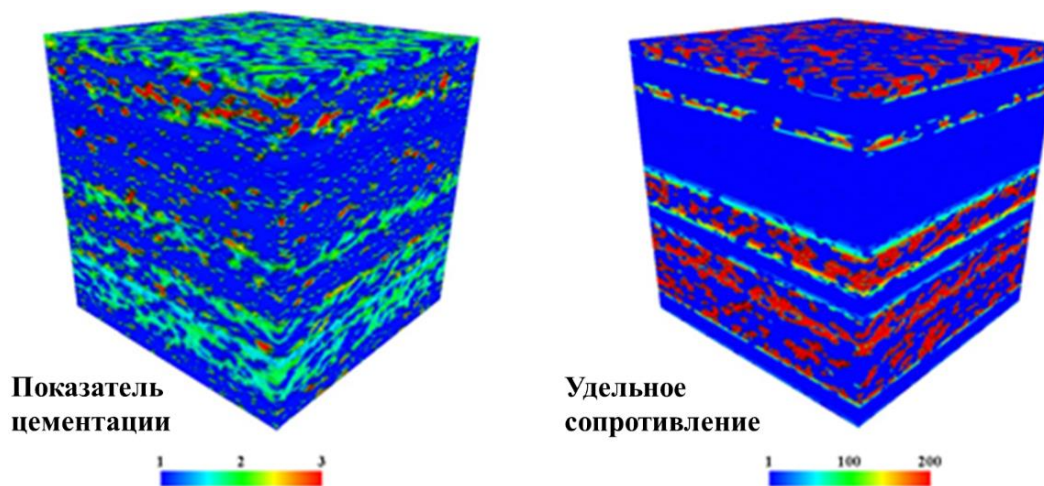


**Рис. 1. Схема распределения модуля упругости трехмерного цифрового ствола скважины в интервале 2400,00-2407,35 м**

На рис. 2 представлены схема распределения показателей цементации и удельного сопротивления цифрового ствола. Используя метод увеличения масштаба удельного электрического сопротивления, можно для построенной модели получить формулу аппроксимации показателя цементации посредством пошагового моделирования. В соответствии с компонентом модели цифрового ствола для каждой точки сетки вычис-

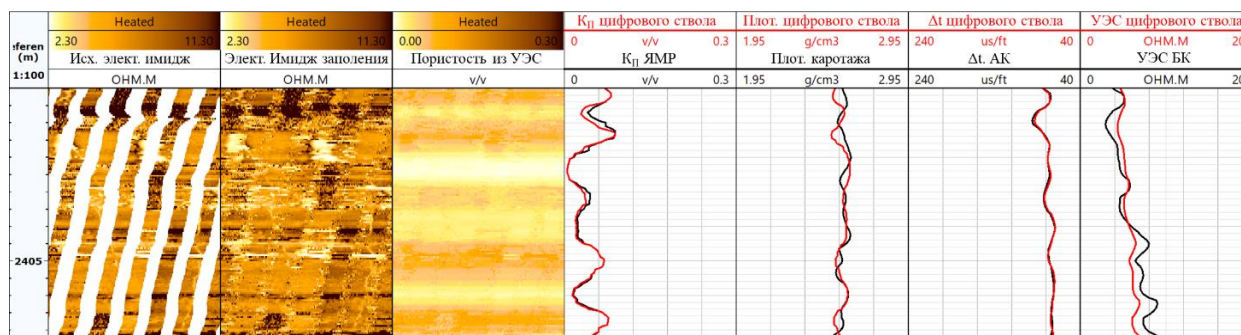


ляется значение показателя цементации и определяется удельное сопротивление с помощью формулы Simandoux. Поскольку пористость этого интервала относительно мала, то показатель цементации невелик, а измеренное удельное сопротивление глины в этой области большое, поэтому и общее удельное сопротивление относительно велико (рис.2).



**Рис. 2. Схема распределения показателей цементации и удельного сопротивления цифрового ствола скважины в интервале 2400,00-2407,35 м**

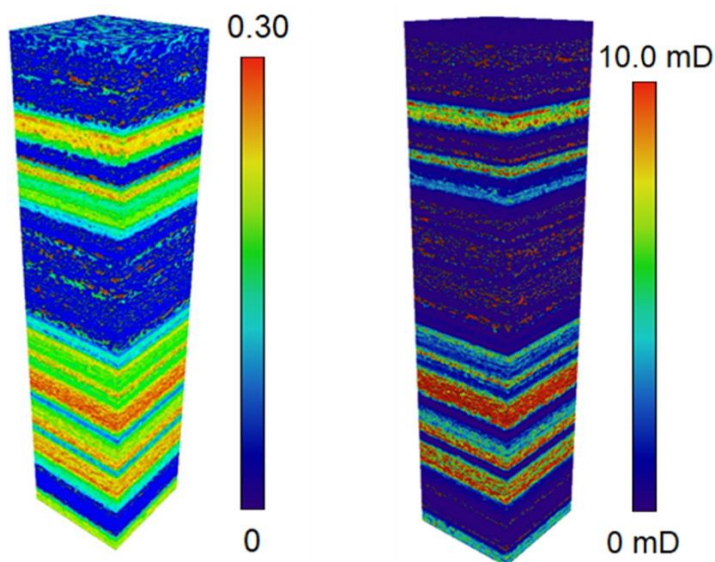
Для полученных результатов было проведено подтверждение в интервале 2400,00-2407,35 м. На рис. 3 слева направо представлено исходное изображение электрического каротажа; результат обработки исходного электрического изображения по алгоритму Filtersim; изображение пористости, преобразованное из удельного сопротивления; а также сравнения кривой пористости по данным ЯМР и кривой пористости цифрового ствола скважины, кривой плотности каротажа и расчетной кривой плотности цифрового ствола скважины, кривой дельта Т акустического каротажа и расчетной кривой дельта Т цифрового ствола скважины, кривой БКЗ и расчетного удельного сопротивления цифрового ствола скважины. Сопоставление кривых показывает, что результаты моделирования пористости, плотности, акустической разницы и удельного сопротивления, рассчитанные с помощью цифрового ствола скважины, близки к фактическим результатам, что подтверждает точность результатов численного моделирования цифрового ствола скважины.



**Рис. 3. Сравнение расчетных результатов трехмерного цифрового ствола скважины и результатов ГИС в интервале 2400,00-2407,35 м**

Были также проанализированы свойства проницаемости цифрового ствола скважины в разрезе 2408,0-2452,0 м. Сначала построили трехмерную модель простран-

ственного распределения пористости цифрового ствола скважины (рис. 4, слева). В модели распределение пористости имеет низкое значение (0%, синий цвет) и высокое значение пористости (до 30%, красный цвет). Затем взаимосвязь между пористостью и проницаемостью в модели использовалась для определения проницаемости для всего глубинного разреза трехмерного цифрового ствола. Такая взаимосвязь установлена по экспериментальным данным пористости и проницаемости осадочных пород для 17 образцов керна в трех нефтяных пластах. Для пористости, соответствующей каждой сетке трехмерного цифрового ствола скважины, было вычислено значение проницаемости с использованием соотношения между ними. Таким образом, была получена трехмерная модель пространственного распределения проницаемости (рис. 4, справа). В модели пространственного распределения проницаемости представлено высокое значение проницаемости (до 10 мД, красный цвет) и низкое значение (0 мД, синий цвет). В целом, разность распределения проницаемости на этом интервале большая, но из теории известно, что для слоев песчаника с высокой пористостью соответствует высокая проницаемость, а для слоев аргиллита с низкой пористостью – низкая проницаемость.



**Рис. 4. Пространственное распределение пористости (слева) и проницаемости (справа), рассчитанное по 3D цифровому стволу скважины в интервале 2408,0 - 2452,0 м**

На рис. 5 представлена сравнительная диаграмма интерпретации каротажных кривых и результатов моделирования трехмерного цифрового ствола скважины. Видим, что, хотя имеются некоторые численные различия между результатами моделирования проницаемости трехмерного цифрового ствола скважины и ядерного магнитного резонанса, но общая тенденция кривых в основном одинаковая. Результаты анализа проницаемости керна аналогичны двум расчетным результатам, что подтверждает выполнимость двух методов расчета проницаемости.

Модель цифрового ствола скважины решает проблему недостаточности представления цифровых образцов керна, и результаты моделирования можно напрямую сравнивать с результатами каротажа. На основе модели цифрового ствола скважины можно проанализировать влияние анизотропии пласта, неоднородностей, трещин, кавернозности ствола, угла наклона ствола, асимметричного проникновения фильтра бурового раствора на результаты измерения и реализовать более точное численное моделирование. Цифровой ствол скважины расширяет область применения технологии цифрового керна и значительно повышает возможности исследований.

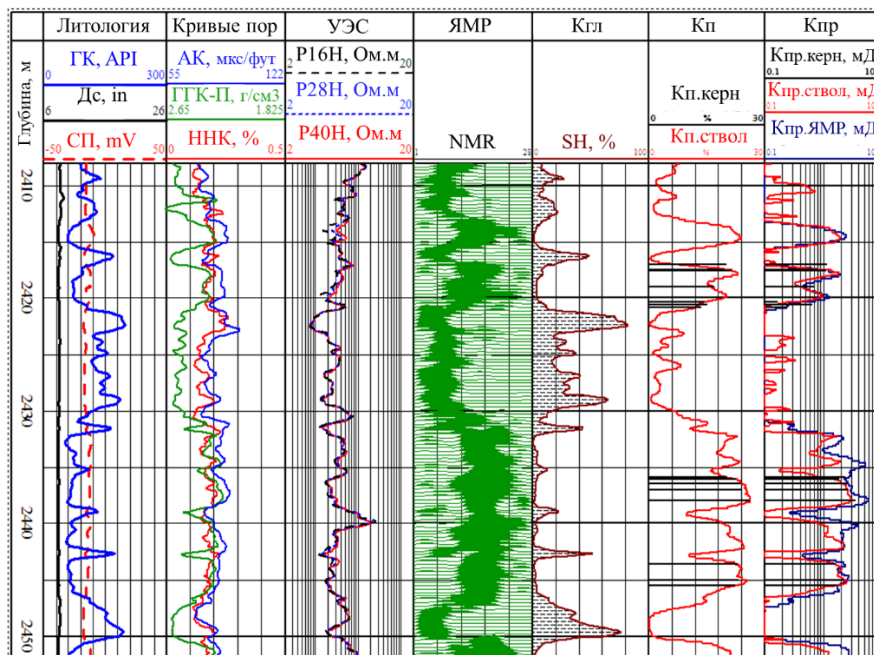


Рис. 5. Сравнение проницаемости при интерпретации данных ГИС и проницаемости трехмерного цифрового ствола скважины

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Xuefeng L., Jianmeng S., Haitao W. Reconstruction of 3D Digital Cores Using a Hybrid Method // Applied Geophysics. 2009. 6 (2).

### DEVELOPMENT OF DIGITAL BOREHOLE TECHNOLOGY IN LOGGING

<sup>1</sup>Xie Mingjun, <sup>2</sup>Sun Jianmeng

<sup>1</sup>Perm State University, Perm

<sup>2</sup>China University of Petroleum, Qingdao, People's Republic of China

<sup>1</sup>yiranxmj@gmail.com, <sup>2</sup>sunjm@upc.edu.cn

**Summary.** The paper considered the development of the technology of methods for modeling digital core and digital wellbore, modeled the spatial distribution of the elastic modulus, cementation parameters, resistivity, porosity and permeability of the digital wellbore, and compared the simulation results with the well logging results.

**Key words:** digital core, digital borehole, unconventional reservoirs, modeling.



УДК 550.034

**РАЗВИТИЕ АФТЕРШОКОВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ  
СПИТАКСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ**

<sup>1</sup>Мкртчян Мери Артушовна, <sup>2</sup>Саакян Бабкен Вазгенович,  
<sup>3</sup>Геодакян Эдуард Григорьевич, <sup>4</sup>Каранетян Джон Костикович,  
<sup>5</sup>Оганесян Севада Мкртичевич

*Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. акад. А.Г.Назарова  
Национальной Академии Наук Республики Армения, г.Гюмри, Республика Армения*  
<sup>1</sup>mary-mary-86@mail.ru, <sup>2</sup>sahakyan\_babken@mail.ru,  
<sup>3</sup>geodakyan.e@mail.ru, <sup>4</sup>jon\_iges@mail.ru, <sup>5</sup>iges@mail.ru,

**Аннотация.** Составлен пространственно-временной и энергетическое распределение афтершокового процесса сильного Спитакского землетрясения, расположенного в орогене Малого Кавказа. Проведен анализ затухание афтершовой процесса с использованием фундаментальных законов сейсмологии: Гутенберга-Рихтера и обобщенного закона Омори-Утсу. В результате анализа рассчитаны следующие важнейшие параметры затухания:  $\lambda$ -частота афтершоков в заданном временном интервале,  $t$ -время возникновения основного толчка,  $K$ -эффективность афтершоковой последовательности,  $p$ -коэффициент затухания,  $s$ -временная задержка.

**Ключевые слова:** афтершок, затухание, магнитуда, основной толчок, разлом, сброшенное напряжение, сейсмический момент.

Подготовка и реализация сильного землетрясения с позиции физической мезомеханики представляет собой многостадийный сложный процесс деструкции целостности геологической среды очаговой области. Под воздействием тектонических напряжений в отдельных плоскостях существующих земной коры дислокации, представляющий собой концентраторы напряжений, возникают их аномальное накопления, в виде упругопластической деформаций. В дальнейшем происходят консолидация отдельных носителей, так называемых мезоэлементов внутри которых возникают стрессовые возмущение и резкое изменение фрикционных свойств геологической среды предвещающих к образованию магистрального разрыва сильного землетрясения [6].

В ходе вспаривания магистрального разрыва происходят не полное высвобождение накопленных напряжений, часть остаточных напряжений неравномерно перераспределяются в окружающую область плоскости разрывообразования, создавая дополнительные концентраторы напряжений, которые дальнейшем реализуется в виде многочисленных повторных толчков-афтершоков [4].

К первой стадии относятся вышеописанные процессы подготовки и формирование магистрального разрыва, который рассматривается с позиции физической мезомеханики, вторая стадия разрывообразования и последующие афтершоковый процесс следует рассматривать с позиции кинетической теории трещинообразования [5,7].

Настоящие время изучение первой стадии являются крайне трудной и пока окончательно нерешенной задачей.

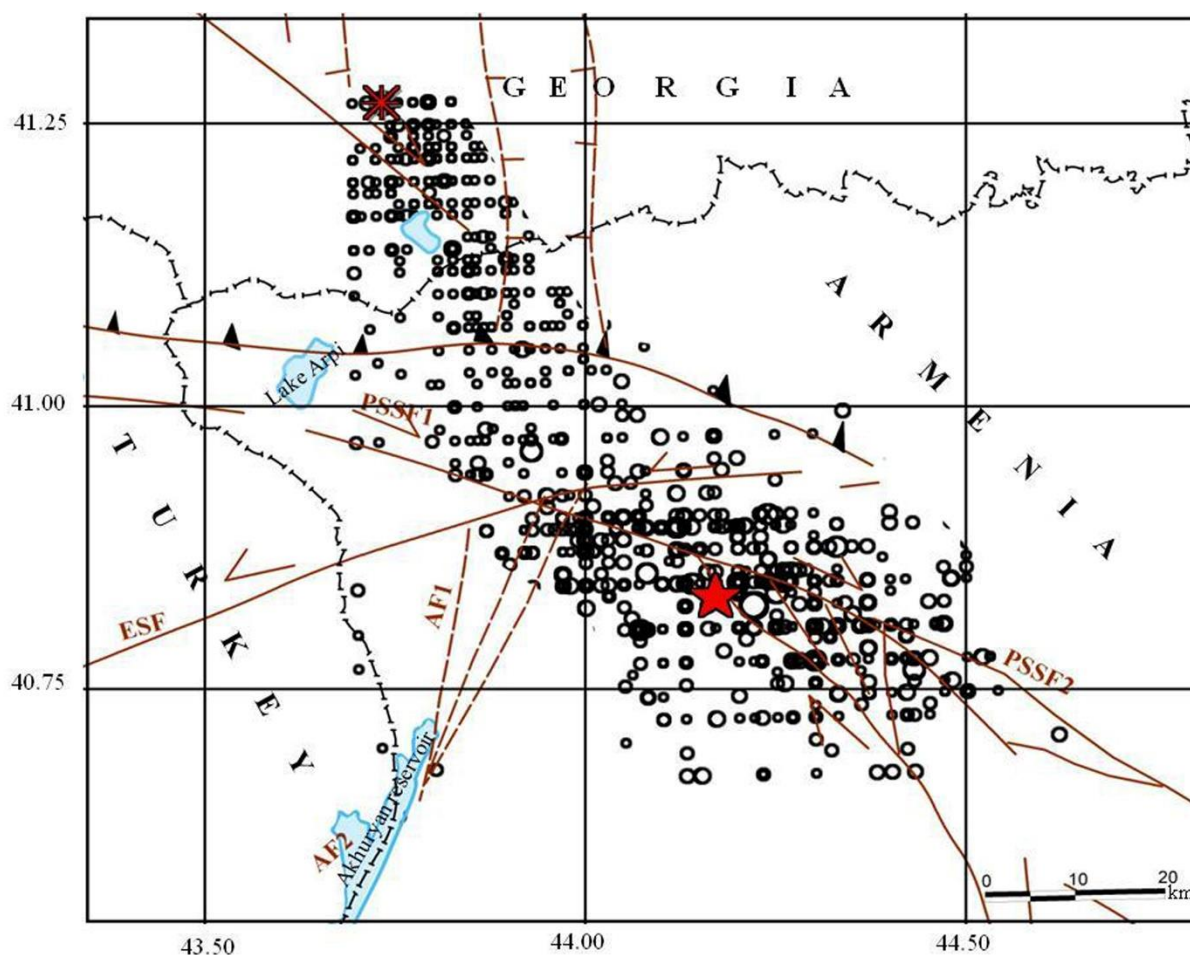
В отличие от этого вторая стадия, связанная с процессом разрушение очаговой области, благодаря многочисленных сейсмостатистических инструментальных данных и разработанных методов их пространственно-временно-энергетических анализов, позволяют выявить основные закономерности и характерные особенности процесса деструкции геологической среды очаговой области.

В настоящей работе на основе анализа афтершоковой последовательности разрушительного Спитакского землетрясения рассматриваются пространственно-временные энергетические характеристики процесса деструкции очаговой области этого землетрясения.

Катастрофическое Спитакское землетрясение с магнитудой  $M_w=7$  является сильнейшим землетрясением произошедшей на территории Армении за последнее столетие. По данным сейсмологического центра Гарвардского университета механизм этого землетрясения представляет собой взбросо-сдвиговую подвижку с сейсмическим моментом  $M_0=1,6 \cdot 10^{26}$  Дин·см, а сброшенное при главном толчке напряжений рассчитанные по формуле Канамори составляет  $\Delta\sigma=20$  Бар [10].

Анализ волновых полей инструментальных записей телесейсмических и региональных станций, показал, что очаговый процесс Спитакского землетрясения имел мультиплетный характер, состоящий из 4-х субочагов и представлял собой многоактовый процесс в спаривания очаговой области [3].

Благодаря организации густой сети эпицентральных инструментальных наблюдений, за период 36 месяцев, были зарегистрированы и с высокой точностью определены гипоцентры более 3000-х афтершоков в энергетическом диапазоне  $k=\lg E=8 \div 14$  [1]. На основе этих данных с применением программы Mapinfo в пакете GIS была построена карта пространственного распределения этих афтершоков (рис.1).



**Рис. 1. Пространственное распределение афтершоков Спитакского землетрясения**

Анализ этой карты показывает, что афтершоки четко выделяют геометрию разрывообразованная, состоящий из 4-х субочагов. Периферийные афтершоки позволяют

оконтурить площадь  $S=3354 \text{ км}^2$  и учитывая глубинные залегание всех афтершоков, также объем  $V=50310 \text{ км}^3$  геологической среды охваченной процессом деструкции очаговой области.

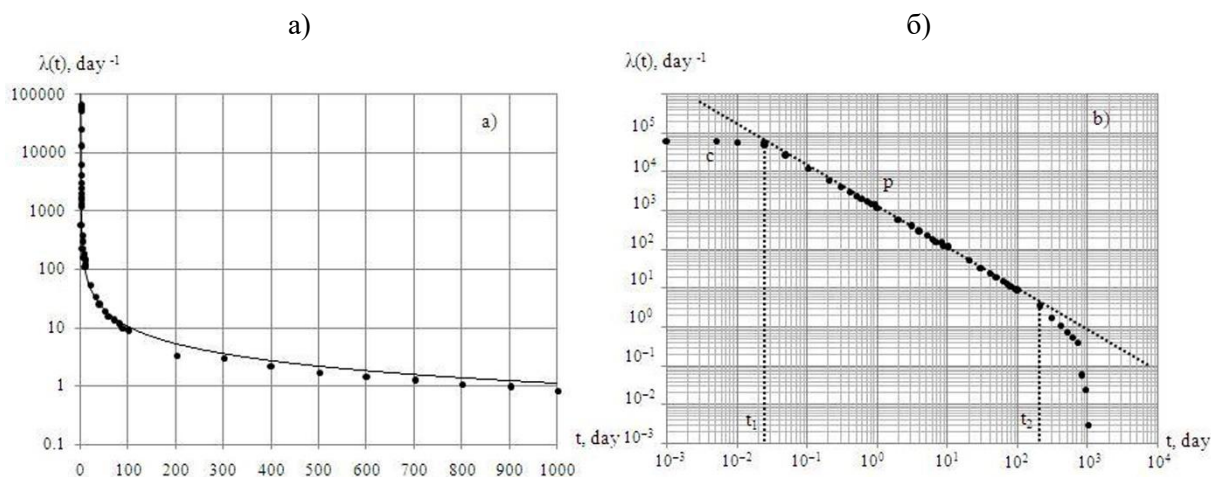
В основе современных методов временно-энергетических анализов афтершоков заложенны две основные законы сейсмологи - закон Омори и Гутенберг-Рихтера.

Согласно закона Омори, убывание количества афтершоков в единицу времени, происходит по степенной зависимости с отрицательным показателем. Аналитическое выражение закон Омори модифицированного со стороны Нартео [9], имеет следующий вид:

$$\lambda(t) = \frac{K}{(t+c)^p}, \quad (1)$$

где параметры:  $\lambda$  - частота афтершоков в заданном временном интервале;  $t$  - время возникновения основного толчка;  $K$  - эффективность афтершоковой последовательности;  $p$  - коэффициент затухания;  $c$  - временная задержка.

На рисунке 2а приведен график степенного убывания во времени афтершокового последовательности. Билогарифмическое представление этого графика рис. 2б позволяет детально разложить этот сложный процесс на три составляющей линейную, гиперболическую и экспоненциальное. На этой основе были определены количественные временные характеристики параметров ( $c$ ,  $p$ ,  $K$ ) процесса деструкции очаговой области.



**Рис. 2. Графики степенного (а) и логарифмического (б) затухание афтершокового последовательности**

Параметр  $c=36$  минут, соответствует начальному периоду афтершокового процесса характеризующего напряженно-деформационное состояние плоскости магистрального разрыва. Параметр  $p=1.08$ , характеризует гиперболическую часть степенного затухания и в основном отражает физико-механическое состояние геологической среды, после которой завершающая фаза затухания афтершокового процесса происходит по экспоненциальному закону, соответствующий релаксации тектонических напряжений очаговой области.

Особый интерес представляет временные интервалы существования этих фаз  $t_1$ ,  $t_2$  и частота происходящих в них убывания афтершоков  $\lambda_a$ ,  $\lambda_b$ , с помощью которых как показано в работе [2] можно определить тип магистрального разрыва (гладкая, ребристая и средняя зубчатая). Полученные значения  $t_1=0.025$  суток,  $t_2=600$  суток указывают, что при Спитакском землетрясении имело место средней зубчатый тип магистрального разрыва. Величины значения  $\lambda_a$ ,  $\lambda_b$ , в этих интервалах несут

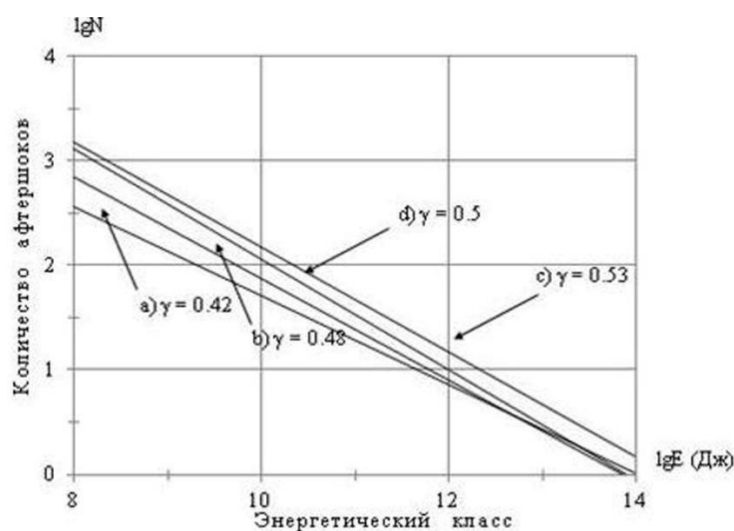
информацию о самоподобии убывание количество афтершоков единицу времени и отражают фрактальные свойства вышеуказанного сложного процесса. Наиболее ярким проявлением фрактальности сейсмического процесса является закон Гутенберг-Рихтера [8], устанавливающей линейную связь между логарифмами количества и энергии сейсмической событий:

$$\lg N = A_{10} - \gamma \cdot K \quad (2)$$

где  $N$  - количество афтершоков данной энергетической класса;  $K = \lg E$  - энергетический класс;  $\gamma$  - коэффициент наклона графика;  $A_{10}$  - сейсмическая активность, нормированное к единицу площади и времени.

