



ПЕРМЬ
20-24 марта
2023

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ

Пермь 2023

XXIV

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

**2000
2023**

**ЕКАТЕРИНБУРГ
ПЕРМЬ**

«Горный институт Уральского отделения Российской академии наук» –
филиал Федерального государственного бюджетного учреждение 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
ЧЕТВЕРТАЯ
УРАЛЬСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ
НАУЧНАЯ ШКОЛА
ПО ГЕОФИЗИКЕ**

Сборник научных материалов

Пермь 2023

УДК 550.3
ББК 26.324
Ш 5614

**