Применение этого закона для энергетического анализа афтершокового процесса позволяет определить количество афтершоков разных энергетических классов и выявить динамику энергетического развитие всего афтершокового процесса.

Для афтершокового процесса Спитакского землетрясения нами были построены графики повторяемости, соответствующие периодам возникновения линейной, гиперболической и экспоненциальной фазы затухание, а также афтершокового процесса в целом (рис.3).



**Рис. 3. Графики повторяемости афтершокового процесса для отдельных периодов времени: а) линейная, б) гиперболическая, в) экспоненциальная фазы и д) полный афтершоковый процесс**

На линейной фазе афтершоковый процесс насыщен большим количеством афтершоков имеющих повышенное значение энергетических классов. В последующие временные периоды происходит процесс возникновения афтершоков с умеренными и слабыми значениями энергетического класса, до окончательного формирования графика повторяемости всего афтершокового процесса. Значение угла графика повторяемости  $\gamma$  указывают на энергетическую фрактальность, с другой стороны учитывая зависимость между  $\lg E \sim 1$  от протяженности разрыва в очагах каждого афтершока, этот процесс можно трактовать как процесс деструкции (дробности) геологической среды очаговой области.

*Работа выполнена при финансовой поддержке КН РА (грант АСН-01/21).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арефьев С. С., Аптекман Ж. Я., Габсатарова И. П., Геодакян Э.Г., Захарова А. И., Линдер А. В., Шебалин Н.В. и др. Каталог афтершоков Спитакского

- землетрясения 7 декабря 1988 г.// Изв.АН СССР "Физика Земли ", №11, 1991 г. Изд-во "Наука", М.,1991 г., стр. 60-73.
2. Баранов С.В. Моделирование афтершоковой активности западной части Главного Кавказского хребта с 1991 по 2012 год. Материалы Восьмой Международной сейсмологической школы “Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных”, Геленджик, 16-20 сентября 2013 года. Обнинск, ГС РАН, 2013, стр.51-57.
  3. Геодакян Э.Г. О геодинамической модели очага Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 года. // Сб. научных трудов конференции посвященной 60-летию основания НАН РА. Изд-во «Гиту-тюн» НАН РА г. Гюмри 2004, стр. 64-78
  4. Добровольский И.П. Теория подготовки тектонического землетрясения. Москва. Изд. “Наука”. 1991. 224с.
  5. Журков С.Н. Кинетическая концепция разрушения твердых тел// Вестник Академии наук СССР. – 1968. - №3. – стр.46-52.
  6. Макаров П.В. Подход физической мезомеханики к моделированию процессов деформации и разрушения// Физическая мезомеханика. – 1998. – Т. 1. -№1. – стр.61-81.
  7. Панин В.Е Основы физической мезомеханики // Физ. мезомех. - 1998. – Т. 1. -№1. стр.5-22.
  8. Gutenberg B., Richter C.F. Magnitude and energy of earthquakes// Ann. Geophys. 1956. V. 9. P. 1-15.
  9. Holschneider M., Narteau C., Shebalin P., Peng Z., and Schorlemmer D. Bayesian analysis of the modified Omori law//Journal of geophysical research, vol. 117, bxxxxx, doi:10.1029/2011jb009054, 2012
  10. Kanamori B.H. Anderson D. L. The oretical basis of some empirical relations in seismology // Bull. of the Seismol. Soc. of Amer. 1975. Vol. 65. №. 5. P. 1073-1095.

## THE EVOLUTION OF AFTERSHOCKS SEQUENCE OF THE EARTHQUAKE IN SPITAK

<sup>1</sup>Mary A. Mkrtchyan, <sup>2</sup>Babken V. Sahakyan, <sup>3</sup>Eduard G. Geodakyan, <sup>4</sup>Jon K. Karapetyan,  
<sup>5</sup>Sevada M. Hovhannisyan  
*Institute of Geophysics and engineering seismology after A. Nazarov  
of the National Academy of sciences of Republic Armenia, Gyumri, Republic of Armenia*  
<sup>1</sup>mary-mary-86@mail.ru, <sup>2</sup>sahakyan\_babken@mail.ru, <sup>4</sup>geodakyan.e@mail.ru,  
<sup>5</sup>jon\_iges@mail.ru, iges@mail.ru,

**Abstract.** We obtained the spatial-temporal and energy distribution of the aftershock process of the strongest earthquake in Spitak, located in the Lesser Caucasus orogen. Using fundamental laws of seismology, analysis of the attenuation of the aftershock process is made: Gutenberg-Richter and the generalized Omori-Utsu law. As a result of the analysis, the following most important damping parameters were calculated:  $\lambda$ -frequency of aftershocks in a given time interval, t-time of occurrence of the mainshock, K-efficiency of the aftershock sequence, p-damping coefficient, c-time delay.

**Keywords:** aftershock, attenuation, magnitude, mainshock, fault, stress drop, seismic moment.

УДК 550.34

## ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «КОЛБА»

*Морозова Екатерина Руслановна  
ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, г. Архангельск  
morozova\_er@fciarctic.ru*

**Аннотация.** Установленная в Красноярском крае 11.10.2020 г. сейсмическая станция KOLBA характеризуется низким уровнем микросейсмического фона. На записях станции отмечены региональные события разной природы – техногенные события, связанные с промышленной деятельностью вблизи Норильска и тектонические землетрясения, происходящие как в основных сейсмоактивных зонах Арктики, так на слабосейсмичных территориях. При анализе и рутинной обработке данных станции KOLBA следует использовать расширенный набор частотных фильтров для выявления региональных событий и привлекать максимально возможное число станций для обработки.

**Ключевые слова:** Колба, сейсмическая станция, сейсмические события, землетрясение, эпицентр, магнитуда, частотный фильтр.

С 2003 года мониторинг сейсмической обстановки в западном секторе Российской Арктики осуществляет Архангельская сейсмическая сеть, являющаяся структурным подразделением Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики Уральского отделения РАН. В 2020 году были выполнены технические изменения в структуре УНУ «Архангельская сейсмическая сеть» (АСС), направленные на повышение качества регистрируемых данных и ее функционирования. Так в 2020 году были проведены работы по установке сейсмической станции в районе пгт. Диксон Таймырского Долгано-Ненецкого района Красноярского края. В ходе экспедиции в октябре 2020 г. были проведены рекогносцировочные работы по поиску места для установки стационарной сейсмической станции (далее с/с KOLBA) в районе геофизической станции Колба имени В.В. Ходова, находящейся в ведении Северного УГМС.

В 260 метрах от геофизической станции была установлена высокочувствительная сейсмическая аппаратура: сейсмометр TC-120 s и регистратор Centaur. Передача данных и электропитания происходит по двум кабельным линиям, используется кабель П-296. Для передачи данных на компьютер, в связи с малой удаленностью сейсмической аппаратуры, используется Ethernet интерфейс. На сервер лаборатории сейсмологии в г. Архангельск данные поступают по SeedLink протоколу через сеть Интернет.

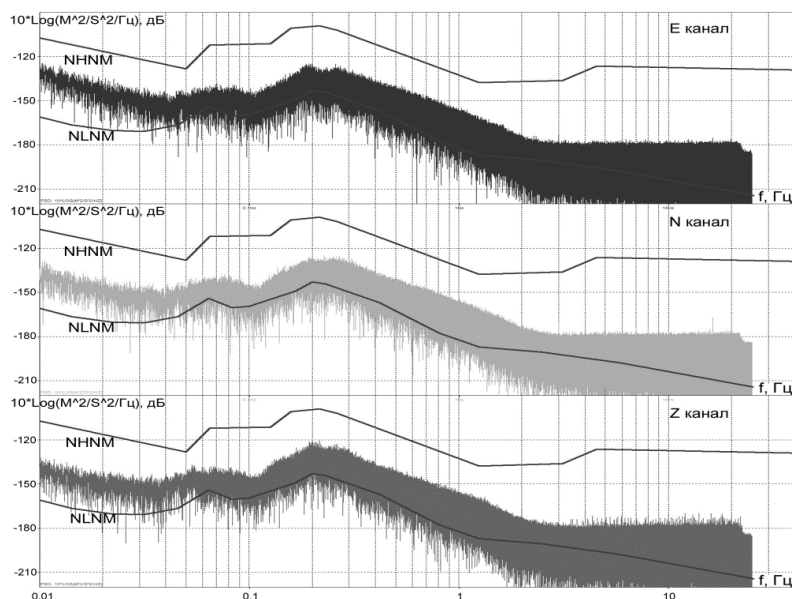
Параметры сейсмостанции «Колба»:

- код станции: KOLBA;
- координаты станции:  $\varphi=73.529^{\circ}\text{N}$ ,  $\lambda=80.701^{\circ}\text{E}$ ,  $h=11$  м;
- время запуска станции (UTC): 11.10.2020 07:23:00.

Несмотря на то, что с/с KOLBA начала свою работу совсем недавно, уже есть первые результаты. Анализ записей показал низкий уровень микросейсмического фона на с/с KOLBA. В целом, волновые формы не осложнены техногенными помехами.

Не было выявлено никаких серьезных помех, которые могли бы усложнить выделение региональных и локальных сейсмических событий на записях станции.

Анализ рисунка 1 показывает, что уровень микросейсмического фона лежит в пределах модели Петерсона [1]. Более того, стремится к его нижней границе, что дает основание говорить о высокой чувствительности установленной станции.



**Рис. 1. Спектральная плотность мощности микросейсмического фона в месте установки сейсмической станции KOLBA относительно моделей Петерсона**

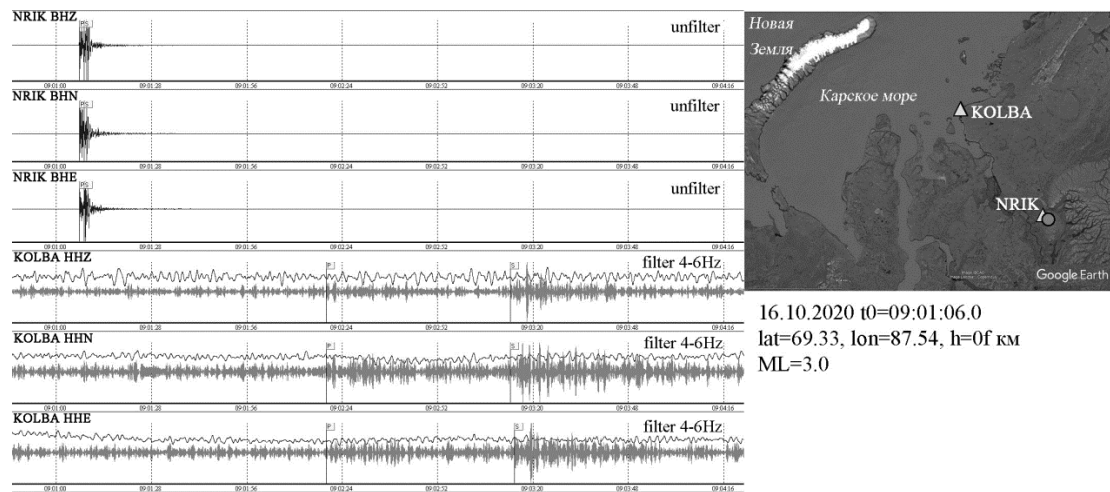
Данные с/с KOLBA обработаны за период с 11 октября 2020 г. по 22 ноября 2020 г. Зафиксировано свыше 200 телесеизмических землетрясений. Большинство событий с удаленных расстояний уверенно выделяются на полосовом фильтре 1.5–3 Гц. Землетрясения также регистрируются на стандартном фильтре 0.7–1.4 Гц. Согласно полученному графику повторяемости для телесеизмических землетрясений  $m_{\text{пред}}=5.3$ .

За первый месяц работы станции KOLBA зарегистрировано 20 региональных и 1 локальное сейсмическое событие. Региональные события выделяются по фильтрам 1.5–3 Гц и от 2 до 4 Гц на расстояниях свыше 1000 км и по фильтрам 4–6 Гц и 4–8 Гц на более близких расстояниях.

Все зарегистрированные на записях с/с KOLBA региональные сейсмические события можно условно разделить на 2 группы. Первая группа событий происходит на эпицентральных расстояниях  $\approx 500$  км от станции. Локальная магнитуда  $M_L$ , выделенных 13 событий 1 группы, находится в диапазоне 2.3–3.0. События выделяются по фильтрам 4–6 Гц и имеют схожую между собой волновую картину – более слабое вступление Р-фазы и более уверенное вступление S-фазы. Волновые формы и результаты обработки представлены на рисунке 2. Эпицентральная окружность неизменно «проходит» вблизи г. Норильск. Для определения локации и выяснения природы подобного рода событий были запрошены данные с/с NRIK и проведена совместная обработка данных события, которое произошло 16.10.2020 г. и лоцируется в районе добывающего предприятия, а значит, с большой вероятностью, имеет техногенную природу. Несмотря на то, что в обработке участвовали всего лишь две станции, проведена достаточно точная локация за счет уверенного определения азимутального направления по записям с/с NRIK. В правой части рисунка 2 слоцированное событие отмечено красным кругом.

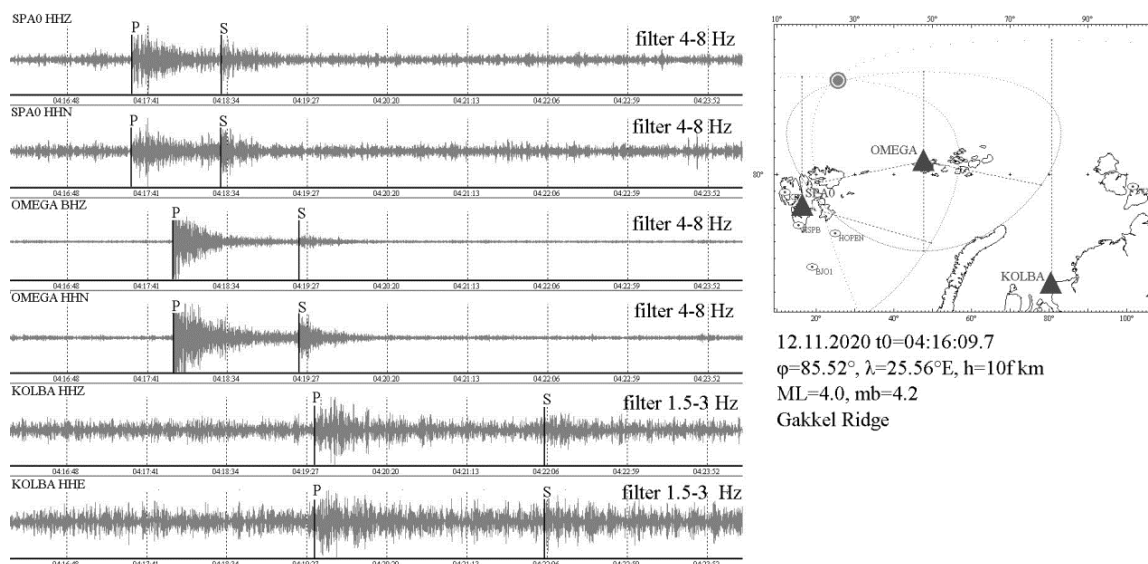
Однако, к подобной волновой картине следует относиться внимательней, любые отклонения от типовой записи и изменения в эпицентральных расстояниях могут свидетельствовать о другой природе события и не относиться к индустриальной деятельности вблизи Норильска. В таком случае потребуется более тщательная обработка события.





**Рис. 2. Региональное сейсмическое событие, зафиксированное на записях с/с KOLBA**

Вторая группа сейсмических событий относится к землетрясениям в Арктике. Несколько землетрясений зарегистрировано с/с KOLBA из района хребта Книповича. Для выделения вступлений применена фильтрация в полосе 1.5–3 Гц и 2–4 Гц. Данные события отмечены в каталогах международных сейсмологических служб NORSTAR (Норвегия) [2], USGS (США) [3] и ССД ФИЦ ЕГС РАН (Россия) [4]. Полученные записи с/с KOLBA в дальнейшем будут включены в совместную (итоговую) обработку по данным АСС. На данный момент удалось оценить расстояние от эпицентров (около 2000 км) и магнитуду зарегистрированных событий по с/с KOLBA  $m_b=4.0-4.2$ . В целом, стоит отметить, что для основных сейсмоактивных зон Арктики (хр. Книповича, Мона и Гаккеля, арх. Шпицберген) по данным с/с KOLBA определяется магнитуда  $m_b$  в объемной Р-волне.



**Рис. 3. Волновые формы и фрагмент обработки землетрясения, произошедшее на хр. Гаккеля 12.11.2020 г.**

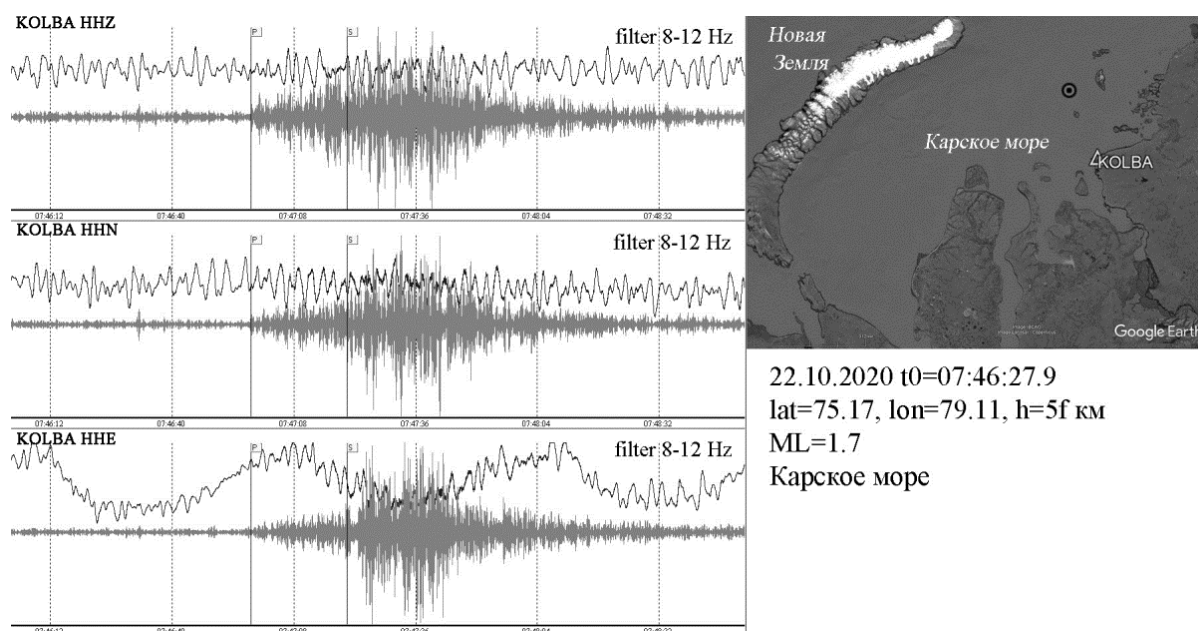
Еще одно региональное землетрясение с эпицентральной расстоянием 1600 км, зафиксированное на записях с/с KOLBA, не отмечено в международных каталогах. Данное событие выделено также на с/с OMEGA, на записях с/с SVZ событие не зарегистрировано. Для определения эпицентра землетрясения дополнительно привлечены



данные с/с SPA0. По данным трех станций удалось лоцировать землетрясение в западной части хребта Гаккеля, как показано в правой части рисунка 3 красным кругом. Локальная магнитуда  $M_L=4.0$  определена по с/с OMEGA,  $m_b=4.2$  – по с/с KOLBA.

Региональное событие 12.11.2020 г.  $t_0=21:28:54.5$  обработано по данным одной станции KOLBA в программе EL [5]. Оно имеет уверенные вступления объемных волн P и S. Путем определения эпицентрального расстояния ( $\Delta=961$  км) и азимутального направления ( $Az=71^\circ$ ) вычислен эпицентр с координатами  $\varphi=74.04^\circ$ ,  $\lambda=111.79^\circ$ . Эпицентр находится в районе Хатангского залива, вблизи полуострова Таймыр. Для уточнения локации требуются дополнительные данные станций «Норильск» и «Тикси».

Одно локальное сейсмическое событие было зарегистрировано 22.10.2020 г. Для выделения события применена фильтрация 6–10 Гц и 8–12 Гц. Волновая форма подобна записям локальных землетрясений на станциях OMEGA, ZFI2, SVZ. Обработка проводилась по данным одной станции в программе EL [5], другими станциями событие не зарегистрировано. Положение эпицентра определено в акватории Карского моря на расстоянии  $\Delta=190$  км. Событие является слабым и имеет локальную магнитуду  $M_L=1.7$ . Волновые формы и результаты обработки показаны на рисунке 4.



**Рис. 4. Волновые формы и фрагмент обработки локального землетрясения в Карском море 22.10.2020 г.**

Анализ первых результатов работы с/с KOLBA показывает, что станция регистрирует региональные события разной природы – техногенные события, связанные с промышленной деятельностью вблизи Норильска и тектонические землетрясения, происходящие как в основных сейсмоактивных зонах Арктики, так на слабосейсмичных территориях.

*Научный руководитель работы – к.т.н. Конечная Яна Викторовна.*

*Работа выполнена при частичной поддержке темы НИР лаборатории сейсмологии, № госрегистрации АААА-А18-118012490072-7 и гранта РФФИ 18-05-70018.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Peterson J. Observation and modeling of seismic background noise / J. Peterson // U.S. Geological Survey. Open-File report 93–322. – 1993. – P. 95.

2. Seismic Bulletins: офиц. сайт. – URL: <https://www.norsar.no/seismic-bulletins> (дата обращения: 14.12.2020).
3. U.S. Geological Survey (USGS) National Earthquake Information Center (NEIC). – URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/> (дата обращения 14.12.2020).
4. ФИЦ ЕГС РАН – URL: <http://www.gsras.ru/new/ssd.htm> (дата обращения 14.12.2020).
5. Асминг В.Э. Создание программного комплекса для автоматизации детектирования, локации и интерпретации сейсмических событий и его использование для изучения сейсмичности Северо-Западного региона: дис. М.: Ин-т динамики геосфер РАН, 2004.

## **THE FIRST RESULTS OF THE OPERATION OF THE SEISMIC STATION "KOLBA"**

*Ekaterina R. Morozova*  
*FECIAR UB RAS, Arkhangelsk*  
*morozova\_er@fciarctic.ru*

**Summary.** On October 11, 2020, a seismic station KOLBA was installed in the Krasnoyarsk Territory. The station is characterized by a low level of microseismic background. Regional seismic events of various natures were recorded on the records of the KOLBA station. There are technogenic events associated with industrial activities near Norilsk and tectonic earthquakes occurring in the main seismic active zones of the Arctic. An extended set of frequency filters should be used to identify regional events in the analysis and routine processing of KOLBA station data. It is also important to use the maximum possible number of processing stations.

**Key words:** KOLBA, seismic station, seismic events, earthquake, epicenter, magnitude, frequency filter.

УДК 550.3:537.811+528.42:551.242

## СВЯЗЬ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭНДОГЕННОГО ПОЛЯ С СЕЙСМИЧНОСТЬЮ (ЧУЙСКАЯ ОБЛАСТЬ, КЫРГЫЗСТАН)

*Ненеина Ксения Сергеевна  
НС РАН, г. Бишкек, Республика Кыргызстан  
neks@gdirc.ru*

**Аннотация.** В работе представлены результаты наблюдений эндогенной составляющей сейсмического поля, зарегистрированного градиентной установкой на мониторинговом пункте НС РАН в г. Бишкеке. В качестве примера поведения энергетической характеристики в течение времени приведены записи августа 2020 г. в связи с сейсмическими событиями, зарегистрированными цифровыми сетями KNET и KRNET. Сделан вывод о том, что резкий спад амплитудных значений энергетической характеристики может являться предвестником происходящего землетрясения. Обоснована применимость такого подхода.

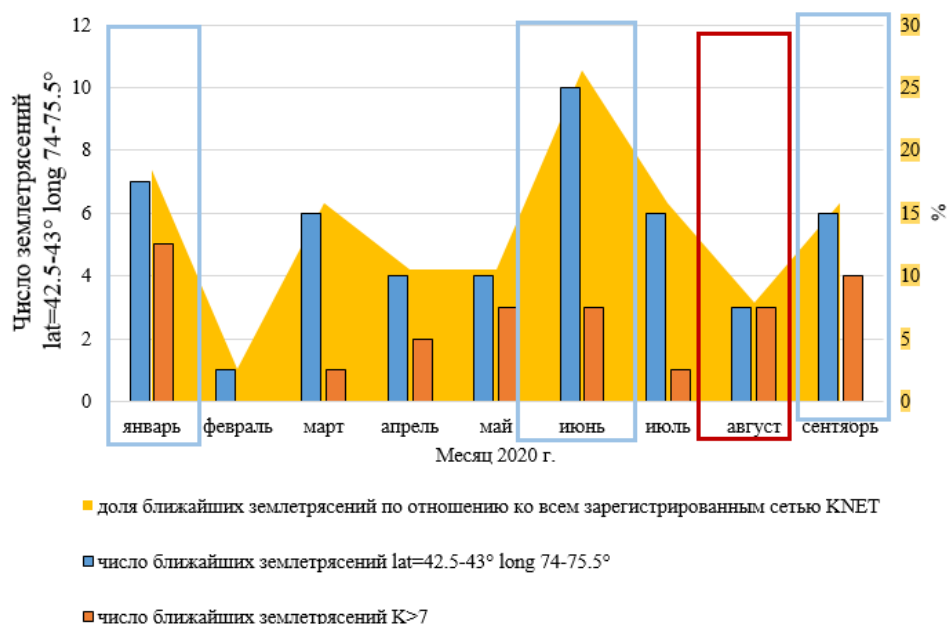
**Ключевые слова:** сейсмичность, предвестник, сейсмическая градиентная установка, эндогенная составляющая.

Научная станция РАН расположена на территории Бишкекского геодинамического полигона в Чуйской области Республики Кыргызстан [1]. Эта зона относится к активному внутриконтинентальному горному Среднеазиатскому орогенному поясу с высокой сейсмичностью. С августа 2018 г. в непрерывном режиме на Научной станции РАН ведется регистрация сейсмического поля градиентной установкой, разработанной при поддержке гранта РФФИ 17-05-00844 [2-4]. В работе [5] введены понятия энергетической характеристики эндогенной составляющей сейсмического поля, измеренного на поверхности земли. Получены ряды наблюдений микросейсмического шума. В целях обработки таких данных для выделения эндогенного поля реализован алгоритм и получено свидетельство на программу для ЭВМ [6].

В предыдущих исследованиях [7-13], полученных в сейсмоактивных регионах Центрального Тянь-Шаня, доказано наличие причинно-следственной связи в поведении энергетических характеристик эндогенной составляющей сейсмического и электромагнитного полей под влиянием пространственно-временного распределения сейсмичности и лунно-солнечных приливов. Этот факт свидетельствует о зависимости между временем возникновения сейсмического события (около точки наблюдения) и откликом в физических параметрах геологической среды мониторингового пункта.

В качестве исходного материала для анализа поведения сейсмичности на территории Бишкекского геодинамического полигона (БГП) в пределах 41.5–43.5° с.ш., 73–77° в.д. использовался региональный сейсмический каталог, составленный в Научной станции РАН по данным цифровой сети KNET, работающей в режиме реального времени и каталог Института сейсмологии НАН КР, включающий данные сети KRNET. Число землетрясений по каталогу KNET 1-3 квартал 2020 г. показано на рис. 1.

Исходя из доступных данных с наличием землетрясений Тянь-Шаня выбран участок с 19 по 31 августа, куда попало 1 землетрясение, представляющее интерес, поскольку оно произошло поблизости (в радиусе 25 км) от Научной станции, где установлена градиентная установка.



**Рис. 1. Число землетрясений по каталогу KNET на 1-3 квартал 2020 г. «Ближайшие землетрясения» в радиусе 25 км от пункта НС РАН**

Для иллюстрации взаимосвязи поведения энергетической характеристики эндогенной составляющей сейсмического поля, зарегистрированного на пункте НС РАН, с сейсмическими событиями (землетрясениями), произошедшими в период наблюдений на территории Тянь-Шаня, время события вынесено на отрезок записи 19.08.2020 (UTC 06:22)-31.08.2020 (UTC 17:22) анализируемых энергетических характеристик по двум горизонтальным компонентам смещений ( $S_x$ ,  $S_y$ ) (рис. 2). Пространственное расположение землетрясений с порядковыми номерами показано на рис. 3.



**Рис. 2. Энергетические характеристики на НС РАН. Вертикальными линиями отмечены времена в очаге землетрясений (1-7), зарегистрированных сетью KNET**

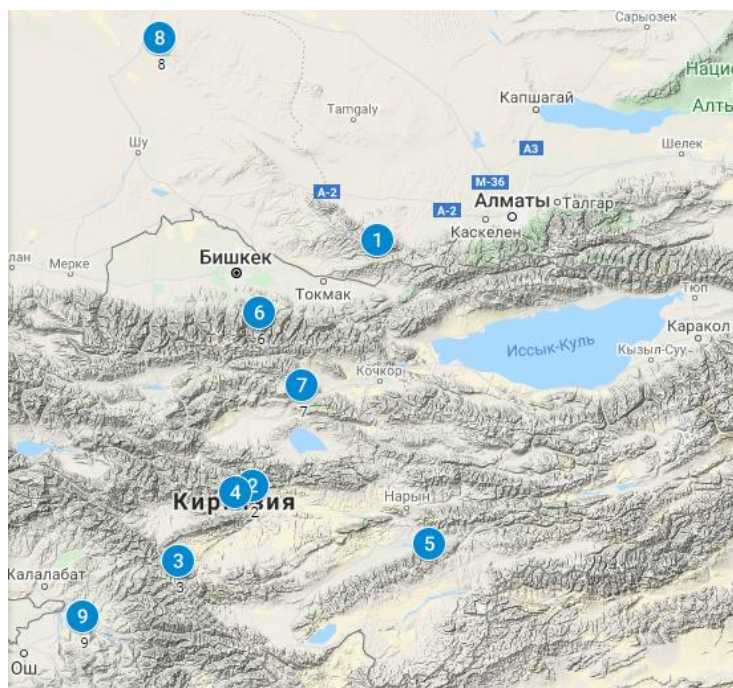


Рис. 3. Карта расположения землетрясений по каталогу KNET. Под номером 6 – непосредственно рядом с НС РАН. 26.08.2020 16:42:04.91 К=9.37 координаты 42.63° с.ш., 74.76° в.д. Глубина очага 14.16 км

### Выводы

Энергетическая характеристика эндогенного сейсмического поля изменчива во времени, и её вариации связаны с происходящими в реальном времени деформационными процессами. Наблюдается эффект, который, возможно, является предвестниковым для происходящих землетрясений. Замечено, что для двух землетрясений (под номерами 6 и 7) замечена общая тенденция. Перед землетрясением (примерно за 2-4 часа) наблюдается резкий спад амплитудных значений энергетической характеристики, а затем (спустя 2-10 часов) идет её нарастание. Эксперимент с градиентной сейсмической установкой доказывает применимость такого подхода при совместном сейсмо-электромагнитном мониторинге для выделения эндогенной составляющей сейсмического поля. Дальнейшие исследования записей градиентной установки связаны с детектированием слабых сейсмоакустических сигналов с помощью корреляционных методов по разработанному алгоритму для выявления дополнительных закономерностей [14].

*Благодарности.* Изучение поведения энергетической характеристики эндогенной составляющей сейсмического поля выполняется при поддержке гранта РФФИ 20-05-00475. Работа по анализу каталога сейсмических событий и подготовке результатов сравнения ведется в рамках государственного задания по теме АААА-А19-119020190064-9.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ФГБУН Научная станция РАН в г. Бишкеке. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gdir.ru/> (дата обращения: 22.01.2021).
2. Казначеев П.А., Матюков В.Е., Александров П.Н., Непейна К.С. Разработка и опробование трехкомпонентной градиентной установки для регистрации сейсмоакустического поля в геодинамически активных регионах // Сейсмические приборы. – 2019. – Т. 55. – № 1. – С. 46-58. <https://doi.org/10.21455/si2019.1-3>.

3. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019618732. «Программа для синхронной регистрации сигналов в многоканальная коммутация на вход одиночного аналого-цифрового преобразователя». Авторы: Казначеев П.А., Непеина К.С. Дата госрегистрации в реестре программ для ЭВМ 04 июля 2019 г. – М.: Роспатент, 2019.
4. Казначеев П.А., Непеина К.С. Алгоритм регистрации сейсмоакустических сигналов с многоканальной коммутацией при неизвестном уровне высокочастотных помех // Современные техника и технологии в научных исследованиях. Сборник материалов XI Международной конференции молодых ученых и студентов. В 2-х томах. – 2019. – Т. 1. – С. 85-88.
5. Баталев В.Ю., Баталева Е.А., Рыбин А.К., Александров П.Н., Матюков В.Е., Непеина К.С., Забинякова О.Б., Казначеев П.А. Теоретические обоснования исследований деформационных процессов в литосфере Земли на основе сейсмических и электромагнитных полей эндогенного происхождения // В кн.: Математическое моделирование процессов и систем: по мат. пленар. докл. VIII Междунар. молод. науч.-практ. конф. – Стерлитамак: Башк. гос. унив., 2018. – С. 95-122.
6. Александров П.Н., Непеина К.С. Программа обработки данных регистрации сейсмических данных, зарегистрированных градиентной установкой. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019618936, 08.07.2019. – М.: Роспатент, 2019.
7. Рыбин А.К., Баталева Е.А., Леонов М.Г., Пржиялговский Е.С., Кожоголов К.Ч., Никольская О.В., Мамыров Э.М. Современная геодинамическая активность земной коры северного Тянь-Шаня и опасные геологические процессы // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета. – 2016. – Т. 16. – № 5. – С. 157-163.
8. Александров П.Н., Казначеев П.А. Анализ волнового поля, измеряемого градиентной установкой / Тезисы докладов Международной Юбилейной научной конференции, посвященной 40-летию со дня образования Научной станции РАН в г. Бишкеке «Воздействие внешних полей на сейсмический режим и мониторинг их проявлений». – Бишкек: НС РАН, 2018. – С. 139-146.
9. Матюков В.Е., Баталева Е.А., Непеина К.С. О новых возможностях в изучении необратимых деформаций литосферы Тянь-Шаня // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2019. – Т. 6. – № 1. – С. 189-196.
10. Непеина К.С., Казначеев П.А., Александров П.Н. Сейсмический мониторинг современных геодинамических процессов с использованием градиентной установки // Вестник Камчатской региональной организации Учебно-научный центр. Серия: Науки о Земле. – 2019. – № 4 (44). – С. 84-92. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2019-4-44-84-92>.
11. Непеина К.С. Результаты измерений сейсмической градиентной установкой для задач сейсмо-электромагнитного мониторинга геодинамической активности литосферы Тянь-Шаня // Физика окружающей среды: материалы XIV Международной Школы молодых ученых «Физика окружающей среды» им. А.Г. Колесника. – Томск: STT, 2020. — С. 64-67.
12. Непеина К.С., Матюков В.Е. Проявление сейсмо-электрического эффекта в вариациях геофизических параметров на Бишкекском геодинамическом полигоне // Интерэкспо ГЕО-Сибирь - "Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология": Материалы XVI международной научной конференции

- (г. Новосибирск, 20-24 апреля 2020 г.). – 2020. – С. 504-513. <http://dx.doi.org/10.18303/B978-5-4262-0102-6-2020-054>.
13. Rybin A., Bataleva E., Nepeina K., Matiukov V., Alexandrov P., Kaznacheev P. Response of cracking processes in variations of geophysical fields // Journal of Applied Geophysics. – 2020. – 181. – 104144. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2020.104144>.
  14. Казначеев П.А., Непейна К.С., Кох В.В., Краюшкин Д.В., Казначеев С.А. Детектирование слабых сейсмоакустических сигналов с помощью корреляционных методов // XII международная конференция молодых ученых и студентов «Современные техника и технологии в научных исследованиях». – Бишкек: ИС РАН, 2020. – С. 70-73.

## **THE RELATIONSHIP OF THE VARIABILITY OF THE ENERGY CHARACTERISTICS OF ENDOGENOUS FIELD WITH THE SEISMICITY (CHUY REGION, KYRGYZSTAN)**

*Kseniya S. Nepeina*  
*RS RAS, Bishkek, Kyrgyz Republic*  
*neks@gdirc.ru*

**Summary.** The paper presents the results of observations of the endogenous component of the seismic field recorded by the gradient system at the monitoring point of the RS RAS in Bishkek. As an example of the behavior of the energy characteristic over time, the records of August 2020 are given in connection with the seismic events, recorded by the digital networks KNET and KRNET. It is concluded, that a sharp drop in the amplitude values of the energy characteristic can be a precursor of an ongoing earthquake. The applicability of this approach has been justified.

**Key words:** seismicity, precursor, seismic gradient system, endogenous component.

УДК 551.24

## ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОТОЧНОЙ КРУПНОМАСШТАБНОЙ АЭРОМАГНИТНОЙ СЪЕМКИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ ФУНДАМЕНТА ПЛАТФОРМ

*Попков Иван Васильевич*  
*Кубанский государственный университет, г. Краснодар*  
*geoskubsu@mail.ru*

**Аннотация.** На примере запада Туранской плиты показана возможность высокоточной аэромагнитной съемки при изучении внутреннего строения фундамента платформы. На основании проведенного анализа выделены крупные сегмента земной коры разного возраста: Мангышлакский, (палеозойская и раннекиммерийская складчатые системы), Бузачинско-Северо-Устюртская зона крупномозаичного магнитного поля (докембрийский массив) и Южно-Эмбинская зона линейных дислокаций, отвечающих одноименной складчатой зоне. Рассмотрена внутренняя структура выделенных геоблоков. Привлечение материалов глубокого бурения позволило определить состав слагающих их пород.

**Ключевые слова:** аэромагнитная съемка, аномальные зоны, фундамент, тектоника, разломы.

Прямые геологические данные о строении фундамента платформенных территорий ограничены материалами, полученными в глубоких скважинах, распространенных к тому же на площади крайне неравномерно. В этих условиях большое значение приобретает геофизическая информация, особенно магнитометрическая, поскольку в магнитном поле отражаются внутренние неоднородности складчатого основания платформы.

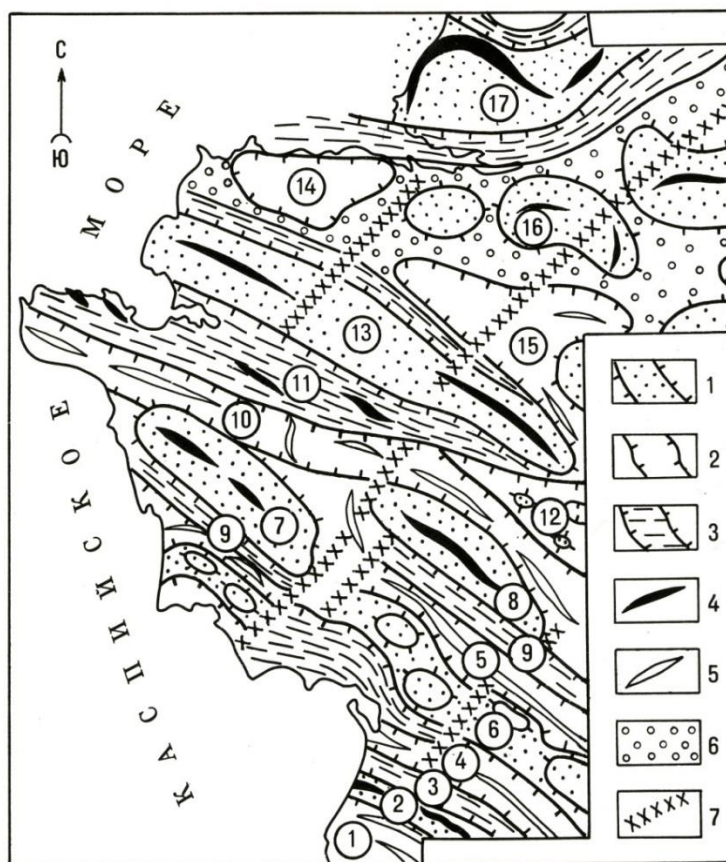
Исследуемая территория запада Туранской плиты перекрыта высокоточной аэромагнитной съемкой масштаба 1:50000 [4, 7] Применение высокочувствительной квантовой аппаратуры позволило выполнить результирующие графические построения с сечением в 2 нТл. Анализ полученного материала позволяет внести весомые коррективы в существующие представления о глубинном строении рассматриваемого региона.

На самом юге площади исследований, в пределах северо-западного склона Карабогазского свода, выделяются два удлинённых локальных минимума  $\Delta T_a$ , размерами 40 x 15 км (рис. 1, 1 – здесь и далее номер соответствует номеру тектонического элемента, отмеченного на рисунке). Глубокими скважинами на площадях Букбаш, Бирбас, Тамды, Южный Аламурын – Джанаорпа, располагающимся на периферийных частях данных минимумов вскрыты гранитоидные интрузии. Следовательно, можно говорить о том, что этим минимумам отвечают крупные батолиты в теле фундамента Карабогазского массива.

К северу от них выделяется линейная зона (ширина около 10 км) слабых субширотных максимумов (2) По данным количественных расчетов глубина до верхней кромки магнитных масс колеблется от 4,4 до 6,0 км. Им же соответствуют и локальные аномалии повышенных значений ускорения силы тяжести. В плане данная зона совпадает с южной частью Карауданского вала (зона складчатого пермо-триаса), отделенного от Карабогазского массива крупным разломом, и может соответствовать породам основного и ультраосновного составов, входящим в состав раннекиммерийского офиолитового комплекса. Последний детально изучен на юго-восточном продолжении данной зоны в пределах Туаркырской антиклинали [1]. Анализ геофизических материалов



предшествующих лет позволил проследить распространение данных образований на запад и юго-восток от рассматриваемой площади на расстояние около 800 км в акваторию Каспия.



**Рис. 1. Строение фундамента западных районов Туранской плиты по материалам высокоточной аэромагнитной съемки**

1 – зоны максимумов  $\Delta T_a$ ; 2 – зоны минимумов  $\Delta T_a$ ; 3 – высокоградиентные зоны  $\Delta T_a$ ; 4 – оси положительных аномалий; 5 – оси отрицательных аномалий; 6 – слабозмущенное магнитное поле; 7 – основные поперечные нарушения. Цифры на карте - нумерация аномальных зон, наименования см. в тексте.

Северная половина Карауданского вала отображается в магнитном поле в виде узкой (10 – 15 км) зоны повышенных значений горизонтального градиента (3).

Наиболее крупной и сложно построенной структурной единицей фундамента является Жазгурлинская депрессия, отображенная в региональном поле  $\Delta T_a$  в виде обширного минимума (рис. 1). С севера и юга на его фоне выделяются два линейных минимума (4, 5), наиболее интенсивный из них – южный, прилегающий к Карауданской градиентной зоне и продолжающийся на запад в акваторию Каспия. Не исключено, что последний связан с зоной развития мраморизованных известняков палеозойского фундамента, вскрытых буровыми скважинами в северной части Туаркыра [1].

В пределах Жазгурлинской депрессии отмечается и другой тип аномалий (осевая ее часть), имеющих изометричную форму и сгруппированных в единую зону северо-западного простирания (6). В локальной составляющей магнитного поля им отвечают отчетливые положительные аномалии. Количественные расчеты показывают глубину до верхней кромки магнитовозмущающих объектов около 5,1 км, что в первом приближении соответствует поверхности фундамента.

Аналогичная аномальная зона, но имеющая дугообразную форму, выявлена на мысе Песчаный. Аномалии смещены друг от друга на расстояние около 35 км по крупному левостороннему сдвигу [2]. В пределах северо-западной аномалии на Оймашинской площади многочисленными скважинами вскрыты метаморфические сланцы, прорванные интрузией гранитов (глубины 3,5 – 3,9 км). Граниты практически немагнитны. В то же время расчеты показали, что верхние кромки магнитно-возмущающих объектов находятся здесь на глубине 5,0 – 5,6 км. Следовательно, можно предполагать наличие в более глубоких горизонтах фундамента магматических тел среднего или даже основного состава. Подтверждением этому могут служить дайки диабазовых порфириров, а также дайки свежих пород базальтоидного облика, подсеченные здесь в ряде скважин [9].

Как отмечалось выше, в 60 км к югу располагается зона, отождествляемая с древним офиолитовым швом, т.е. можно говорить о наличии здесь погребенной ранне-киммерийской сутуры. В таком случае не исключено, что описанная зона изометричных аномалий, окаймляющая ее с внешней стороны, отвечает палеозойским вулканическим постройкам, поставившим магматический материал андезито-базальтового ряда. Слабоокатанные гальки этих пород известны в низах пермо-триасового разреза, вскрытого скв. Темир-Баба 1-П [1].

К северу в региональном магнитном поле выделяются два крупных максимума размером 100 x 30 км каждый, смещенных друг относительно друга по линеamentу северо-восточного простирания на 35 км. Северо-западный из них сечет современную платформенную структуру, простираясь от западной периклинали Беке-Башкудукского вала до Жетыбайской группы структур Жетыбай-Узеньской ступени (7). Восточный (8) в плане примерно совпадает с юго-восточной перикликалью Беке-Башкудукского вала с эпицентром в районе поднятия Шалабай. Данные структуры интерпретируются нами как выступы фундамента, интродуцированные магматическими телами кислого или среднего состава. Глубоким бурением освещено строение фундамента Дунгинско-Жетыбайского блока на площадях Северное Карагие, Северо-Западный Жетыбай, Бектурлы, Жетыбай, Придорожная и Южный Жетыбай и др. [6, 8] Слагается он слабометаморфизованными терригенными образованиями, несущими на себе слабые следы термального воздействия интрузий. На площадях Северо-Западный Жетыбай и Северное Карагие, приближенных к его апикальной части, отмечено также резкое сокращение мощности триасового разреза, особенно его нижней пестроцветной части (до первых десятков метров), с появлением аркозовой дресвы. На поднятии Бортовое скважинами вскрыта позднекаменная гольные граниты [6]. Прямых сведений о глубинном строении Шалабайского блока нет. По аналогии с Дунгинско-Жетыбайским выступом допускается сходное его строение.

С юго-запада оба максимума ограничены мощными зонами градиентов  $\Delta T_a$  (9), смещенных также по латерали по поперечному нарушению.

К северу от описанных выступов выделяется узкая протяженная (350×20-25 км) зона линейных минимумов (10). В западной части она четко совпадает в плане с Чакырганским платформенным прогибом, в восточной смещается к северу от него, захватывая район Тумгачинского вала. Не исключено, что она фиксирует распространение карбонатных отложений в палеозойском разрезе, на что косвенно могут указывать обильные находки гальки известняков карбона на Тумгачинском вале и некоторых других площадях Восточного Мангышлака, а также результаты бурения на площади Саура-Сегенды, где вскрыты карбонатные отложения палеозойского фундамента [8].

Каратауская мегантиклиналь в магнитном поле отражена мощной зоной градиентов  $\Delta T_a$  (11), осложненной локальными положительными аномалиями северо-западной ориентации, располагающимися кулисообразно и совпадающими в плане с

хребтами Западного и Восточного Каратау, где на дневную поверхность выведены складчатые образования пермо-триаса.

Детальной аэромагнитной съемкой закрыта лишь западная часть Восточно-Мангышлакской зоны дислокаций. Поле  $\Delta T_a$  имеет здесь мелкомозаичное строение, отражающее сложную складчато-надвиговую структуру данной территории (12).

Крупная зона развития интрузивных пород основного, вероятно габбрового, состава располагается в пределах Южно-Бузачинского прогиба, которому в плане соответствует протяженный (280 км) линейный (ширина 35-45 км) максимум  $\Delta T_a$ , очерчивающий Мангышлакскую систему дислокаций с северо-востока (13). Смена знака поля происходит по-крупному Кырынско-Токубайскому разлому, отделяющему прогиб от Северо-Бузачинского и Арстановекого минимумов  $\Delta T_a$  (14 и 15 соответственно). Фундамент последних сложен слабомагнитными породами. В их пределах отмечаются достаточно обширные по площади локальные максимумы  $\Delta T_a$ , указывающие на развитие линз эффузивных магматических пород среднего состава. Расчеты показывают на приуроченность их к низам доюрского осадочного комплекса. На ряде площадей здесь в низах доюрского разреза вскрыты дайки андезитовых порфиритов – возможных подводящих каналов магматических расплавов.

Более широкое развитие эффузивных образований среднего состава в допермском разрезе предполагается в районе Култукской депрессии (16), отраженной в магнитном поле повышенными значениями  $\Delta T_a$ .

Расположенный с севера Южно-Эмбенский прогиб (17) отражен в магнитном поле мощной зоной положительных значений  $\Delta T_a$  и ограничен с севера и юга резкими градиентными зонами. Внутри него отчетливо вырисовывается узкая ломаная линия интенсивных положительных максимумов, фиксирующая, вероятно, развитие ультрабазитов. Данная зона прослеживается далее на запад несколько севернее полуострова Бузачи через Каспийское море, южную часть Астраханского свода к валу Карпинского в Предкавказье [5, 7].

При рассмотрении описанной картины в целом отметим, что в магнитном поле анализируемой территории отчетливо выделяются три крупных сегмента земной коры: 1) Мангышлакский, включающий и Южно-Бузачинский максимум, где развиты линейные аномальные зоны северо-западной ориентации (палеозойская складчатая зона), 2) Бузачинско-Северо-Устюртская зона крупномозаичного магнитного поля и 3) Южно-Эмбинская зона линейных дислокаций, отвечающих одноименной складчатой зоне. Сходный характер магнитного поля северной части полуострова Бузачи и Северного Устюрта позволяет включить первую в состав Северо-Устюртского докембрийского массива. Граница его с Мангышлакским геоблоком проходит по линии Каражанбас – Кызан – Кырын, совпадая с крупным региональным надвигом [3]. В то же время, линейный характер аномалий в пределах Южного Мангышлака не подтверждает достаточно широко распространенную точку зрения об отнесении его к массиву докембрийской континентальной коры. Территория Мангышлака должна быть включена в состав эпипалеозойской складчатой зоны запада Туранской плиты.

Таким образом, анализ материалов аэромагнитной съемки в комплексе с материалами бурения позволил выяснить особенности внутреннего строения фундамента обширной территории запада Туранской плиты. Последнее дает возможность более аргументированно подойти к раскрытию закономерностей ее геологического развития и оценке перспектив нефтегазоносности.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 19-05-00165-а; РФФИ и администрации Краснодарского края, проект 19-45-230005 p\_a.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попков В.И. О западном продолжении складчатых сооружений Туаркыра // Бюллетень МОИП. Отд. геол. 1984. Т. 59. Вып. 2. С. 43–49.
2. Попков В.И. Присдвиговые дислокации глубокопогруженных зон Южно-Мангышлакского прогиба // Доклады АН СССР. 1990. Т. 311. № 4. С. 936–938.
3. Попков В. И. Кырынско-Токубайский вал - крупнейшая надвиговая структура запада Туранской плиты // Доклады АН СССР. 1989. Т. 309. № 4. С. 954–957.
4. Попков В.И., Калинин М.И., Сейфулин Ш.М. Глубинное строение запада Туранской плиты // Доклады АН СССР. 1985. Т. 284. № 41. С. 939–943.
5. Попков В.И., Калинин М.И., Сейфулин Ш.М. Глубинное строение Северного Каспия // Доклады АН СССР. 1989. Т. 305. № 2. С. 409–412.
6. Попков В.И., Попков И.В. Состав и постдиагенетические преобразования отложений нижнего структурного яруса палеозоя запада Туранской плиты // Геология, география и глобальная энергия. 2019. № 4(75). С. 67–77.
7. Попков В.И., Попков И.В. Структура фундамента Мангышлака и Устюрта по геофизическим данным // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов академии наук Республики Башкортостан. 2020. № 27. С. 52–57.
8. Попков В.И., Япаскурт О.В., Демидов А.А. Особенности строения фундамента Мангышлака // Известия АН СССР. Серия геологическая. 1986. № 5. С. 135–143.
9. Попков В.И., Япаскурт О.В. К строению фундамента Мангышлака // Доклады АН СССР. 1982. Т. 262. № 2. С. 423–425.

**APPLICATION OF HIGH-PRECISION LARGE-SCALE  
AEROMAGNETIC SURVEY IN THE STUDY OF THE INTERNAL  
STRUCTURE OF THE FOUNDATION OF PLATFORMS**

*Ivan V. Popkov*  
*Kuban State University, Krasnodar*  
*geoskubsu@mail.ru*

**Summary.** On the example of the west of the Turan plate, the possibility of high-precision aeromagnetic survey in the study of the internal structure of the platform foundation is shown. Based on the analysis, large segments of the earth's crust of different ages were identified: the Mangyshlak (Paleozoic and Early Cimmerian folded systems), the Buzachin-North Ustyurt zone of a large-mosaic magnetic field (Precambrian massif) and the South Embin zone of linear dislocations corresponding to the folded zone of the same name. The internal structure of the selected geoblocks is considered. The use of deep drilling materials made it possible to determine the composition of the rocks composing them.

**Key words:** aeromagnetic survey, anomalous zones, foundation, tectonics, faults.

УДК 550.38; 550.348

## ГЕОМАГНИТНЫЕ АНОМАЛИИ В ПЕРИОД ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В ЭГЕЙСКОМ МОРЕ (2020)

*Рябова Светлана Александровна*  
*ИДГ РАН, г. Москва*  
*riabovasa@mail.ru*

**Аннотация.** 30 октября 2020 г. в 11:51 по Гринвичу в Эгейском море произошло землетрясение с магнитудой 7,0. В данной статье представлены результаты анализа данных геомагнитного мониторинга в период основного толчка землетрясения. В качестве исходных данных используются результаты инструментальных наблюдений за геомагнитным полем на обсерваториях сети ИНТЕРМАГНЕТ и на Геофизической обсерватории «Михнево» ИДГ РАН.

**Ключевые слова:** землетрясение, геомагнитное поле, вариации, аномалии, инструментальные наблюдения.

30 октября 2020 г. в 14:51 по местному времени (11:51 по Гринвичу) в Эгейском море произошло землетрясение. Геологическая служба США (USGS) оценила магнитуду землетрясения в 7,0 [9]. Эпицентр события располагался примерно в 14 км к северо-востоку от греческого острова Самос и юго-западнее побережья турецкой провинции Измир.

Землетрясение произошло в результате нормального сброса на небольшой глубине земной коры в пределах тектонической плиты Евразии в восточной части Эгейского моря, примерно в 250 км к северу от ближайшей границы основной плиты, где Африканская плита перемещается на север со скоростью примерно 10 мм/год в сторону Евразии [9]. Из-за местоположения эпицентра землетрясение считается внутриплитным. Было зарегистрировано в общей сложности более 140 афтершоков.

Таблица 1

**Параметры очага землетрясения в Эгейском море (2020)**

Время UTC	Широта	Долгота	Глубина, км	mww
11:51:27	37.897	26.784	21	7.0

Геомагнитные аномалии в период землетрясений неоднократно рассматривались в литературе [5-8]. В целом, обнаружено, что на последней стадии подготовки землетрясения, в период основного толчка, а также в период афтершоковой активности регистрируются возмущения магнитного поля на земной поверхности [2-4].

В настоящей работе представлены предварительные результаты инструментальных наблюдений за геомагнитным эффектом, сопровождающим землетрясение в Эгейском море (2020).

В качестве исходных использовались результаты инструментальных наблюдений, выполненных в Геофизической обсерватории «Михнево» ИДГ РАН и в некоторых обсерваториях сети ИНТЕРМАГНЕТ (табл. 2).

Для анализа использовались ряды цифровых записей магнитного поля, выполненных на земной поверхности, сформированные с дискретностью 1 мин на основе данных сети ИНТЕРМАГНЕТ и с дискретностью 2 с на основе данных MNV.

Список пунктов геомагнитного мониторинга

Название	Код	Широта	Долгота	Расстояние до события, км
Бельск (Польша)	BEL	51.84	20.79	1619
Будков (Чехия)	BDV	49.08	14.02	1610
Иркутск (РФ)	IRT	52.27	104.45	5995
Изник (Турция)	IZN	40.5	29.72	384
Хабаровск (РФ)	KHB	47.61	134.69	8132
Киев (Украина)	KIV	50.72	30.3	1453
Лоньско Поле (Хорватия)	LON	45.41	16.66	1184
Львов (Украина)	LVV	49.9	23.75	1356
Михнево (РФ)	MHV	54.94	37.73	2067
Надьченк (Венгрия)	NCK	47.63	16.72	1356
Новосибирск (РФ)	NVS	54.85	83.23	4572
Панагьюриште (Болгария)	PAG	42.5	24.2	557
С.-Петербург (РФ)	SPG	60.54	20.72	2553

Анализ геомагнитной обстановки в период землетрясения показал, что за 30 октября 2020 г. значение Кр-индекса не превысило 2, а максимальное значение за сутки К-индекса наблюдалось в период с 21:00 30 октября 2020 г. по 00:00 31 октября 2020 г., что свидетельствует об отсутствии значимых проявлений магнитной активности в период землетрясения в Эгейском море (2020). Это позволяло выделять наведенные землетрясением геомагнитные вариации на фоне солнечной составляющей.

Обработка и анализ результатов регистрации магнитного поля, выполненной на обсерваториях сети ИНТЕРМАГНЕТ и на обсерватории «Михнево» в период землетрясения 30 октября 2020 г. показали, что в период основного толчка землетрясения фиксируются геомагнитные возмущения. Аномалии возникают практически одновременно на записях обсерваторий, отстоящих друг от друга на значительном расстоянии. Вызванные землетрясением геомагнитные возмущения, в целом, проявляются в виде повышения индукции магнитного поля. Следует отметить, что анализ записей магнитного поля осложнен тем, что непосредственно за основным толчком наблюдались афтершоковые события.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геофизическая обсерватория Михнево. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://idg.chph.ras.ru/mikhnevo.php> (дата обращения: 01.03.2020)
2. Гульельми А.В., Зотов О.Д. О магнитных возмущениях перед сильными землетрясениями // Физика Земли. – 2012. – № 2. – С. 84-87.
3. Зотов О.Д., Гульельми А.В., Собисевич А.Л. О магнитных предвестниках землетрясений // Физика Земли. – 2013. – № 6. – С. 139-147.
4. Рябова С.А. Геомагнитный эффект сильного землетрясения Тохоку 2011 года // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 4. – С. 137-151
5. Сеть обсерваторий ИНТЕРМАГНЕТ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.intermagnet.org> (дата обращения: 01.03.2020)
6. Собисевич Л.Е., Собисевич А.Л., Канониди К.Х. Результаты анализа инструментальных наблюдений аномальных геомагнитных возмущений,

- наведенных землетрясениями в геосферах. Триггерные эффекты в геосистемах. – М.: ГЕОС. 2013. – С. 329-341.
7. Спивак А.А., Рябова С.А. Геомагнитные вариации при сильных землетрясениях // Физика Земли. – 2019. – № 6. – С. 3-12.
  8. Черногор Л.Ф. Геомагнитные возмущения, сопровождавшие Великое Японское землетрясение 11 марта 2011 г. // Геомагнетизм и аэрономия. – 2019. – Т. 59. – № 1. С. 69-82.
  9. U.S. Geological Survey. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.usgs.gov/> (дата обращения: 01.03.2020)

## **GEOMAGNETIC ANOMALIES DURING THE AEGEAN EARTHQUAKE (2020)**

*Svetlana A. Riabova*  
*IDG RAS, Moscow*  
*riabovasa@mail.ru*

**Summary.** On 5 September 2012 at 20:11 GMT, an earthquake of magnitude  $m_{ww}$  7.0, located in the Aegean Sea was happened. This article presents the results of the analysis of geomagnetic monitoring data during the main shock of the earthquake. The initial data are the results of instrumental observations of the geomagnetic field at the INTERMAGNET observatories and at the Mikhnevo Geophysical Observatory of the IDG RAS.

**Key words:** earthquake, geomagnetic field, variations, anomalies, instrumental observations.

УДК 550.034

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФРАКТАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭПИЦЕНТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И СИСТЕМ РАЗЛОМОВ НА ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ АРМЕНИИ

<sup>1</sup>Саакян Бабкен Вазгенович, <sup>2</sup>Геодакян Эдуард Григорьевич,  
<sup>3</sup>Оганесян Севада Мкртичевич, <sup>4</sup>Карапетян Джон Костикович,  
<sup>5</sup>Мкртчян Мери Артушовна  
*Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. акад. А.Г.Назарова,  
Национальной Академий Наук Республики Армении,  
г.Гюмри, Республика Армения*  
<sup>1</sup>sahakyan\_babken@mail.ru, <sup>2</sup>geodakyan.e@mail.ru, <sup>3</sup>iges@mail.ru,  
<sup>4</sup>jon\_iges@mail.ru, <sup>5</sup>mary-mary-86@mail.ru

**Аннотация:** На основе понятия самоподобной иерархии блоковой делимости Земли и применение клеточной метода заполнения сейсмоактивных областей, были определены фрактальные размерности пространственного распределения эпицентров землетрясений и систем сетей разломов на территории центральной части Армении. Результат анализа указывает на четкую корреляцию выделенной протяженной иерархической структуры сейсмичности с отдельными сейсмоактивными разломами территории. Полученные количественные значения  $D_e=1.85\pm 0.15$  и  $D_f=1.92\pm 0.12$  указывают на сходства пространственных характеристик разломов полей эпицентров и, следовательно, общую сбалансированность двух процессов.

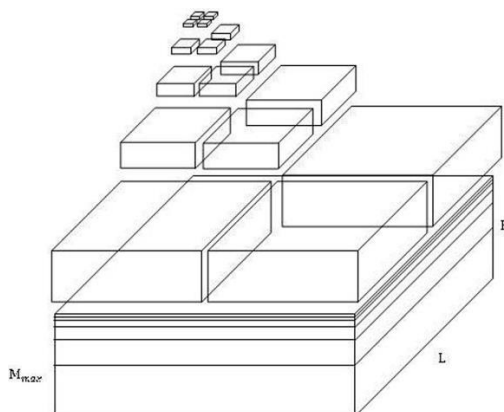
**Ключевые слова:** эпицентр землетрясений, фрактальная размерность, сетей активных разломов, клеточный метод, иерархическая структура.

Согласно современным представлениям, литосфера – структурированная, иерархическая (многоуровневая), самоподобная, грубо дискретная среда [7]. Эти критические явления в природе практически проявляется как в геолого-геоморфологических, вещественно-структурных характеристиках среды так и в различных геофизических полях. О понятии самоподобной иерархии блоковой делимости Земли (рис.1) были опубликованы большое количество работ [4,6].

В последние десятилетия естественные науки в науки о Земле существенно начали использовать методами теорий динамических систем, фракталов, теории катастроф, самоорганизации, синергетики. Эти идеи, часто объединенные понятием «нелинейной науки» (nonlinear science) и радикально изменяют представления о соотношениях, упорядоченности и хаотичности, предсказуемости и непредсказуемости, стационарности и катастрофичности, которые сейчас активно внедряются [5]. Как показывают эксперименты, неравновесные системы обычно сбрасывают энергию в отдельных точках, диссипации, а множества точек диссипации образуют пространственно-временные диссипативные структуры. Для исследования сейсмичности в последнее время активно применяются подходы, которые разработаны в теории фракталов. Об описание формы природных объектов Б.Мандельброт в 60-х годах XX-го столетия ввел понятие фрактальной (от латинского fractus – "дробный", и frangere – "ломать") геометрии, определяя фрактал, как "структуру, состоящую из частей, не зависящих от масштаба рассмотре-



ния так называемый масштабная инвариантность или скейлинг (scaling), которые в каком-то смысле подобны целому".



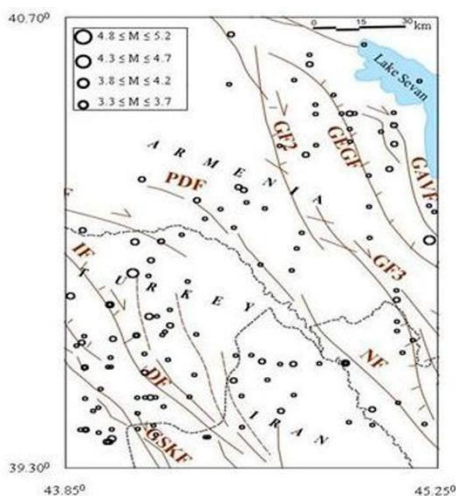
**Рис. 1. Фрактальность и масштабная инвариантность геологической среды**

Важное место в теории фракталов занимает понятие фрактальной размерности  $D$ . Для расчета фрактальной размерности часто принимаются различные меры: размерность подобия, размерность Хаусдорфа-Безиковича, размерность Минковского, которые близки между собой по смыслу. Одним из наиболее часто используемых методов исследования фрактальной размерности является вычисление клеточной размерности (box dimension) путем подсчета числа клеток, содержащих контур фрактала [3]. Фрактальная размерность  $D$  не зависит от масштаба рассмотрения и является показателем в степенном законе вида:

$$N \sim L^{-D} \quad (1)$$

где:  $L$  - размер клеток соответствующему каждому иерархическому энергетическому уровню,  $N$  - количество заполненных клеток, для каждого энергетического уровня,  $D$  - коэффициент самоподобия и фрактальная размерность пространственного распределения. Эта универсальная методика позволяет рассматривать пространственно-энергетическую иерархическую структуру сейсмичности как на региональных, так и на локальных уровнях [8].

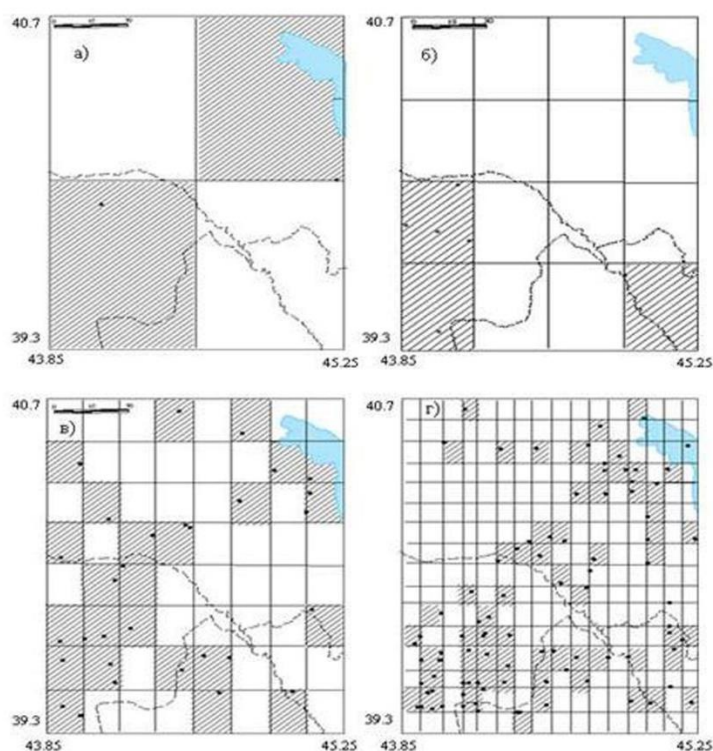
В настоящей работе поставлена цель, определить фрактальные размерности пространственного распределения эпицентров землетрясений [1] и систем сетей разломов [2] на территории центральной части Армении (рис.2).



**Рис. 2. Карта пространственного распределения эпицентров землетрясений и сетей активных разломов территории центральной части Армении**

Эти исследования являются актуальной научно-прикладной задачей, направленной на детальные изучения сейсмичности этой густо населенной территории, где расположены основные ответственные объекты и стратегически важные сооружения республики. Наличие этих факторов послужил основой 80-их годах прошлого века, организовать, в этом районе Араратский сейсмопрогнозтический полигон с центром Гарнийского подземного геофизической обсерваторией. Здесь начали осуществляться комплексные сейсмологические, геофизические, геологические, геодинамические и геохимические наблюдения с целью выявления различных предвестников землетрясений.

Для выявления иерархической структуры слабой сейсмичности исследуемой территории исходные данные магнитуд классифицировались по величине  $\pm 0.2$ , и на их основе построены карты пространственного распределения эпицентров для каждого энергетического уровня (рис.3).



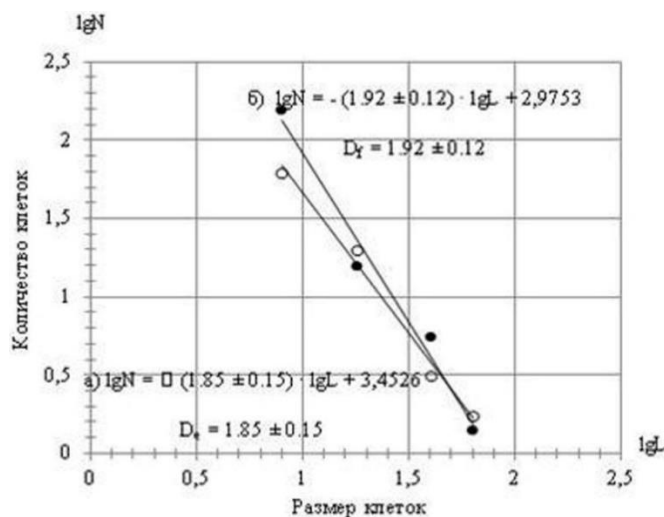
**Рис. 3. Пространственное распределение заполненных клеток для каждого иерархического-энергетического уровня: а)  $M_{\max}=5\div 4.5$ ; б)  $M_{\max}=4.5\div 4$ ; в)  $M_{\max}=4\div 3.5$ ; г)  $M_{\max}=3.5\div 3$**

Анализ карт показывает, что на первом энергетическом уровне с магнитудным диапазоном  $M=5\pm 0.2$  (рис.3а) выделяются 2 заполненные клетки, расположенные в северо-западной и юго-восточной части территории. В этих зонах расположены очаги уже произошедших Игдирского ( $M=5.2$ ; 1962г) и Мартунийского ( $M=5$ ; 1992г) землетрясения.

На втором иерархическом уровне с возможной магнитудой  $M=4.5\pm 0.2$  (рис.3б); выделяются 3 области, расположенные южной части исследуемой территории, 2 из которых совпадает с областью выделенном на первом иерархическом уровне, а 3-ий является их юго-восточным продолжением. В магнитудном диапазоне  $4\pm 0.2$  (рис.3в) количество заполненных клеток существенно увеличивается, формируя на юго-западной и северо-восточной части исследуемой территории 2 протяженные структуры наблюден-

ной сейсмичности, имеющие Кавказское направление. В центральной части этих структур выделяются заполненные две клетки, которые, по всей вероятности, являются началом формирования протяженной структуры более низкого энергетического уровня.

Особый интерес представляет пространственное распределение эпицентров в энергетическом диапазоне  $3,5 \pm 0,2$  (рис.3г), где заполненные клетки почти покрывают всю исследуемую территорию, за исключением его северо-западной части. В центральной части исследуемой территории заполненные клетки полностью формируют протяженную структуру, имеющую антикавказское направления.



**Рис. 4. Фрактальные размерности пространственного распределения эпицентров землетрясений (а) и систем сетей активных разломов (б)**

Обобщая результаты анализа карт, приходим к заключению, что слабая сейсмичность исследуемой территории имеет сложную иерархическую структуру. На юго-западной части выделяется довольно обширная область, где наблюдается иерархическая структура сейсмичности на всех энергетических фрактальных уровнях. На северо-восточной части выделяются 3 иерархических уровня сейсмичности, в которой отсутствует энергетический уровень в диапазоне  $4,5 \pm 0,2$ . В отличие от этих структур в центральной части, по диагонали от юго-западной к северо-востоку, наблюдается иерархическая структура в диапазоне  $3,5 \pm 0,2$ . Для сопоставления наблюдаемой иерархической структуры сейсмичности с активными сейсмо тектоническими разломами исследуемой территории, по вышеуказанной методике были определены фрактальные размерности пространственного распределения эпицентров землетрясений и систем сетей активных разломов (рис.4).

Результат анализа указывает на четкую корреляцию выделенной протяженной иерархической структуры сейсмичности с отдельными сейсмоактивными разломами территории. Сопоставительный анализ в качественном уровне показывает, что на северо-восточной части исследуемой территории, иерархическая структура трассирует активные сегменты Гаварагетского (GAV) и Гегамского разлома (GEG). На юго-западной части протяженность заполненных клеток довольно хорошо коррелируется с Сардарпат-Паракар-Двинским (SPD), Игдирским (I), Догубайазетским (D) системам активных разломов, а в центральной части территории заполненные клетки трассируют Арарат-Севанский разлом, имеющий антикавказское направления.

Полученные количественные значения  $D_e = 1,85 \pm 0,15$  и  $D_f = 1,92 \pm 0,12$  указывают на сходства пространственных характеристик разломов полей эпицентров и, следовательно, общую сбалансированность двух процессов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Землетрясения Северной Евразии 1991-2011гг.//Российская академия наук геофизическая служба Обнинск 1997-2017гг.
2. Караханян А.С. Активная тектоника и сейсмичность. В кн.://Геология Севана. Ереван: Изд. НАН РА, 1994, стр.122-128.
3. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. Москва – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. 656С.
4. Оганесян С.М., Геодакян Э.Г., Саакян Б.В. О сложной природе накопления напряжений в зоне коллизии подготовки тектонического землетрясения //Коллективная монография. Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии. (VII международная научно-практическая конференция, Владикавказ, 30 сентября-02 октября 2019), Владикавказ, 2019, стр.55-65.
5. Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов - М.: ИЛ, 1960. 166с.
6. Ребецкий Ю.Л. Тектонические напряжения и прочность горных массивов - М.: Наука, 2007. 406с.
7. Садовский М.А. Автомодельность геодинамических процессов // Вестн. АН СССР. – 1986. – № 8. – стр. 3–11.
8. Садовский М.А., Писаренко В.Ф. Сейсмический процесс в блоковой среде. – М.: Наука, 1991. – 96с.

## DETERMINATION OF FRACTAL DIMENSIONAL SPATIAL DISTRIBUTION OF EARTHQUAKE EPICENTERS AND FAULT SYSTEMS IN THE TERRITORY OF CENTRAL ARMENIA

<sup>1</sup>*Babken V. Sahakyan*, <sup>2</sup>*Eduard G. Geodakyan*, <sup>3</sup>*Sevada M. Hovhannisyan*,  
<sup>4</sup>*Jon K. Karapetyan*, <sup>5</sup>*Mkrtchyan Mary Artush*  
*Institute of Geophysics and engineering seismology after A. Nazarov*  
*of the National Academy of sciences of Republic Armenia*  
*Gyumri, Republic of Armenia*  
<sup>1</sup>*sahakyan\_babken@mail.ru*, <sup>2</sup>*geodakyan.e@mail.ru*, <sup>3</sup>*iges@mail.ru*,  
<sup>4</sup>*jon\_iges@mail.ru*, <sup>5</sup>*mary-mary-86@mail.ru*

**Summary.** Based on the concept of a self-similar hierarchy of the Earth's block divisibility and the application of the cellular method of filling seismically active regions, fractal dimensions of the spatial distribution of earthquake epicenters and systems of fault networks in the territory of central Armenia were determined. The result of the analysis indicates a clear correlation of the distinguished extended hierarchical structure of seismicity with individual seismically active faults in the territory. The obtained quantitative values  $De=1.85 \pm 0.15$  and  $Df=1.92 \pm 0.12$  indicate the similarity of the spatial characteristics of the epicenter field faults and, hence, the general balance of the two processes.

**Key words:** epicenter of earthquakes, fractal dimension, active fault networks, cell method, hierarchical structure.

УДК 550.838

## СОЗДАНИЕ РЕДАКТОРА СРЕД ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ТЕЛ И СОЗДАВАЕМЫХ ИМИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

*Семенов Владимир Евгеньевич  
ФГБОУ ВО «ВГУ», г. Воронеж  
vlsemenov20002@yandex.ru*

**Аннотация.** При проведении геофизических и геологических работ, зачастую проблемным становится вопрос визуализации данных в виде трехмерных моделей. Нашей целевой задачей является создание простой и эффективной программы для моделирования и визуализации трёхмерных дискретных геологических объектов (рудных тел и сред). Результаты работы такой программы должны представлять структурированные дискретные выходные данные, описывающие моделируемую среду.

**Ключевые Слова:** трехмерные модели, физические свойства, модуль формирования данных.

При проведении геофизических и геологических работ, зачастую проблемным становится вопрос визуализации данных в виде трехмерных моделей. В настоящее время визуальное представление пространственной информации о результатах геолого-геофизических работы является важным необходимым элементом исследований Земли. В этой области на сегодняшний день успешно используются, как различные геоинформационные системы, такие как ArcView, ArcGIS, Micromine, ГИС ИНТЕГРО [10, 26, 29] так и специализированные программы, и модули визуализации: Oazis Montaje, Muavi, Voxler [27, 28] и ряд других программ. Проблема заключается в том, что большинство таких продуктов рассчитаны на крупные месторождения и геологические массовые геологические объекты и их использование может быть нецелесообразным при разведке, проводимой на небольшом участке. Другим препятствием, стоящим перед пользователем этих программ, является их чрезмерно высокая стоимость для рядовых потребителей и для использования в целях обучения на начальных курсах вузов.

Важной проблемой трёхмерного моделирования природных сред является возможность оперирования с достаточно большим количеством связанных между собой дискретных пространственных данных о среде и порождаемых ею геофизических полях, как например в [15], где в процедуре комплексной интерпретации использовалась плотность, скорость продольных и поперечных волн, а также намагниченность пород среды. Одним из путей решения этой проблемы является создание относительно простых, но полностью функциональных программ моделирования трёхмерных сред, ориентированных на конкретные геолого-геофизические задачи. Примером такого комплекса является система моделирования DG3DMS, созданная на кафедре геофизики Воронежского госуниверситета [2 - 6]. Этот программный комплекс успешно применялся для решения структурных и рудных задач моделирования [1, 18, 19, 24], а также как средство моделирования сред в учебном процессе [12].

Таким образом, нашей целевой задачей является создание простой и эффективной программы для моделирования и визуализации трёхмерных дискретных геологических объектов (рудных тел и сред), близкой по смыслу к описанному выше программному комплексу [2 - 6, 24]. Результаты работы такой программы должны представлять

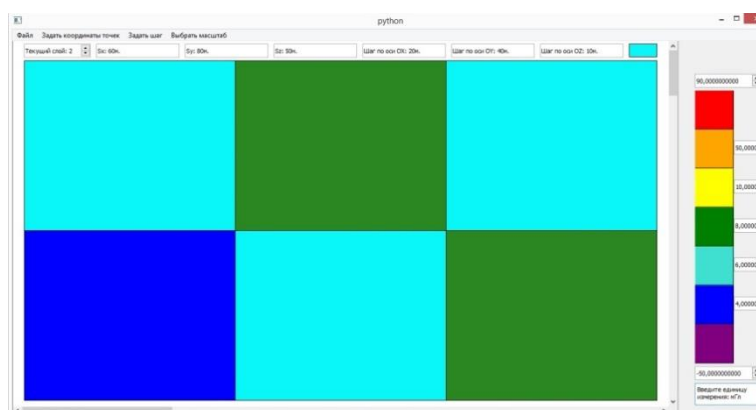
некоторые структурированные дискретные выходные данные, описывающие моделируемую среду, то есть ее пространственное положение её элементов и соответствующие им физические свойства, пригодные для расчётов прямых, а равно и обратных задач геофизики, в рамках используемых авторских подходов [8, 9, 13, 14, 17, 23 и др.].

При выборе языка программирования предпочтение было отдано языку Python [7, 20]. Несмотря на то, что для решения сложных графических задач лучше подходит язык C++ (по причине более высокой производительности) было решено использовать Python, из-за простоты его освоения и возможности относительно быстро создавать и компилировать код. Очевидно, что реализация программ на языке более высокого уровня, позволяет описать алгоритм одного действия меньшим количеством строк.

Разработка выполнялась в среде разработки PyCharm. Среда PyCharm – это самая интеллектуальная Python IDE (Integrated Development Environment – Интегрированная Среда Разработки) с полным набором средств для эффективного создания программ на языке Python. Данная версия выпускается в двух вариантах: бесплатная версия PyCharm Community Edition и поддерживающая большой набор возможностей PyCharm Professional Edition. PyCharm выполняет инспекцию кода «на лету», автодополнение, в том числе основываясь на информации, полученной во время исполнения кода, навигацию по реализованному коду [7].

На данный момент автором написана программа для 2D моделирования, которая полностью реализована в библиотеке GUI (графического интерфейса пользователя) – PyQt5, которая является привязкой фреймворка Qt5, написанный на C++, к языку Python, что позволяет объединить сильные стороны обоих языков программирования [25]. Указанная библиотека не может использоваться для явно трёхмерной графики, поэтому создаваемые в программе модели представляют из себя совокупность слоёв – двумерных моделей.

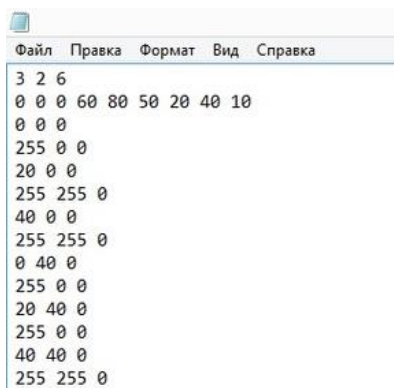
Программа построена на принципе формирования модели пользователем, то есть заполнения участков поля щелчком мыши. В ней реализована возможность создавать сетку из прямоугольников на плоскости XY, задавая шаг сетки по каждой оси, а также возможность закрашивать любой из прямоугольников тем цветом, который пользователь сочтёт нужным (рис. 1). Для оси Z, так же можно задать шаг, но вместо плоскостей ZX и ZY, создаётся ряд плоскостей XY, каждая из которых связана с дискретным значением на оси Z.



**Рис. 1. Пример работы графического редактора программы**

В программе предусмотрено задание начальных и конечных координат области моделирования, выбор единиц измерения моделируемого физического свойства среды, масштаб представления результатов и т.д. Максимальная величина шага может составлять половину расстояния между начальной и конечной точками для каждой из коор-

динатных осей, так чтобы в плане мы имели хотя бы два элемента среды по каждой оси координат. Максимальное количество пространственных элементов по оси Z неограниченно, минимальное ограничено тремя, первый из которых всегда является верхней поверхностью модели. Также в программе предусмотрена функция сохранения, имеющийся модели в виде текстового файла (рис. 2), где с помощью модуля формирования данных создается массив дискретных пространственных значений XYZ и соответствующих им значений цвета (параметра модели)



**Рис. 2. Пример сформированного массива данных**

Впоследствии планируется добавить в программу функцию записи в массив данных не значений цвета, а физические параметры среды, чтобы по итогу получать таблицу значений XYZV, где V(value) обозначает соответствующие точке пространства значения среды. Созданный массив данных можно будет использовать не только в работе исходной программы, но и экспортировать в Surfer [30] и подобные программные комплексы. Помимо этого, представляется необходимым увеличить также количество функций, позволяющих пользователю взаимодействовать с моделью, в первую очередь увеличить количество значений цветовой шкалы, и возможно применить рекурсивный алгоритм аппроксимации среды [17, 23]. В итоге программа будет полезна в образовательном процессе в рамках курсов [11, 16, 21], а также будет иметь самостоятельное значение, как простой инструмент создания моделей трёхмерных сред.

*Автор выражает благодарность своему руководителю проф. В.Н. Глазневу за постановку задач, и обозначение путей их решения.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аузин А.А. Комплексование методов геофизических исследований в скважинах (на примере Воронежской антеклизы) / Воронеж: изд. Научная книга. 2010. – 260 с.
2. Аузин А.А., Глазнев В.В. Компьютерное геолого-математическое моделирование: проблемы и возможности // Вестник ВГУ, сер. Геология. 2001. – № 11. – С. 199-204.
3. Аузин А.А., Глазнев В.В. Объемное компьютерное моделирование рудных объектов // Вестник ВГУ, сер. Геология. 2001. – № 12. – С. 177-184.
4. Аузин А.А., Глазнев В.В. Разработка трёхмерных компьютерных моделей геологических сред // Вестник ВГУ, сер. Геология. 2000. – № 10. – С. 177-182.
5. Аузин А.А., Глазнев В.В. Трёхмерное компьютерное моделирование при геологическом доизучении площадей (ГДП-200) // Геоинформатика, 2001. – № 1. – С. 35-41.



6. Аузин А.А., Глазнев В.В. Формирование объёмных моделей рудных объектов на основе геолого-геофизических данных // Геофизика, 2003. – № 3. – С. 51-57.
7. Бухаров Т.А., Нафикова А.Р., Мигранова Е.А. Обзор языка программирования Python и его библиотек // Стерлитамакский филиал БашГУ. Colloquium-journal. 2019. - С. 23–25.
8. Воронова Т.А., Муравина О.М. Детальное плотностное моделирование верхней части Воронежского кристаллического массива // Вестник ВГУ, сер. Геология. 2014. - № 2. - С. 150-154.
9. Воронова Т.А., Муравина О.М. Оптимизация решения обратной задачи гравиметрии при построении детальной плотностной модели / В книге: Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей. Материалы 44-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского. М., ИФЗ РАН, 2017. С. 114-116.
10. ГИС INTEGR0. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gis-integro.ru/>
11. Глазнев В.Н., Воронова Т.А. «Магниторазведка». Электронный учебный курс / Электронный университет ВГУ. 2020. <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2427>.
12. Глазнев В.Н., Дьяков С.Н., Раевский А.Б., Токарев А.Д. Геофизические методы (полевая геофизическая практика) / Мурманск: изд. МГТУ. 2004. – 66 с.
13. Глазнев В.Н., Жаворонкин В.И., Минц М.В., Муравина О.М., Хованский Н.Е. Петроплотностная модель и гравитационный эффект осадочного чехла Воронежского кристаллического массива и его обрамления / Материалы 40-ой сессии международного семинара им. Д.Г.Успенского «Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей». М.: ИФЗ РАН. 2013. - С. 107-112.
14. Глазнев В.Н., Жаворонкин В.И., Муравина О.М., Антонова И.Ю., Воронова Т.А., Черешинский А.В., Холин П.В. Строение верхней коры елецкого участка Лосевского террейна (Воронежский кристаллический массив) по данным плотностного моделирования // Вестник ВГУ, сер. Геология. 2019. - №3. - С. 74-83.
15. Глазнев В.Н., Жирова А.М., Раевский А.Б. Новые данные о глубинном строении Хибинского и Ловозерского массивов, Кольский полуостров // Доклады РАН. 2008. – Т 422. - № 3. - С. 391-393.
16. Глазнев В.Н. «Интерпретация данных магнитометрии». Электронный учебный курс / Электронный университет ВГУ. 2020. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2635>.
17. Глазнев В.Н., Лошаков Г.Г. Об одном методе моделирования рудных объектов с использованием адаптивной аппроксимации // Вестник ВГУ, серия Геология. 2012. - №1. - С. 243-246.
18. Глазнев В.Н., Притыка И.В., Жаворонкин В.И., Терентьев Р.А., Севастьянов Д.П., Горских П.П. Применение геофизических методов при детальном изучении скарновых железорудных месторождений Северного Урала // Вестник ВГУ, сер. Геология. 2010. – №2. – С. 249-257.
19. Глазнев В.Н., Терентьев Р.А., Жаворонкин В.И., Кораблинов П.В., Притыка И.В. Комплексные геолого-геофизические исследования при поисковых работах в условиях Северного Урала // Руды и металлы. 2011. – № 3-4. – С. 37-38.
20. Грузин Н.А. Сравнение языков программирования C++ и Python / Абакан: Хакасский государственный университет. 2020. – С. 1–5.
21. Груздев В.Н. «Электроразведка». Электронный учебный курс / Электронный университет ВГУ. 2020. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2751>.



22. Запрягаев С.А., Карпушин А.А. Применение графического процессора в ресурсоёмких вычислениях на базе библиотеки OpenGL // Вестник ВГУ. 2010. - № 2. - С. 79-87.
23. Муравина О.М., Лошаков Г.Г. Принципы решения прямых задач потенциала при моделировании строения литосферы // Вестник ВГУ, сер. Геология. 2015. - № 3. - С. 97-100.
24. Смолькин В.Ф., Федотов Ж.А., Нерадовский Ю.Н., Баянова Т.Б., Борисова В.В., Глазнев В.Н., Дедюхин А.Н., Орсов Д.А., Онестеттер М., Онестеттер Д., Раевский А.Б., Толстихин И.Н., Чащин В.В., Мокрушин А.В., Новиков Д.Д., Икорский С.В., Каменский И.Л., Деленицын А.А. Расслоенные интрузии Мончегорского рудного района: петрология, оруденение, изотопия, глубинное строение / Апатиты: изд. КНЦ РАН. 2004. Часть 2. - 177 с.
25. Чекрыгин И. И., Фараонов А. А. Статистический анализ геофизических сигналов с использованием параллельных вычислений // Вестник КРАУНЦ. Физ.- мат. науки. 2019. - Т. 27. - № 2. - С. 74-94.
26. ArcGIS for Desktop Basic (ArcView). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.esricis.ru/products/arcview/detail/review/>
27. Geosoft, Oasis montaj, <https://www.geosoft.com/ru>
28. Golden Software, Voxler. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://support.goldensoftware.com/hc/en-us/sections/204130867-Voxler>
29. MICROMINE Russia. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.micromine.ru/>
30. Surfer, Golden Software Support. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://support.goldensoftware.com/hc/en-us/sections/204151518-Surfer>

## **CREATING AN ENVIRONMENT EDITOR FOR VISUALIZING GEOLOGICAL BODIES AND THEIR GEOPHYSICAL FIELDS**

*Vladimir E. Semenov*  
*«VSU», Voronezh*  
*vlsemenov20002@yandex.ru*

**Summary.** Visualization of data in the form of three-dimensional models is a difficult task when conducting geological and geophysical surveys. Our main task is to create a simple and effective program for modeling and visualization of three-dimensional discrete geological objects (ore bodies and environment). The results of such a program should represent structured discrete output data describing the describing environment.

**Key words:** three-dimensional models, the physical properties, data generation module.

УДК 550.839

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ СОПРОВОЖДЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПРИ ГЕОПЛОТНОСТНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

<sup>1</sup>*Семяшкина Анастасия Викторовна, Бурмистрова Дарья Денисовна*

<sup>2</sup>*Шилова Светлана Владимировна*  
*ФГБОУ ВО «УГТУ», г. Ухта*

<sup>1</sup>*urban.mix@mail.ru, <sup>2</sup>sshilova@bk.ru*

**Аннотация.** Задача интерпретации геолого-геофизических данных является важной при построении достоверных моделей изучаемых геологических объектов. Применение методики и технологии геоплотностного моделирования позволяет решать несколько задач нефтегазовой геологии. Выделены основные принципы создания геодинамических модификаторов в редакторе геолого-геофизических моделей GeoVIP. Рассмотрены аспекты сопровождения автоматизированной интерпретации данных при геоплотностном моделировании

**Ключевые слова:** интерпретация, геолого-геофизические данные, геоплотностное моделирование, геодинамический модификатор.

Задача интерпретации геолого-геофизических сред с учетом доступных сведений о тектонических процессах, происходящих в них, является чрезвычайно важной при построении достоверных моделей изучаемых геологических объектов. Методики и технологии геоплотностного моделирования направлены на решение широкого круга геологических задач, главными из которых являются поиск нефтегазоперспективных объектов. Сегодня применяется огромное множество таких методик и технологий, но далеко не все способны в полной мере и с достаточной вероятностью решать эти задачи.

Методика и технология геоплотностного моделирования, разработанная в научной школе «Физико-математическое моделирование в науках о Земле», основана на применении аппроксимационных и эволюционно-динамических принципов и предназначена для построения объемных геоплотностных моделей сложнопостроенных сред с целью изучения их распределенных параметров. Применение данной методики и технологии позволяет решать задачи нефтегазовой геологии, при этом устранять эффекты эквивалентности при моделировании сред за счет введения эффективных параметров критерия оптимальности; находить оптимальные решения задачи; повышать надежность и достоверность синтеза интегрированных систем моделей сложнопостроенных сред с распределенными параметрами; повышать достоверность информационного обеспечения комплекса геологоразведочных работ.

С целью практической и программной реализации поставленных задач был разработан программный комплекс «GeoVIP». Для теоретических и экспериментальных работ в этом направлении является создание «модификаторов» строения земной коры, применяемых к структурным моделям изучаемых объектов с целью приведения их в соответствие с имеющейся априорной геодинамической информацией. «Модификатором» назовем теоретически или экспериментально установленный закон смещения то-

чек границы структурной модели, соответствующий некоторому физическому процессу образования геологических структур [2].

С целью классификации и описания тектонических процессов, были изучены основные виды механические движений земной коры под воздействием внутренней энергии Земли [3]. Результатом стала схема основных тектонических движений и структур, которые образуются в результате данных видов движения. Следует отметить, что количество различных типов движения, образующих основные геологические структуры, невелико. Более сложные структуры образуются в результате различных комбинаций основных видов движения: вековых колебаний земной коры, складкообразующих движений (сжатий, растяжений и сдвигов) и движений по разрывам. Можно сделать вывод о том, что моделировать сложные геологические структуры также следует с помощью сложения простых компонент-модификаторов.

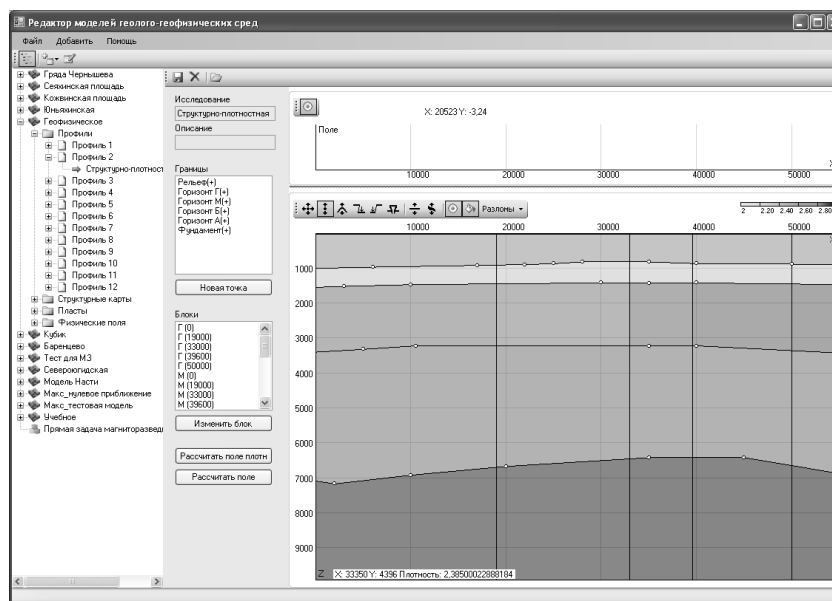


Рис. 1. Редактор геолого-геофизических моделей GeoVIP

Основные принципы создания геодинамических модификаторов были выделены и математически описаны, после чего они были программно реализованы в редакторе геолого-геофизических моделей GeoVIP (рис. 1) в виде инструментов для модификации границ структурной модели.

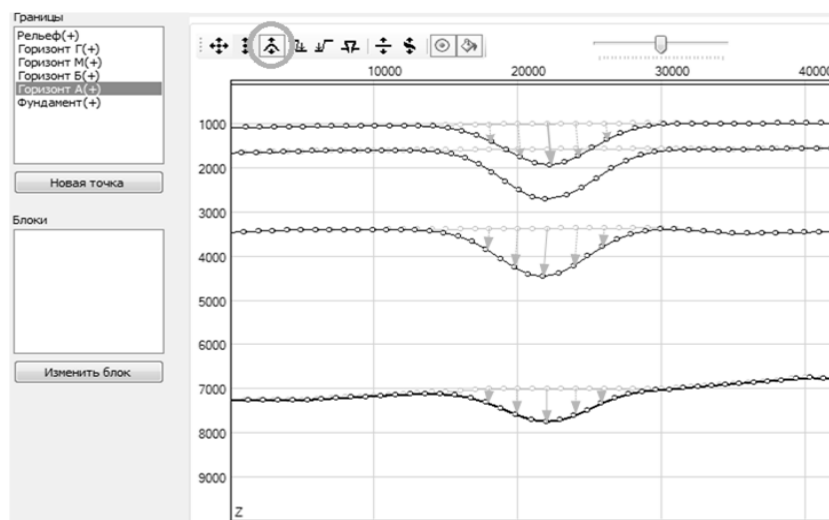
При создании модификатора, моделирующего определенный тип тектонического движения, в первую очередь необходимо выделить закон смещения и параметры (интенсивность смещения, интенсивность затухания и прочие), определить, необходимо ли создание дополнительных точек и графических элементов для отображения процесса модификации. Рассмотрим подробно некоторые геодинамические модификаторы для двухмерной структурной модели разреза по профилю:

#### 1) Формирование синклинали (антиклинали).

При использовании данного модификатора выбранный набор структурных границ меняется в соответствии с формой складки. Интерпретатор выбирает модифицируемую границу и точку, которая будет являться вершиной создаваемой синклинали (антиклинали). Для формирования синклинали необходимо переместить выбранную точку вверх, для формирования антиклинали выбранная точка соответственно перемещается вниз.

При этом структурная граница претерпевает изменения по закону нормального распределения:

$$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (1)$$

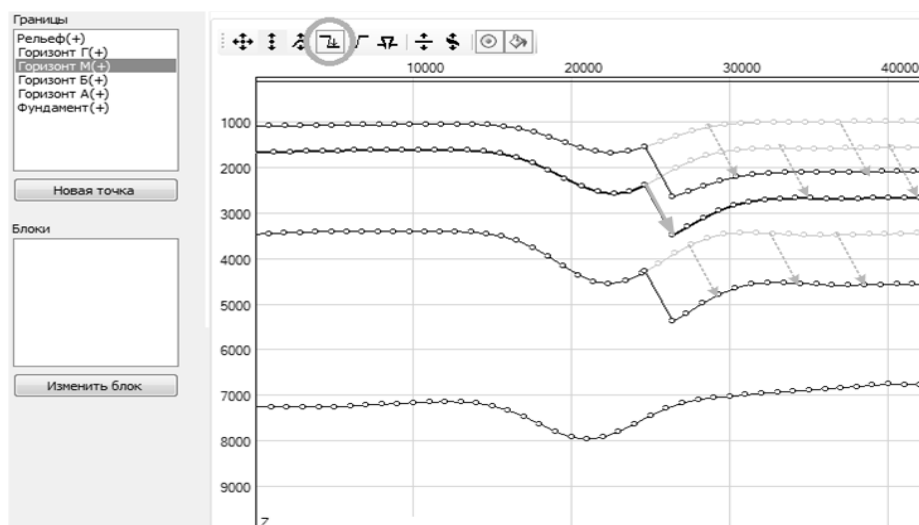


**Рис. 2. Создание антиклинали в геолого-геофизическом редакторе GeoVIP**

где  $\mu$  соответствует координате вершины синклинали по оси  $x$ , а среднеквадратичное отклонение  $\sigma$  является параметром модификатора (рис. 3). При смещении вершины точки структурной границы в рамках модифицируемой области "сжимаются" и "растягиваются" пропорционально смещению и заданному параметру затухания, позволяя создавать более сложные геологические структуры, например, опрокинутые складки.

2) Формирование простой разломной структуры.

Для создания простого разлома интерпретатор выбирает точку границы, в которой должна быть нарушена структура. Двигая выбранную точку в нужном направлении, он определяет характер разлома (рис. 3). Начальная точка и точка, заданная пользователем соединяются прямыми отрезками, которые впоследствии могут быть разбиты на участки для уточнения линии разлома.



**Рис. 3. Создание разлома в редакторе GeoVIP**

## 3) Формирование сбросов.

Для формирования грабена или горста интерпретатор определяет ширину формируемого элемента, задавая соответствующий параметр, выбирает границу и мышью перемещает центральную точку области, подверженной трансформации, в нужном направлении. При этом область заданной ширины, в центре которой находится точка, заданная интерпретатором, опускается или поднимается, не изменяя своей геометрии (рис. 4).

## 4) Растяжение и сжатие.

При применении модификаторов, семантически связанных с процессом тектонического сжатия пластов, все точки границы смещаются пропорционально. Интенсивность сжатия и растяжения задается параметром.

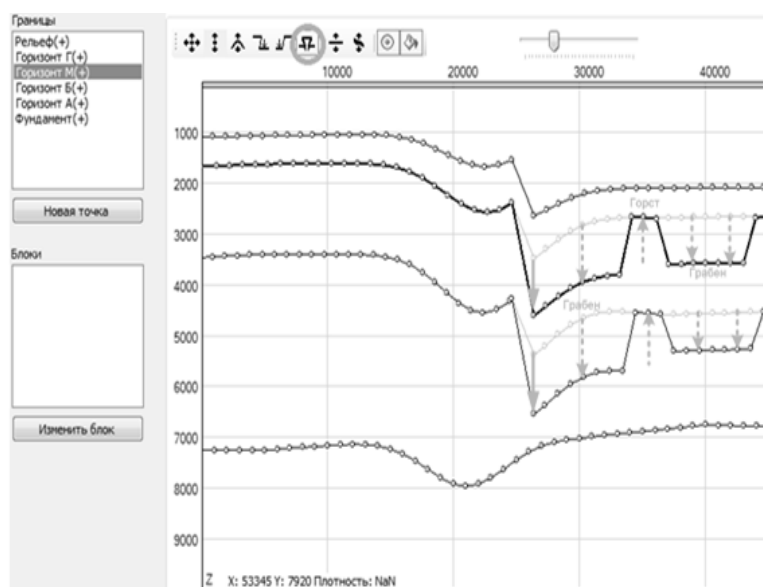


Рис. 4. Создание сбросов в редакторе GeoVIP

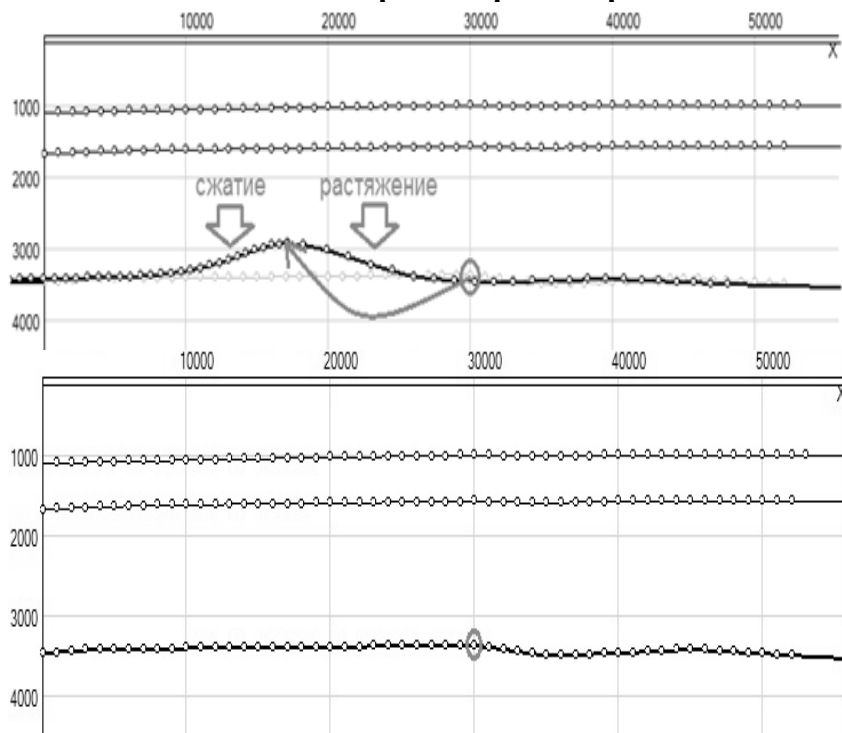
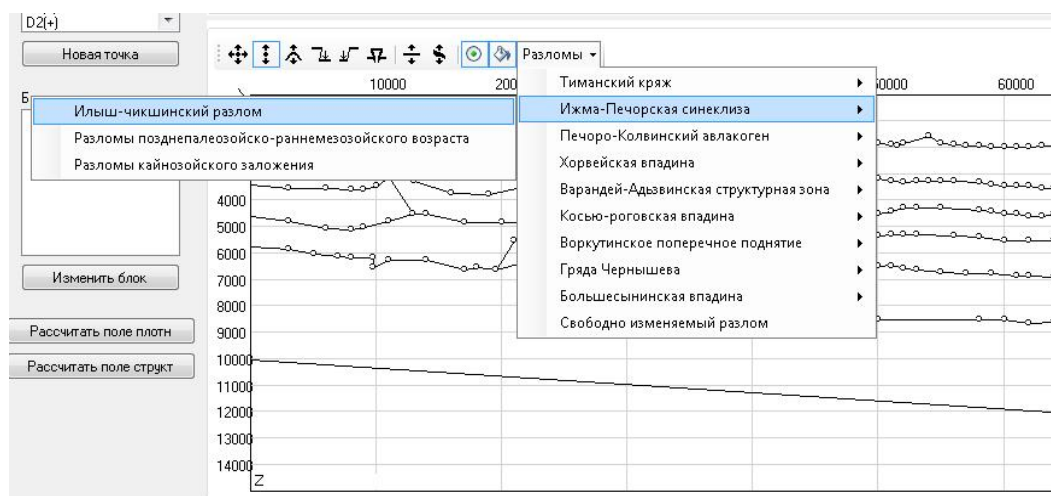


Рис. 5. Растяжение и сжатие

## 5) Направляющие разломов.



**Рис. 6. Создание разлома с использованием направляющей**

На этом этапе разработки возможно добавление разломов только для двумерных моделей, при этом для формирования полноценного представления разлома в 3D-модели из совокупности профилей, каждый разлом характеризуется идентификатором и при формировании трёхмерной модели поверхность разлома интерполируется по точкам разломов с одинаковыми идентификаторами на каждом профиле. Кроме этого при интерполяции границ с профилями в структурные карты, их участки, отделённые разломами, интерполируются отдельно друг от друга с целью повышения точности интерполяции и исключения влияния тектонических нарушений на всю поверхность [3].

Для хранения структурных моделей в программном комплексе GeoVIP используется реляционная база данных Microsoft SQL Server Express [3].

Модификаторы реализованы с помощью среды разработки Microsoft Visual Studio 2008 на языке программирования высокого уровня C# в качестве инструментов редактирования структурных моделей в программном комплексе GeoVIP. При разработке был использован объектно-ориентированный подход. Используются наборы базовых классов программного комплекса, а также специально созданные графические компоненты [3].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулешов В. Е. Развитие методов интегрированного анализа гравиметрических данных на основе эволюционно-динамических принципов / В. Е. Кулешов // Дис.канд. техн. наук. Ухта, 2008. – 130 с.
2. Шилова С. В. Реконструкция геологических сред с применением программного редактора «GeoVIP» на примере структур Карского региона / В. Е. Кулешов, М. И. Барабанов, С. Г. Куделин // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: материалы 37-й сессии Международного семинара им. Д. Г. Успенского. Москва, 2010. – С. 397-400.
3. Шилова С. В. Оценка ресурсов и прогнозирование состояния литосферы на основе эволюционно-динамического анализа геолого-геофизической информации

/ С. В. Шилова // Отчет о НИР по государственному контракту № П 632 от 25 сентября 2009. – 240 с.

**SOME ASPECTS OF SUPPORTING AUTOMATED INTERPRETATION  
OF GEOLOGICAL-GEOPHYSICAL DATA IN GEODENSITY  
MODELING**

*<sup>1</sup>Anastasia V. Semyashkina, Daria D. Burmistrova*

*<sup>2</sup>Svetlana V. Shilova*

*FSBHEI USTU, Ukhta*

*<sup>1</sup>urban.mix@mail.ru, <sup>2</sup>sshilova@bk.ru*

**Summary.** The task of interpreting geological and geophysical data is important in constructing reliable models of the studied geological objects. Application of methods and technologies of geo-density modeling allows solving several problems of oil and gas geology. The main principles of creating geodynamic modifiers in the editor of geological and geophysical models GeoVIP are highlighted. Aspects of support of automated data interpretation in geo-density modeling are considered.

**Key words:** interpretation, geological and geophysical data, geo-density modeling, geodynamic modifier.

УДК 550.34.064

## РАЗВИТИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ, РЕГИСТРИРУЕМЫХ АРХАНГЕЛЬСКОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СЕТЬЮ.

<sup>1</sup>Турова Алёна Павловна, <sup>2</sup>Афонин Никита Юрьевич  
ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, г. Архангельск  
<sup>1</sup>Turova\_AP@fciarctic.ru, <sup>2</sup>afoninnikita@inbox.ru

**Аннотация.** Развитие алгоритмов, позволяющих идентифицировать слабые сейсмические события на зашумленной записи в условиях редкой сети сейсмических станций, является крайне важной задачей, решение которой позволит повысить качество сейсмического мониторинга Западного сектора Российской Арктики. В данной работе мы представили результаты сравнения двух алгоритмов детектирования на основе искусственной нейронной сети. В первом в качестве входных параметров используются огибающие сейсмограмм во временной области. Во втором - взаимно корреляционные функции анализируемой сейсмограммы и записи эталонного события. Полученные результаты показали, что в отличие от первого, использование второго алгоритма позволяет в целом улучшить качество идентификации, а также выявлять слабые сейсмические события, что значительно повышает исследовательский потенциал Архангельской сейсмической сети.

**Ключевые слова:** Западный сектор Российской Арктики, сейсмический мониторинг, сейсмическая станция, землетрясение, искусственная нейросеть.

При изучении слабой сейсмичности в условиях относительно редкой сети сейсмических наблюдений, значительное влияние на качество получаемой информации оказывает множество факторов. Например, соотношение эпицентрального расстояния, магнитуды сейсмического события в совокупности с уровнем естественного и антропогенного сейсмического шума в районе установки сейсмической станции, могут привести к практической невозможности идентификации низкомагнитудных сейсмических событий на записи.

При решении задач сейсмического мониторинга Западной Арктической зоны РФ эпицентральные расстояния достигают десятков градусов, расстояния между сейсмическими станциями измеряются сотнями километров, локальные магнитуды землетрясений редко превышают 3.5, а установка сейсмических станций возможна только в непосредственной близости от объектов инфраструктуры. Таким образом разработка алгоритмов, позволяющих идентифицировать слабые сейсмические события на зашумленной записи, является крайне важной задачей.

В данном случае многие исследователи считают, что проблема мониторинга низкомагнитудных землетрясений может быть частично решена путем использования алгоритмов машинного обучения и искусственных нейронных сетей [1,2,3]. В сейсмологии искусственные нейронные сети получили широкое развитие в последние десятилетия в связи со значительным развитием компьютерной техники. На сегодняшний день опубликовано значительное количество статей, посвященных исследованиям в данной области. Более высокая эффективность искусственных нейронных сетей по



сравнению с алгоритмами, основанными на осреднении сейсмограмм во временной области (STA/LTA) была доказана еще в 1995 году в работе [4]. Авторами было рассмотрено два алгоритма: в одном из них в качестве входного сигнала для нейросети использовалось отношение STA/LTA, рассчитанное для каждой трассы, а во втором амплитуды сигнала, полученные из спектрограммы. Эффективность последнего была доказана при детектировании и идентификации слабых сейсмических событий на зашумленной записи.

Однако, это был не первый случай использования искусственных нейронных сетей для решения подобных задач. В 1990 году в работе [5], были представлены результаты использования ИНС для разделения ядерных взрывов и естественных сейсмических событий. В данном случае была использована модель многослойного перцептрона. В работе [6] была использована подобная модель для классификации химических взрывов и землетрясений на основе спектральных отношений Pn/Sn, Pn/Lg. В работе [7] был представлен алгоритм, в котором в качестве входных сигналов для ИНС использовались частотно-скоростные изображения сейсмических событий. На основе ИНС также были предложены методики прогноза землетрясений [8,9].

Дальнейшее развитие ИНС для нужд сейсмологии было связано с тестированием различных конфигураций сетей, алгоритмов обучения в совокупности с различными вариациями входных параметров. Например, в работе [10] были протестированы два типа ИНС, основанных на обучении с учителем: многоуровневый перцептрон и опорные векторные машины и показана их высокая эффективность. В статье [11] описаны результаты использования детектора на основе сверточной нейросети для мониторинга сейсмической активности вулканов.

В настоящее время, в связи с развитием алгоритмов и созданием готовых библиотек, находящихся в открытом доступе и позволяющих существенно экономить время на написание программ, появляется возможность автоматизировать уже более сложные процессы, связанные не только с рутинным просмотром сейсмической записи и классификацией событий, но и с автоматической локацией [12].

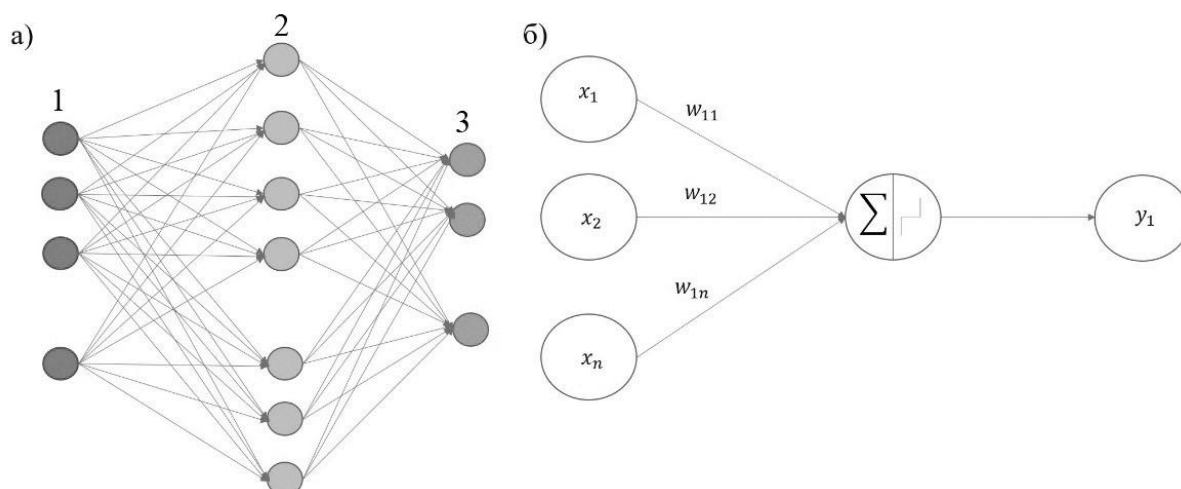
Основная задача нашего исследования заключалась в анализе имеющегося мирового опыта использования алгоритмов машинного обучения и искусственных нейронных сетей для решения задач детектирования и идентификации сейсмических событий, и их адаптация для условий сети АН (doi: <https://doi.org/10.7914/SN/АН>), когда станций мало и они значительно удалены друг от друга.

Из всего многообразия существующих конфигураций нейросетей нами были выбраны наиболее универсальные [13]. В качестве алгоритма обучения был выбран алгоритм обратного распространения ошибки [14], наиболее часто используемый в нейросетях.

Программа для детектирования и идентификации, состоящая из модуля подготовки входного сигнала и модуля идентификации (искусственной нейросети) была написана на языке Python с использованием библиотек Obspy и NumPy. В качестве входных параметров для нейросети нами были использованы как огибающие сейсмической записи в наборе диапазонов частот, так и взаимно корреляционные функции анализируемого сигнала с набором эталонных записей сейсмических событий различной природы. На выходе программа выдает время на сейсмограмме и тип сейсмического события.

Модуль идентификации представляет собой искусственную нейронную сеть с одним скрытым слоем, как показано на рисунке 1а. Количество входных нейронов определяется размерностью вектора, полученного в модуле подготовки входного сигнала, а количество выходных нейронов равняется количеству типов идентифицируе-

мых сейсмических событий. Количество нейронов скрытого слоя вдвое превышает количество входных нейронов.



**Рис. 1.** Схема искусственной нейронной сети с одним скрытым слоем (а) и перцептрона (б): 1 – нейроны входного слоя; 2 – нейроны скрытого слоя; 3– нейроны выходного слоя;  $x$  – входной сигнал;  $w$  – веса нейронных связей;  $y$  – выходной сигнал

Каждый искусственный нейрон представляет собой перцептрон (рисунок 1 б) с бинарной сигмоидальной активационной функцией:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (1)$$

Принцип работы перцептрона заключается в умножении каждого входного сигнала на вес соответствующей нейронной связи с дальнейшим применением активационной функции. Таким образом на выходе получается значение от 0 до 1.

Обучение нейросети происходит в несколько эпох методом обратного распространения ошибки.

Для тестирования программы мы использовали сейсмические записи, станции «Северная Земля». Мы сравнили результаты автоматического просмотра, полученные этими двумя методами друг с другом и со списком региональных землетрясений, внесенных в бюллетень Архангельской сейсмической сети.

Полученные результаты показывают, что если в качестве входных параметров для нейросети использовать огибающие, то детектор находит больше событий, чем человек при визуальном просмотре, что может быть обусловлено ошибочным срабатыванием программы. Однако, если в качестве входных параметров использовать взаимно-корреляционные функции, то количество событий, обнаруженных программой не на много превышает количество событий, обнаруженных при визуальном просмотре. Данный факт с одной стороны может быть обусловлен тем, что программа обнаруживает слабые сейсмические события, которые не видны явно на сейсмограмме, а с другой стороны ошибочным срабатыванием программы. Однако, способность искусственной нейронной сети выявлять низкомagnitudeные сейсмические события на зашумленной записи была показана во многих работах [2,3;14.], поэтому можно предположить, что в большинстве случаев срабатывание детектора обусловлено наличием на сейсмограмме записи слабого сейсмического события

Таким образом, детектор на основе искусственной нейронной сети целесообразно использовать для решения задач сейсмического мониторинга Западного сектора Российской Арктики Архангельской сейсмической сетью. Дальнейшее использование

нейросети позволит выявлять на сейсмических записях низкомагнитудные сейсмические события и делить их дополнительно на подгруппы, в зависимости от условий их возникновения, что, в конечном итоге, существенно скажется на повышении качества анализа и научной значимости получаемой информации о сейсмических процессах в Арктике.

*Научные руководители исследования – д.т.н. Антоновская Галина Николаевна  
Работа выполнена при частичной поддержке темы НИР лаборатории сейсмологии, № госрегистрации АААА-А18-118012490072-7 и гранта РФФИ 18-05-70018.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jakkampudi, S., Shen, J., Li, W., Dev, A., Zhu, T., & Martin, E. R. (2020). Footstep detection in urban seismic data with a convolutional neural network. *The Leading Edge*, 39(9), 654-660.
2. Паап, В., Carpentier, S., van Maanen, P. P., & Meekes, S. (2020). A Neural Network Approach for Improved Seismic Event Detection in the Groningen Gas Field, The Netherlands. arXiv preprint arXiv:2001.07027.
3. Wilkins, A. H., Strange, A., Duan, Y., & Luo, X. (2020). Identifying microseismic events in a mining scenario using a convolutional neural network. *Computers & Geosciences*, 137, 104418.
- 4.
5. Jin Wang, Ta-Liang Teng (1995); Artificial neural network-based seismic detector. *Bulletin of the Seismological Society of America*; 85 (1): 308–319.
6. Dowla, F. U., S. R. Taylor, and R. W. Anderson (1990). Seismic discrimination with artificial neural networks: preliminary results with regional spectral data, *Bull. Seism. Soc. Am.* 80, 1346- 1373.
7. Dysart, P. S. and J. J. Pulli (1990). Regional seismic event classification at the NORESS array: seismological measurements and the use of trained neural networks, *Bull. Seism. Soc. Am.* 80, 1910-1933.
8. Alexander, S. S., R. Hsu, and D. R. Baumgardt (1992). Identification of earthquakes and explosions, using Pattern record recognition techniques on frequency-slowness seismic image (abstract), *EOS* 73, no. 43, 360.
9. Katz, S. and K. Aki (1992). Experiments with a neural net based earthquake alarm, *EOS* 73, no. 43, 366.
10. Mignan, A., and M. Broccardo (2020). Neural Network Applications in Earthquake Prediction (1994–2019): Meta-Analytic and Statistical Insights on Their Limitations, *Seismol. Res. Lett.* 91, 2330–2342, doi: 10.1785/0220200021.
- 11.
12. Guilherme Madureira, António E. Ruano, A NEURAL NETWORK SEISMIC DETECTOR, *IFAC Proceedings Volumes*, Volume 42, Issue 19, 2009, Pages 304-309,
13. Canário, J. P., Mello, R., Curilem, M., Huenupan, F., & Rios, R. (2020). In-depth comparison of deep artificial neural network architectures on seismic events classification. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 106881.
14. Chai, C., Maceira, M., Santos-Villalobos, H. J., Venkatakrishnan, S. V., Schoenball, M., Zhu, W., ... & EGS Collab Team. (2020). Using a Deep Neural Network and Transfer Learning to Bridge Scales for Seismic Phase Picking. *Geophysical Research Letters*, 47(16), e2020GL088651.
15. Zheng, J., Harris, J. M., Li, D., & Al-Rumaih, B. (2020). SC-PSNET: A deep neural network for automatic P-and S-phase detection and arrival-time picker using single component recordings. *Geophysics*, 85(4), 1-64.

16. Perol, T., Gharbi, M., & Denolle, M. (2018). Convolutional neural network for earthquake detection and location. *Science Advances*, 4(2), e1700578.

**DEVELOPMENT OF NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES FOR  
DETECTING AND IDENTIFICATION OF SEISMIC EVENTS  
RECORDED BY THE ARKHANGELSK SEISMIC NETWORK.**

*<sup>1</sup>Turova Alyona , <sup>2</sup>Afonin Nikita  
FECIAR UB RAS, Arkhangelsk*

*<sup>1</sup>Turova\_AP@fciarctic.ru, <sup>2</sup>afoninnikita@inbox.ru*

**Summary.** The development of algorithms, which allows detecting low-magnitude seismic events in noisy seismograms, in case of rare seismic network, is an actual task, which solution allows increasing the quality of seismic monitoring of the Western sector of The Russian Arctic. In this work, we present results of comparison two algorithms of detecting, based on artificial neural network. The first algorithm used envelopes of seismic record in the time domain as input for the artificial neural network. The second algorithm based on using cross-correlation functions, calculated between analysed seismic record, and set of reference records. The obtained results, show, that using the second algorithm allows generally increasing the quality of identification as well as identify low-magnitude seismic events, that significantly increase the scientific potential of the Arkhangelsk seismic network.

**Key words:** Western sector of the Russian Arctic, seismic monitoring, seismic station, earthquake, artificial neural network.

УДК 550.834

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИЗУЧЕНИЯ ВЧР ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СРР ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

<sup>1</sup>Емельянова Ольга Федоровна, <sup>2</sup>Швецова Мария Николаевна  
Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть», г. Пермь  
<sup>1</sup>*Olga.Emelyanova@pnn.lukoil.com*, <sup>2</sup>*Marija.Shvetsova@pnn.lukoil.com*

**Аннотация.** Работа посвящена проблеме учета неоднородностей в верхней части разреза с использованием различных методик и их влиянии на дальнейшие процедуры обработки и интерпретации.

**Ключевые слова:** верхняя часть разреза (ВЧР), сейсморазведка, метод преломленных волн (МПВ), микросейсмокартаж (МСК), электромагнитное сканирование (ЭМС), обработка и интерпретация.

Работы по изучению верхней части разреза (ВЧР) крайне важны при проведении полевых сейсморазведочных работ на территории Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (ТПП). Данные работы позволяют решать следующие задачи:

- 1) Создание оптимальных условий возбуждения при взрывном способе возбуждения сейсмических волн в процессе производства полевых работ;
- 2) Расчет априорных статических поправок для взрывного и невзрывного способа возбуждения сейсмических волн.

На исследуемых территориях в Ненецком Автономном округе (НАО) выделяются области широкого распространения многолетнемерзлых пород, морозобойных трещин, термокарстовых объектов и бугров пучения. На территории Республики Коми наблюдаются частые смены литологического состава приповерхностного слоя. Все эти объекты вносят дополнительные искажения в наблюдаемую волновую картину [1].

Компенсация влияния приповерхностных неоднородностей является важным этапом при обработке данных метода общей глубинной точки. Недоучет структурно-скоростной неоднородности ВЧР напрямую повлияет на достоверность кинематических параметров отраженных волн, получаемых в процессе обработки. Это в свою очередь внесет искажения в структурные построения и в динамические характеристики.

Доклад посвящен проблеме учета неоднородностей в верхней части разреза с использованием различных методик. Данные материалы использовались для определения модели ВЧР, а, следовательно, и для дальнейших процедур обработки и интерпретации. Наиболее распространенными способами изучения являются: метод преломленных волн, микросейсмокартаж (МСК) и электромагнитное сканирование (ЭМС).

Метод преломленных волн (МПВ) до 2010 г. являлся основным геофизическим методом при проведении инженерной сейсморазведки. В первую очередь это связано с оперативностью полевых наблюдений и простотой обработки данных, большим диапазоном глубин исследования. К недостаткам метода можно отнести меньшую детальность расчленения разреза по вертикали и сильное влияние приповерхностных условий и сложного рельефа. При интерпретации МПВ имеется еще одна довольно серьезная проблема – эффект «выпадения слоя».

Более точным способом изучения ВЧР является метод обращенного МСК. Метод основан на регистрации волнового поля от источника, расположенного в скважине, сейсмоприемниками на различных удалениях от скважины. По данным обращенного МСК детально определяются границы в верхней части разреза, подошва ЗМС и соот-

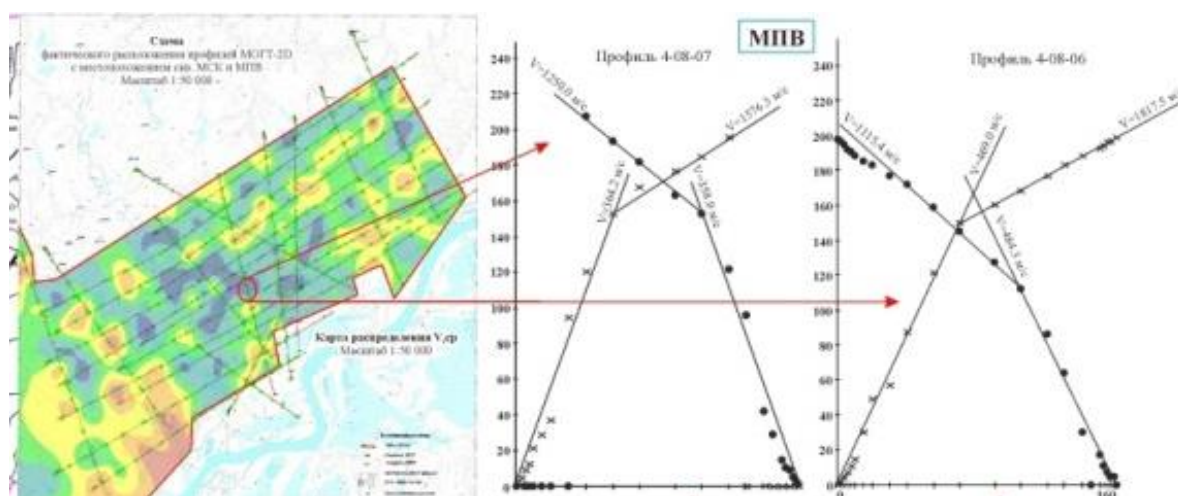
ветствие этих границ литологическому составу. Основным недостатком метода является невозможность построения достоверной модели геологического строения ВЧР по всей площади ввиду сильной латеральной изменчивости и невысокой плотности наблюдений.

Модель геологического строения ВЧР, построенная по данным МПВ и МСК, применяется для определения априорных статических поправок.

Одним из современных эффективных методов, который позволяет компенсировать недостаток МСК, является ЭМС, проводимый с ним в комплексе, где в скважинах измеряют КС, интервальные скорости и литологию. Метод электромагнитного сканирования разреза основан на возбуждении в горных породах переменных электромагнитных полей с помощью незаземленного генераторного контура и регистрации вторичных электромагнитных полей. Преимущество технологии ЭМС заключается в измерениях при движении, что позволяет получать непрерывный геоэлектрический разрез любой протяженности. Однако, как и любого метода, у него есть свои «минусы», а именно, малая глубинность исследования и сложность перевода электрических характеристик в волновые для расчета статических поправок.

В ходе работы рассматривались сейсмограммы полевых сейсмических наблюдений с геометрией без предварительной обработки, полученные в оптимальных и неоптимальных условиях возбуждения.

Район работ №1 (рис. 1) частично расположен в тундровой зоне островной вечной мерзлоты. На участках большой мощности ЗМС качество первых вступлений ухудшалось, из-за недостаточной энергии источника упругих волн (кувалда). Увеличение количества накоплений свыше 10 – 12 не приводило к росту амплитуд первых волн.



**Рис. 1. Пример выполнения полевых работ методом МПВ**

При двухслойном строении модели ВЧР результаты МПВ удовлетворительно увязывались с материалами МСК и с ранее полученными данными МПВ других партий. В случаях многослойного строения ВЧР, данные МПВ завышали глубины до подошвы ЗМС. На центральном и восточном участках площади работ по первым вступлениям сейсмограмм МОГТ было видно, что точки выхода преломленной волны достигают глубины 100 м – 150 м, а мощность низкоскоростных отложений не превышала 40 м. Уже на расстояниях свыше 100 м и в болотах первые вступления при работах МПВ не пробивались.

Район работ №2 расположен в Республике Коми, где породы уже являются расплавленными. На рисунке 2 показаны сейсмограммы МСК с разными глубинами погружения заряда. При условии, что уровень микросейсм при  $H=24$  м в 5 раз выше, чем при



$H=28$  м – получаем  $S/N=20.4$ . После расчета доминантной частоты по функции автокорреляции и спектра частот можно сделать вывод, что сейсмограмма МСК при глубине заложения 28 м получилась более информативной.

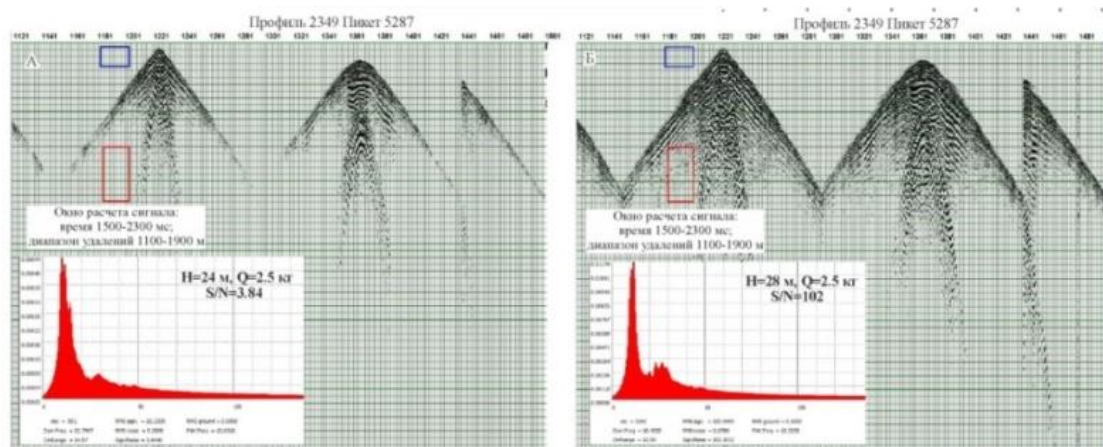


Рис. 2. Пример выполнения полевых работ МСК в Республике Коми

Район работ №3 расположен в зоне сплошного распространения ММП со «щелями» и «окнами» таликов (рис. 3). Кинематическая характеристика по данным МСК неэффективна, т.к. скорость приобретает постоянную величину по всему разрезу. Динамическая характеристика указывает на резкое падение амплитуд в интервале глубин от 17 м до 22 м. В такой ситуации необходимо применение комплексирования методов электроразведки и МСК.

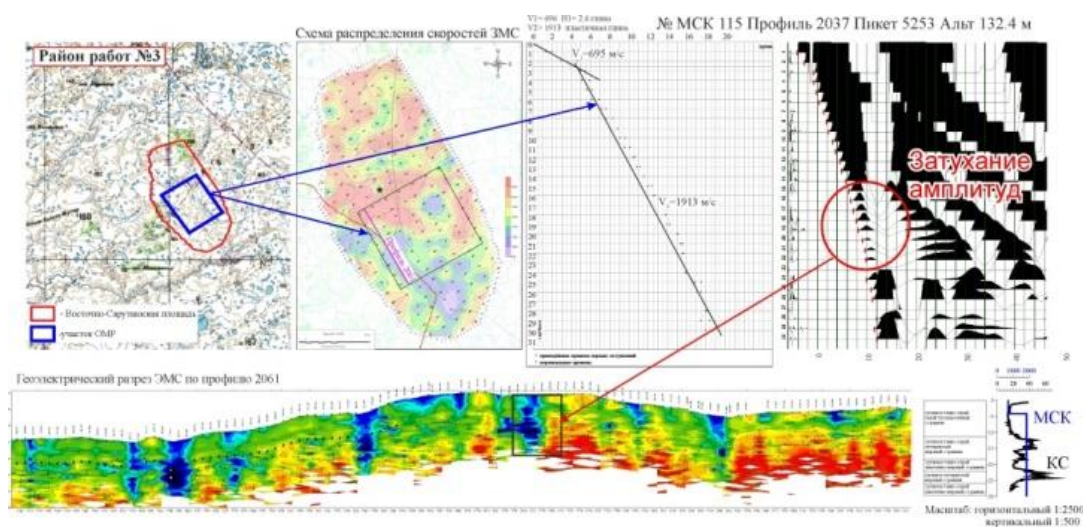


Рис. 3. Пример изучения площади с помощью комплексирования методов электроразведки и МСК

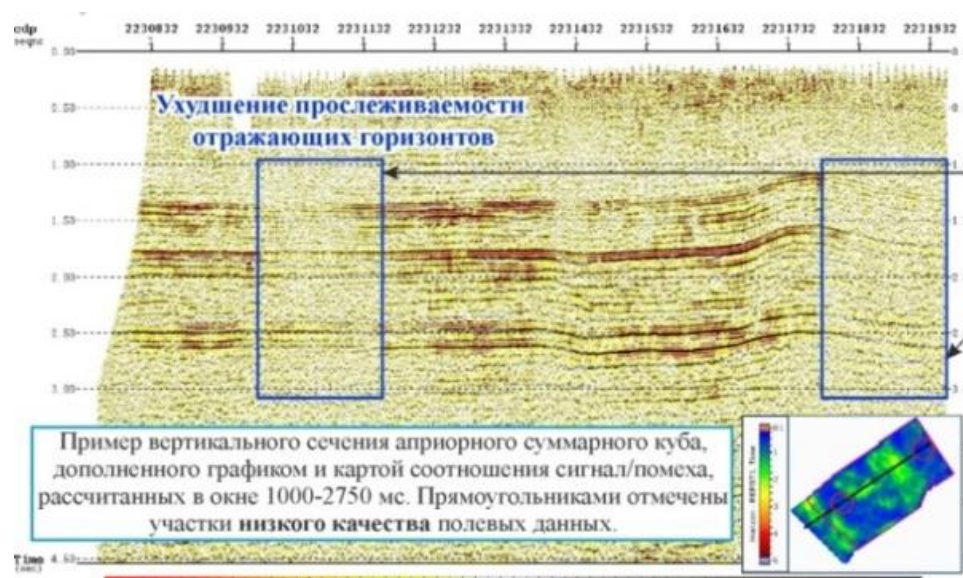
Это позволяет получить зависимости распределения по площади амплитудных характеристик по глубине и величине заряда после увязки акустических и электрических параметров, а также физического состава разбуриваемых пород.

Особенностью полевых сейсмических данных также является и зависимость амплитудно-частотных характеристик от формы рельефа. Возвышенные участки соответствуют понижению уровня амплитуд и уменьшению преобладающей частоты сигнала.

В зонах с неоптимальными условиями возбуждения («недобуры») при обработке сейсмических данных наблюдаются области с низким соотношением сигнал/помеха. В

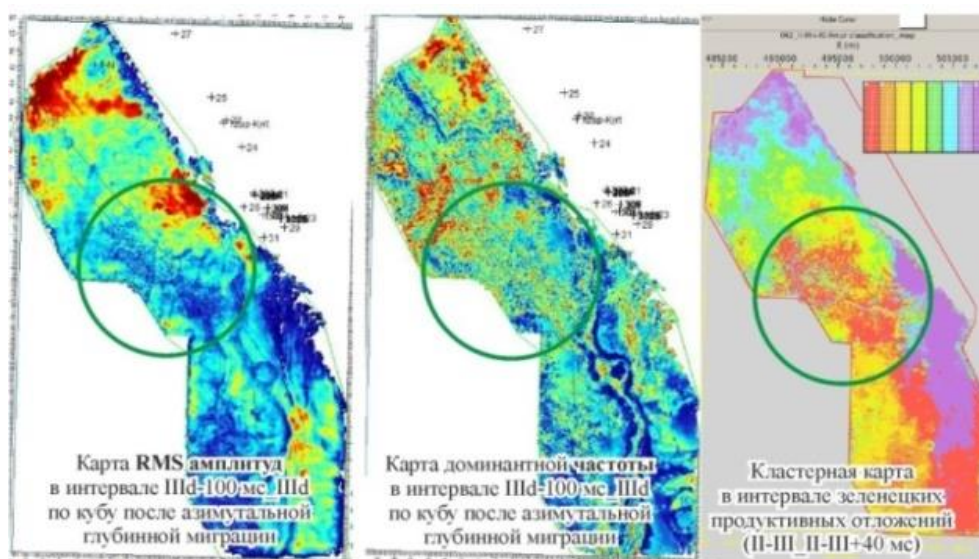
процессе выполнения процедур обработки это проявляется в ухудшении прослеживаемости ОГ целевых интервалов и низкой динамической выразительностью (рис. 4). А именно, в уменьшении амплитуд и частотного состава и присутствии высокого фона поверхностных волн-помех по всему интервалу разреза.

В результате чего для оптимальной корреляции ОГ в ослабленной зоне в ходе структурной интерпретации исполнителям необходимо подготавливать дополнительный суммарный куб временной миграции до суммирования (ВМДС).



**Рис. 4. Последствия выбора неоптимальных условий возбуждения на процесс обработки**

Для анализа качества исходных данных и их пригодности для решения задач динамической интерпретации применяют следующие методические приемы: 1) визуальный анализ качества временных разрезов и слайсов; 2) расчет куба атрибута доминантной частоты; 3) построение FX-спектра по Random Line; 4) построение карт доминантных частот в нескольких целевых интервалах; 5) анализ амплитудно-частотных характеристик по площади работ.



**Рис. 5. Влияние поверхностных условий возбуждения на результаты интерпретации**



На площади работ, приведенной в качестве примера, в центральной части с запада выделяется зона «дребезжания» сейсмической записи, характеризующаяся неравномерным частотным составом, нарушением стабильных осей синфазности (рис. 5). Зона ослабленных амплитуд и малой информативности связана с поверхностными условиями возбуждения и приёма. При анализе полевых работ 3D было выявлено, что заряд был погружен в неоптимальные условия, т.к. значительная часть площади работ попадает в зону развития аномально мощной ЗМС. В центральной и юго-западной части в ВЧР развиты отложения галечников: в этих местах сейсмический материал «рассыпается» на высокочастотную помеху.

При анализе волнового поля данная зона «дребезжания» прослеживалась на всех этапах миграции, наиболее сильно она была отмечена на более глубоких интервалах. Проведенный анализ сейсмического материала показал, что такое качество материала в зоне некондиционной записи не позволит на хорошем уровне восстановить упругие свойства, что выльется в некоторую их неопределенность.

В заключение хотелось бы отметить, что изучение ВЧР в опережающем порядке при производстве СРР в ТПП имеет очень важное значение для получения качественных сейсмических материалов. Наряду с основными применяемыми методиками существуют методы, которые позволяют расчленить ВЧР на уровне верхней ОГ и глубже, тем самым повышая качество дальнейшей обработки и интерпретации. К таким методам можно отнести методы электроразведки 3D – ЗСБ и малоглубинную ЗСБ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козырев, В.С. Учет неоднородностей верхней части разреза в сейсморазведке. М.: Недра, 2003. – С. 51-57.

#### APPLICATION OF METHODS FOR STUDYING THE UPPER PART OF THE SECTION WHEN CARRYING OUT SEISMIC RESEARCHES TO OBTAIN QUALITATIVE DATA

<sup>1</sup>*Olga F.Emelyanova*, <sup>2</sup>*Maria N. Shvetsova*  
*LUKOIL-Engineering Limited. PermNIPIneft Branch Office, Perm*  
<sup>1</sup>*Olga.Emelyanova@pnn.lukoil.com*, <sup>2</sup>*Marija.Shvetsova@pnn.lukoil.com*

**Summary.** The report is devoted to the problem of taking into account heterogeneities in the upper part of the section using various techniques and their influence on further processing and interpretation procedures.

**Key words:** the upper part of the section, seismic exploration, seismic refraction, microseismic logging, electromagnetic scan, processing and interpretation.

УДК 550.370

## ТРЕХМЕРНАЯ ИНВЕРСИЯ ДАННЫХ ИМПУЛЬСНОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ДЛЯ ПОИСКОВ ЗОН СУЛЬФИДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

<sup>1</sup>Шойхонова Туяна Сергеевна, <sup>1</sup>Крайнова Екатерина Александровна,  
<sup>1</sup>Шкиря Михаил Сергеевич, <sup>1</sup>Белова Анастасия Юрьевна,  
<sup>2</sup>Сивенкова Анастасия Павловна  
<sup>1</sup>ИРНТУ, г. Иркутск  
<sup>2</sup>НГТУ, г. Новосибирск  
shoykhonova@yandex.ru

**Аннотация:** В статье представлены результаты трехмерного моделирования данных импульсной электроразведки для поисков зон сульфидной минерализации. Основная задача работ была направлена на исследование депрессии «Кызыл-Сор» и оконтуривание аномальных зон сульфидной минерализации. Средством решения поставленной задачи являлось комплексное применение аппарата одномерной и трехмерной инверсии данных электромагнитных зондирований.

**Ключевые слова:** Импульсная электроразведка, одномерная инверсия, трехмерная инверсия, сульфидная минерализация, зона депрессии.

Геофизические исследования проводились на территории северного Казахстана на участке работ «Кызыл-Сор» с целью установления скрытых зон сульфидной минерализации на глубине до 1 км. Также решались задачи по оконтуриванию ореола штокверковой минерализации. Исследования выполнялись с применением технологии электромагнитного зондирования и вызванной поляризации (ЭМЗ-ВП), в которой используется импульсное возбуждение тока для заземленных источников и приемников.

Основной задачей являлось исследование выделенной по геоморфологическим данным кольцевой структуры (являющейся, возможно, провалом над рудоносным очагом), полностью перекрытой четвертичными глинами и неогеновыми отложениями под ними. Изучение данной области позволит определить возможное наличие в ней сульфидной минерализации. Для решения поставленной задачи, применялось трехмерное моделирование данных электромагнитных зондирований [1].

Метод ЭМЗ-ВП является методом импульсной электроразведки. Разрез возбуждается с помощью электрического диполя АВ, в то время как разность потенциалов измеряется на приемных электродах. Разница напряжений между приемными электродами контролируется во времени (интервал 125 мс). Переходный процесс (гальванический и индукционный) также регистрируется во время выключения тока. Такой подход позволяет устойчиво выделять эффект вызванной поляризации в исследуемых породах и, в конечном итоге, перейти от традиционных кажущихся параметров (кажущегося сопротивления ( $Rho$ ) и кажущейся поляризуемости ( $Eta$ )) к построению трехмерных геоэлектрических моделей по результатам решения обратной задачи, с учетом частотной дисперсии электропроводности [4].

При выполнении 3D моделирования использовалось специализированное программное обеспечение (ПО) «Информационно-программная система обработки данных для сопровождения электромагнитных технологий геологоразведки», разработанное в Новосибирском государственном техническом университете.

Методика 3D инверсии базируется на использовании блочных структур, принцип работы с которыми описан в [5]. В ходе 3D инверсии для каждого из блоков определялись проводимость, поляризуемость и координаты границ блоков.

На участке работ Кызыл-Сор с использованием технологии ЭМЗ-ВП было записано 1472 точки зондирования, общим объемом 36 погонных километров на 17 профилях с шагом 25 м (Рис. 1). Исследования были направлены на картирование зон повышенной поляризуемости, находящихся в коре выветривания и под ней. Повышенная поляризуемость достаточно часто обуславливается присутствием сульфидной минерализации разного вида, которая, может быть связана с потенциально рудными накоплениями.

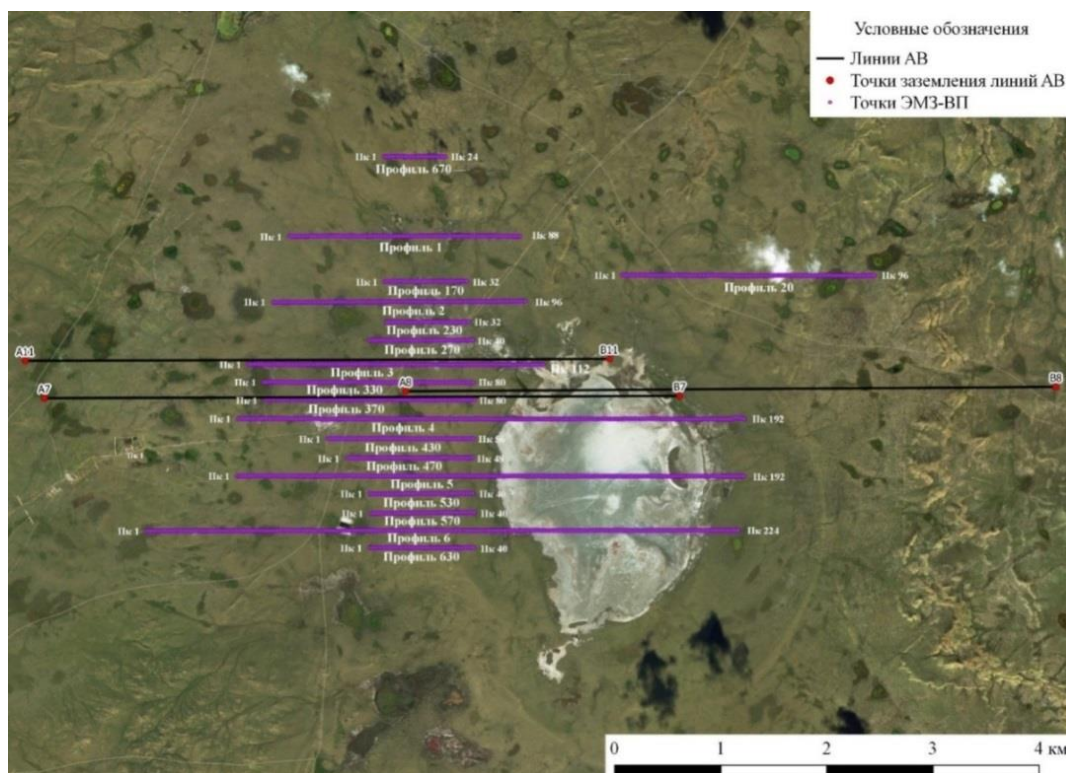


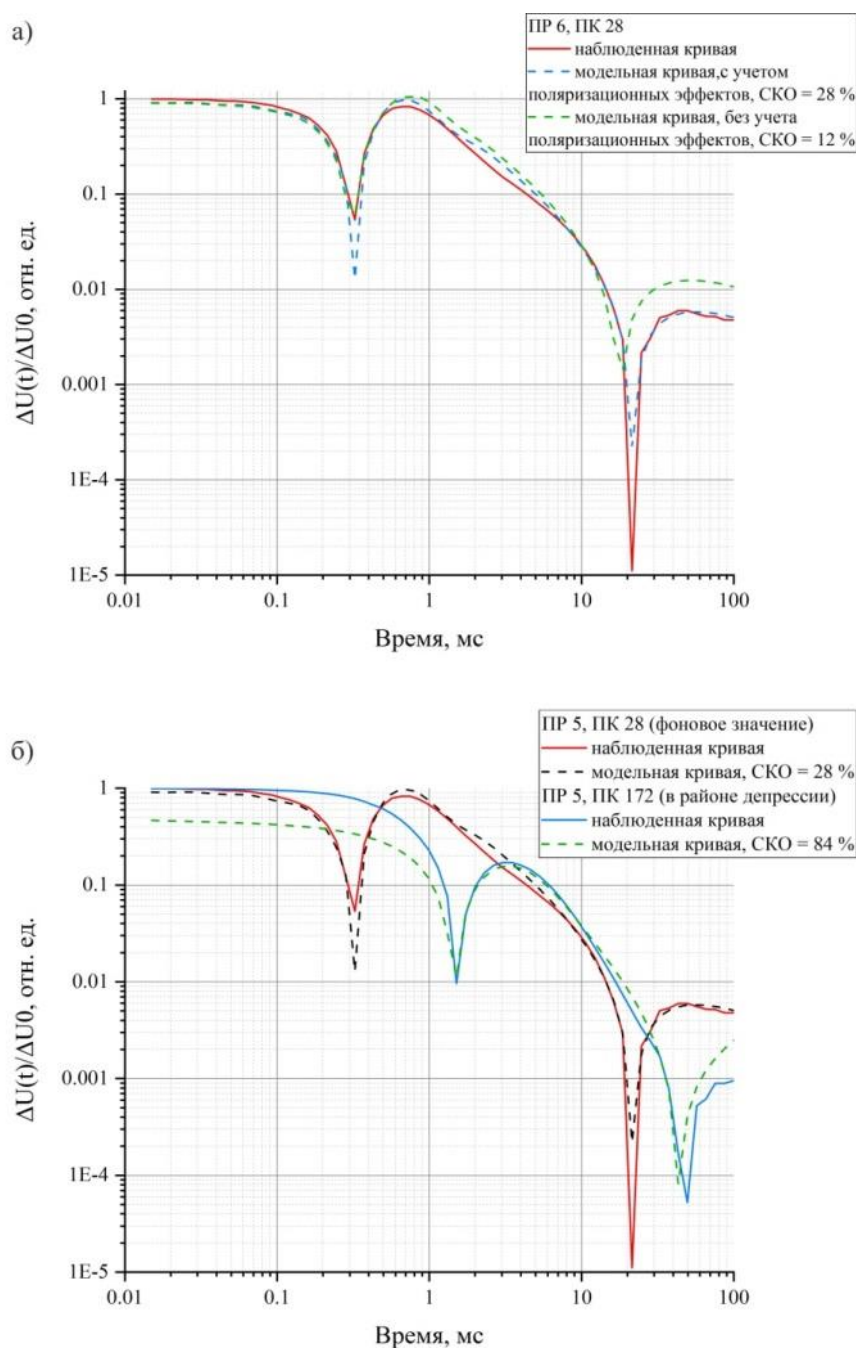
Рис. 1. Расположение профилей на участке «Кызыл-Сор»

В рамках одномерных поляризуемых моделей с целью поиска слепых рудных тел на глубине, содержащих сульфидную минерализацию, была выполнена одномерная инверсия электромагнитных зондирований. При моделировании, осуществляемом в программе Mars1D [3], расчеты велись путём использования комплексного значения удельного электрического сопротивления ( $YЭС$ ), зависящего от частоты. Для описания частотной зависимости  $YЭС$  использовалась формула Cole-Cole, применение которой позволяет описать большинство экспериментальных дисперсионных зависимостей в горных породах [2].

По результатам одномерной инверсии не удалось получить приемлемую модель среды в связи с тем, что на исследуемой площади наблюдается большое количество контрастных объектов, связанных с различными типами сульфидной минерализации. Поэтому была выполнена геометрическая 3D инверсия. Количество искомых параметров было 668, из которых 336 соответствовало геометрическим параметрам (т.е. координатам границ блоков), а остальные – физическим (т.е. значениям поляризуемости и проводимости внутри блоков). Подбор выполнялся в диапазоне от 0.1 до 100 мс. В результате подбора существенно снизилась невязка между наблюдаемыми и модельными

данными. Это говорит о том, что 3D модели достаточно точно описывают геологическую среду в данной ситуации.

На рисунке 2а показан пример сходимости модельных и наблюдаемых кривых зондирования с учетом и без учета вклада поляризационных эффектов. Начиная с временной задержки = 1 мс, сходимость кривых ухудшилась. Учета только индукционного эффекта становления поля для нахождения устойчивого решения недостаточно.



**Рис. 2. Пример сходимости 1D модельных и наблюдаемых кривых ЭМЗ-ВП: а) с учетом и без учета вклада, б) в районе депрессии и фоновое значение**

На рисунке 2б показан пример сходимости модельных и наблюдаемых кривых зондирования, в районе депрессии и фоновое значение. Видно, что прирост проводимости в районе депрессии смещает левый переход через ноль вправо с 0.3 мс на 1.1 мс, что объясняется ростом вклада индукционного поля. В рамках одномерного подбора,

очевидно, не удастся вывести левую индукционную часть модельной кривой на уровень наблюдаемой, что связано с существенным влиянием геоэлектрических неоднородностей в области депрессии на распределение поля источника по площади съемки. Трехмерная инверсия данных ЭМЗ-ВП позволила уменьшить значения среднеквадратического отклонения в данной области с 84 % до 7.05 %, поскольку в ней изначально учитывается неравномерность распределения электромагнитного поля.

На рисунке 3 представлены результаты трехмерного моделирования по параметрам УЭС и поляризуемости. Выделена область пониженного УЭС, скорее всего приуроченная к обводненной зоне, содержащей рассол (Рисунок 3а). По данным ВП объект не выделился, вероятно, это связано с коротким временем паузы токового импульса в генераторной линии. На рисунке 3б показаны выделенные аномальные области повышенной поляризуемости. Все пять объектов входят в ареал рассеяния вторичных ореолов меди. Данные аномалии приурочены к штокверкам с убогой сульфидной минерализацией, ранее изученных до глубины 350 м.

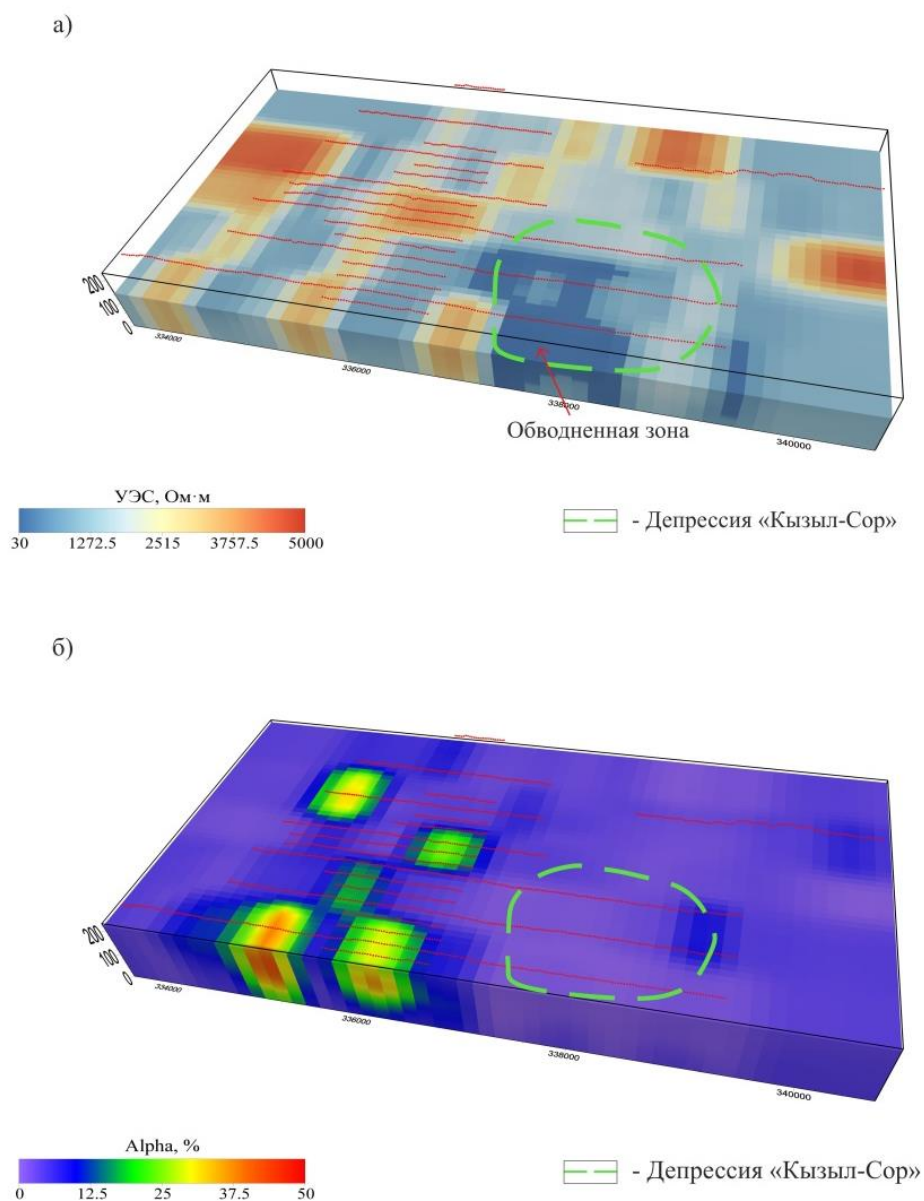


Рис. 3. Результаты 3D моделирования: а) по параметру УЭС, б) по параметру ВП



В общей сложности, при выполнении интерпретации данных, полученных на участке «Кызыл-сор» с использованием технологии ЭМЗ-ВП, было установлено, что из-за высокого контраста проводимости, 1D инверсия не позволила получить приемлемое совпадение наблюдаемых и модельных кривых и, как следствие, приемлемую геологическую модель участка работ [6].

Чтобы признать адекватность 1D модели, хорошая сходимость наблюдаемых и модельных данных является условием необходимым, но не достаточным. Результат одномерного моделирования может считаться пригоден только тогда, когда по нему построена 3D-модель, для которой посчитана прямая задача, и полученные кривые переходных процессов дают невысокую невязку с практическими кривыми.

При сопоставлении данных трехмерной инверсии с имеющейся геологической информацией удалось выделить аномальные зоны повышенной поляризуемости, приуроченные к штокверкам с убогой сульфидной минерализацией. По данным 3D моделирования по разрезу УЭС в районе депрессии «Кызыл-Сор» была выделена низкоомная аномалия, скорее всего связанная с зоной рассолов. Для выделения данной аномалии по ВП необходимо увеличить длительность паузы выключения тока в генераторной линии. Благодаря применению геометрической трехмерной инверсии удалось существенно улучшить сходимость модельных и наблюдаемых кривых, что в свою очередь, позволило получить геологически не противоречащую модель среды.

Эффективность применения в электроразведочных работах 3D моделирования данных ЭМЗ-ВП в полной мере подтверждается результатами работ на месторождении порфирирового типа в северо-восточной части Астанинской области на севере Казахстана, характеризующегося многочисленными проявлениями золота и меди.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Belova, A.Y., A.S. Bashkeev, S.V. Bukhalov, Y.A. Davydenko and P.C.H. Veeken, 2020, Mineral prospecting for copper-molybdene ores in northern Kazakhstan using electromagnetic sensing and induced polarization technology (EMS-IP). Extended abstract, 82th EAGE annual conference and exhibition, non-seismic EM session, Amsterdam, June 2020.
2. Cole, K.S. and R.H. Cole, 1941, Dispersion and absorption in dielectrics. *Journal of Chemical Physics*, 6, 341-353.
3. Давыденко Ю.А., Давыденко А.Ю., Пестерев И.Ю., Яковлев С.В., Давыденко М.А., Комягин А.В., Шимьянский 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 аппаратнопрограммного 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».
4. Давыденко Ю.А., Попков П.А., Новопашина А.В. Перспективы использования индукционной составляющей переходного процесса в традиционных методах постоянного тока // *Геофизические исследования*. 2015. Т. 16, № 4. С. 73–84.
5. Персова М.Г., Соловейчик Ю.Г., Трубачева О.С., Вагин Д.В., Киселев Д.С., Силенкова А.П., Кошкина Ю.И. Подходы к геометрической 3D-инверсии данных электромагнитных зондирований с гальванически заземленными линиями с учетом вызванной поляризации // *ГеоБайкал* 2020. – Европейская ассоциация геоуче-

ных и инженеров (EAGE), 2020. – Т. 2020. №. 1. С. 1-6. УДК: 10.3997/2214-4609.202052022

6. Шкиря М.С., Гуревич Д.В., Терешкин С.А., Белова А.Ю., Давыденко Ю.А. Применение импульсной электроразведки для выделения зон сульфидной минерализации медно-порфирирового типа на территории Северного Казахстана. //ГеоБайкал 2020. – Европейская ассоциация геоученых и инженеров (EAGE), 2020. - Т. 2020. №. 1. С. 1 - 5. УДК: 10.3997/2214-4609.202052031

**THREE-DIMENSIONAL INVERSION OF PULSE ELECTRIC  
EXPLORATION DATA FOR SEARCHING FOR SULFIDE  
MINERALIZATION ZONES IN THE TERRITORY OF NORTHERN  
KAZAKHSTAN**

*<sup>1</sup>Tuyana .S. Shoykhonova, <sup>1</sup>Ekaterina A. Krainova, <sup>1</sup>Mikhail .S. Shkiryа,  
<sup>1</sup>Anastasiya Y. Belova, <sup>2</sup>Anastasiya P. Sivenkova  
<sup>1</sup>INRTU, Irkutsk  
<sup>2</sup>NSTU, Novosibirsk  
shoykhonova@yandex.ru*

**Annotation:** The article presents the results of three-dimensional modeling of pulsed electrical exploration data для поисков зон сульфидной минерализации. for the search for zones of sulfide mineralization. The main task of the work was aimed at studying the Kyzyl-Sor depression and delineating anomalous zones of sulfide mineralization. The means of solving this problem was the complex application of the apparatus for one-dimensional and three-dimensional inversion of electromagnetic sounding data.

**Key words:** pulse electric exploration, one-dimensional inversion, three-dimensional inversion, sulfide mineralization, depression zone.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Акыш Жомарт Ахметулы**  
Zhomart.Akysh@kazakhmys.kz  
Жезказган, Республика Казахстан  
ТОО «Корпорация Казахмыс»  
*научный руководитель*  
Ефименко Сергей Анатольевич, к.т.н.

**Анварова Садокат Гайратовна**  
sadokat.anvarova@mail.ru  
Ташкент, Республика Узбекистан  
Национальный университет Узбекистана

**Арзамасцев Евгений Владимирович**  
Екатеринбург  
Институт геофизики УрО РАН

**Афонин Никита Юрьевич**  
afoninnikita@inbox.ru  
Архангельск  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Российской академии наук (ФГБУН ФИЦКИА РАН)

**Белоусова Александра Андреевна**  
belousovaaleksandra21@mail.ru  
Тюмень  
ФГБОУ ВО «Тюменский  
индустриальный университет»  
*научный руководитель*  
Смирнов Александр Сергеевич, к.г.-м.н.

**Баженова Евгения Анатольевна**  
bazenova\_jena@mail.ru  
Екатеринбург  
Институт геофизики УрО РАН

**Белова Анастасия Юрьевна**  
bay@gelios-geo.com  
Иркутск  
Иркутский национальный  
исследовательский технический  
университет

**Бирюков Павел Геннадьевич**  
brgpavelbiryukov1999@mail.ru  
Иркутск  
Иркутский национальный  
исследовательский технический  
университет  
*научный руководитель*  
Давыденко Александр Юрьевич, к.т.н.

**Бурмистрова Дарья Денисовна**  
Ухта  
Ухтинский государственный технический  
университет

**Бухалов Сергей Владимирович**  
xerorodger@ya.ru  
Иркутск  
Иркутский национальный  
исследовательский технический  
университет  
*научный руководитель*  
Давыденко Александр Юрьевич, к.т.н.

**Вдовин Алексей Геннадьевич**  
agvd@bk.ru  
Екатеринбург  
Институт геофизики УрО РАН

**Витвинин Дмитрий Андреевич**  
gfg-fddf@mail.ru  
Иркутск  
Иркутский национальный  
исследовательский технический  
университет  
*научный руководитель*  
Давыденко Александр Юрьевич, к.т.н.

**Галиева Маргарита Фаритовна**  
Margaritagalieva@gmail.com  
Томск  
Томский политехнический университет  
Научный руководитель  
Исаев Валерий Иванович, д.г.-м.н.



**Ганиева Барно Рустамовна**  
barnoganieva89@gmail.com  
Ташкент, Республика Узбекистан  
Институт Сейсмологии АН РУз  
*научный руководитель*  
Хамидов Лутфулла Абдуллаевич,  
д.ф.-м.н.

**Геодакян Эдуард Григорьевич**  
geodakyan.e@mail.ru  
Гюмри, Республика Армения  
Институт геофизики и инженерной  
сейсмологии им. А.Назарова НАН РА

**Гилишев Андрей Александрович**  
Иркутск  
Иркутский национальный  
исследовательский технический  
университет  
*научный руководитель*  
Давыденко Александр Юрьевич, к.т.н.

**Гинзбург Евгений Александрович**  
ginzburg2014@mail.ru  
Пермь  
Пермский государственный  
национальный исследовательский  
университет  
*научный руководитель*  
Белов Сергей Владимирович, к. т. н.

**Горностаева Анастасия Александровна**  
free\_ride\_@mail.ru  
Екатеринбург  
Институт геофизики УрО РАН  
*научный руководитель*  
Демежко Дмитрий Юрьевич, д.г.-м.н.

**Джункураев Ермек Маликович**  
Ermek.Dzhunkuraev@kazakhmys.kz  
Жезказган, Республика Казахстан  
ТОО «Корпорация Казахмыс»  
*научный руководитель*  
Ефименко Сергей Анатольевич, к.т.н.

**Емельянова Ольга Федоровна**  
Olga.Emelyanova@pnn.lukoil.com  
Пермь  
Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»  
«ПермНИПИнефть»

**Ефименко Сергей Анатольевич**  
serg\_yef@mail.ru  
Жезказган, Республика Казахстан  
ТОО «Корпорация Казахмыс»  
к.т.н.

**Жумашев Кайрат Набдулович**  
Kairat.Zhumashev@kazakhmys.kz  
Жезказган, Республика Казахстан  
ТОО «Корпорация Казахмыс»  
*научный руководитель*  
Ефименко Сергей Анатольевич, к.т.н.

**Жўраев Фирдавс Мухиддин ўғли**  
juraev.firdavs.9919@mail.ru  
Ташкент, Республика Узбекистан  
Ташкентский университет  
информационных технологий

**Ильин Виталий Викторович**  
vitaliy.ilin.2000@bk.ru  
Воронеж  
Воронежский государственный  
университет

**Карапетян Джон Костикович**  
jon\_iges@mail.ru  
Гюмри, Республика Армения  
Институт геофизики и инженерной  
сейсмологии им. А.Назарова НАН РА

**Кашин Глеб Юрьевич**  
gleb.gurza159@yandex.ru  
Ижевск  
Удмуртский государственный университет

**Корженкова Любовь Андреевна**  
korjenkova2404@mail.ru  
Москва  
ИГЭ им. Е.М.Сергеева РАН  
*научный руководитель*  
Макеев Владимир Михайлович, д.г.-м.н.

**Крайнова Екатерина Александровна**  
Иркутск  
Иркутский национальный  
исследовательский технический  
университет

**Крутенко Даниил Сергеевич**  
dskrutenko@gmail.com  
Томск  
Томский политехнический университет  
*научный руководитель*  
Исаев Валерий Иванович, д.г.-м.н.

**Лазурченко Антон Витальевич**  
lozurchenko@gmail.com  
Иркутск  
Иркутский национальный  
исследовательский технический  
университет  
*научный руководитель*  
Давыденко Александр Юрьевич, к.т.н.

**Лисковский Павел Николаевич**  
Pashalis@inbox.ru  
Южно-Сахалинск  
Институт морской геологии и геофизики  
ДВО РАН  
*научный руководитель*  
Веселов Олег Васильевич, к.г.-м.н.

**Лихачева Ольга Владимировна**  
likhachevaolga2001@gmail.com  
Ижевск  
Удмуртский государственный  
университет  
*научный руководитель*  
Кашин Глеб Юрьевич

**Макеев Владимир Михайлович**  
vmakeev@mail.ru  
Москва  
ИГЭ им. Е.М.Сергеева РАН

**Минцзюнь Се**  
yiranxmj@gmail.com  
Пермь  
Пермский государственный  
национальный исследовательский  
университет  
*научный руководитель*  
Костицын Владимир Ильич, д. т. н.

**Миронычев Вадим Геннадьевич**  
fngr@udsu.ru  
Ижевск  
Удмуртский государственный университет

**Мкртчян Мери Артушовна**  
mary-mary-86@mail.ru  
Гюмри, Республика Армения  
Институт геофизики и инженерной  
сейсмологии им. А.Назарова НАН РА  
*научный руководитель*  
Геодакян Эдуард Григорьевич, к.ф.-м.н.

**Морозова Екатерина Руслановна**  
morozova\_er@fciaarctic.ru  
Архангельск  
Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки федеральный  
исследовательский центр комплексного  
изучения Арктики имени академика Н.П.  
Лаверова Российской академии наук  
(ФГБУН ФИЦКИА РАН)  
*научный руководитель*  
Конечная Яна Викторовна, к. т. н.

**Непина Ксения Сергеевна**  
pereina.k@mail.ru  
Бишкек, Республика Кыргызстан  
Научная станция РАН в г. Бишкеке  
*научный руководитель*  
Рыбин Анатолий Кузьмич., д.ф.-м.н.

**Оганесян Севада Мкртичевич**  
iges@mail.ru  
Гюмри, Республика Армения  
Институт геофизики и инженерной  
сейсмологии им. А.Назарова НАН РА

**Попков Иван Васильевич**  
geoskubsu@mail.ru  
Краснодар  
Кубанский государственный университет

**Рябова Светлана Александровна**  
riabovasa@mail.ru  
Москва  
Институт динамики геосфер РАН  
*научный руководитель*  
Спивак Александр Александрович,  
д.ф.-м.н.

**Саакян Бабкен Вазгенович**

sahakyan\_babken@mail.ru  
Гюмри, Республика Армения  
Институт геофизики и инженерной  
сейсмологии им. А.Назарова НАН РА  
*научный руководитель*  
Геодакян Эдуард Григорьевич, к.ф.-м.н.

**Салимов Канат Ибрагимович**

Kanat.Salimov@kazakhmys.kz  
Жезказган, Республика Казахстан  
ТОО «Корпорация Казахмыс»  
*научный руководитель*  
Ефименко Сергей Анатольевич, к.т.н.

**Семенов Владимир Евгеньевич**

vlsemenov20002@yandex.ru  
Воронеж  
Воронежский государственный  
университет  
*научный руководитель*  
Глазнев Виктор Николаевич, д.ф.-м.н.

**Семяшкина Анастасия Викторовна**

urban.mix@mail.ru  
Ухта  
Ухтинский государственный технический  
университет  
*научный руководитель*  
Шилова Светлана Владимировна, к.т.н.

**Сериков Азамат Еркинбекович**

Azamat.Serikov@kazakhmys.kz  
Жезказган, Республика Казахстан  
ТОО «Корпорация Казахмыс»  
*научный руководитель*  
Ефименко Сергей Анатольевич, к.т.н.

**Сивенкова Анастасия Павловна**

Новосибирск  
Новосибирский государственный  
технический университет

**Терешкин Станислав Андреевич**

Иркутск  
Иркутский национальный  
исследовательский технический  
университет  
*научный руководитель*  
Давыденко Александр Юрьевич, к.т.н.

**Турова Алёна Павловна**

turova\_ar@fciarctic.ru  
Архангельск  
Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки федеральный  
исследовательский центр комплексного  
изучения Арктики имени академика  
Н.П. Лаверова Российской академии наук  
(ФГБУН ФИЦКИА РАН)  
*научный руководитель*  
Антоновская Галина Николаевна, д.т.н.

**Хамидов Хайрулла Лутфуллаевич**

hayrulla\_classic@mail.ru  
Ташкент, Республика Узбекистан  
Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова  
АН РУз

**Хацкевич Богдан Дмитриевич**

disaybl@yandex.ru  
Екатеринбург  
Институт геофизики УрО РАН

**Цзяньмэн Сунь**

sunjm@upc.edu.cn  
Циндао, Китайская народная республика  
Китайский нефтяной университет

**Чистяков Никита Юрьевич**

nikita.chistyakov@fxc-png.ru  
Пермь  
ФХС-ПНГ

**Швецова Мария Николаевна**

Marija.Shvetsova@pnn.lukoil.com  
Пермь  
Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»  
«ПермНИПИнефть»

**Шилова Светлана Владимировна**

sshilova@bk.ru  
Ухта  
Ухтинский государственный технический  
университет

**Шкиря Михаил Сергеевич**

shkirya.ms@gmail.com

Иркутск

Иркутский национальный  
исследовательский технический

университет

*научный руководитель*

Давыденко Александр Юрьевич, к.т.н.

**Шойхонова Туяна Сергеевна**

shoykhonova@yandex.ru

Иркутск

Иркутский национальный  
исследовательский технический

университет

*научный руководитель*

Давыденко Александр Юрьевич, к.т.н.

## СОДЕРЖАНИЕ

БАЖЕНОВА Е. А., ВДОВИН А. Г., АРЗАМАСЦЕВ Е. В. Вариации сигналов геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения в тектонически нарушенных зонах геологической среды.....	3
БЕЛОУСОВА А. А. Применение комплексирования полевых методов разведочной геофизики с целью поисков водоносных горизонтов для разноцелевого водоснабжения на Ковыктинском газоконденсатном месторождении.....	7
БИРЮКОВ П. Г., ТЕРЕШКИН С. А., ШКИРЯ М. С., СИВЕНКОВА А. П., ГИЛИШЕВ А. А. Применение комплексирования полевых методов разведочной геофизики с целью поисков водоносных горизонтов для разноцелевого водоснабжения на Ковыктинском газоконденсатном месторождении.....	12
ВИТВЕНИН Д. А., БУХАЛОВ С. В. Измерения поляризационных характеристик образцов горных пород для комплексной геолого-геофизической интерпретации.....	17
ГАЛИЕВА М. Ф. Геотемпературные модели фанерозойских очагов генерации углеводородов их роль в формировании залежей «палеозойской нефти» (Герасимовское месторождение, Томская область).....	22
ХАМИДОВ Х. Л., ГАНИЕВА Б. Р., АНВАРОВА С. Г., ЖҰРАЕВ Ф. М. Ўғли Квазистатическая количественная модель для расчета напряжений и деформаций земной коры основания крупных резервуаров.....	27
ГИНЗБУРГ Е. А., ЧИСТЯКОВ Н. Ю. Оценка эффективности метода аппроксимации дисперсионной кривой изгибной волны.....	34
ГОРНОСТАЕВА А. А., ХАЦКЕВИЧ Б. Д. Оценка подземного теплового поля мегаполиса по данным скважинных температурных измерений (на примере Екатеринбурга).....	39
ДЖУНКУРАЕВ Е. М., АКЫШ Ж. А., САЛИМОВ К. И., СЕРИКОВ А. Е., ЖУМАШЕВ К. Г. Online мониторинг содержания серебра в рудах месторождений, разрабатываемых ТОО «Корпорация Казахмыс».....	43
ИЛЬИН В. В. Петрофизические параметры гранитоидов Даховского кристаллического массива (Северо-Западный Кавказ).....	48
КРУТЕНКО Д. С. Эксклюзивная карта теплового потока западных районов Томской области на фоне нефтегазоносности, мезозойско-кайнозойских тектонических элементов и системы «крупных» разломов юго-востока Западной Сибири.....	53
ЛАЗУРЧЕНКО А. В., ШКИРЯ М. С., БЕЛОВА А. Ю. Выделение водонасыщенной зоны на Верхнекамском месторождении солей по результатам трехмерной инверсии данных импульсной электроразведки.....	58
ЛИСКОВЫЙ П. Н. Геологические особенности верхней части разреза северо-восточного шельфа Охотского моря.....	63
ЛИХАЧЕВА О. В., КАШИН Г. Ю., МИРОНЫЧЕВ В. Г. Применение низкочастотной сейсморазведки с целью поиска и разведки нефтяных месторождений в Удмуртской республике.....	68
МАКЕЕВ В. М., КОРЖЕНКОВА Л. А. Методология изучения четвертичной геодинамики платформенных территорий в связи с оценкой сейсмического потенциала.....	71
СЕ МИНЦЗЮНЬ, СУНЬ ЦЗЯНЬМЭН Развитие технологии моделирования цифрового ствола скважин с использованием геофизических данных.....	76
МКРТЧЯН М. А., СААКЯН Б. В., ГЕОДАКЯН Э. Г., КАРАПЕТЯН ДЖ. К., ОГАНЕСЯН С. М. Развитие афтершоковой последовательности Спитакского землетрясения.....	81
МОРОЗОВА Е. Р. Первые результаты работы сейсмической станции «Колба».....	86

НЕПЕИНА К. С. Связь изменчивости энергетической характеристики эндогенного поля с сейсмичностью (Чуйская область, Кыргызстан).....	91
ПОПКОВ И. В. Применение высокоточной крупномасштабной аэромагнитной съемки при изучении внутреннего строения фундамента платформ.....	96
РЯБОВА С. А. Геомагнитные аномалии в период землетрясения в Эгейском море (2020).....	101
СААКЯН Б. В., ГЕОДАКЯН Э. Г., ОГАНЕСЯН С. М., КАРАПЕТЯН ДЖ. К., МКРТЧЯН М. А. Определение фрактальной размерности пространственного распределения эпицентров землетрясения и систем разломов на территории центральной части Армении.....	104
СЕМЕНОВ В. Е. Создание редактора сред для визуализации геологических тел и создаваемых ими геофизических полей.....	109
СЕМЯШКИНА А. В., БУРМИСТРОВА Д. Д., ШИЛОВА С. В. Некоторые аспекты сопровождения автоматизированной интерпретации	114
ТУРОВА А. П., АФОНИН Н. Ю. Развитие нейросетевых технологий для детектирования и идентификации сейсмических событий, регистрируемых Архангельской сейсмической сетью.....	120
ЕМЕЛЬЯНОВА О. Ф., ШВЕЦОВА М. Н. Применение методов изучения ВЧР при проведении СРР для получения качественных сейсмических данных.....	125
ШОЙХОНОВА Т. С., КРАЙНОВА Е. А., ШКИРЯ М. С., БЕЛОВА А. Ю., СИВЕНКОВА А.П. Трехмерная инверсия данных импульсной электроразведки для поисков зон сульфидной минерализации на территории северного Казахстана.....	130
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ.....	136

Научное издание

Двадцать Вторая Уральская молодежная  
научная школа по геофизике

Сборник научных материалов

Рекомендовано к изданию Ученым советом «ГИ УрО РАН»  
Протокол № 4 от 09.04.2021

Компьютерная верстка: Верхованцев Ф.Г., Гусева Н.С.

ISBN 978-5-903258-44-4



Сдано в набор 10.04.2021. Подписано в печать 12.04.2021.

Формат 60x90/8.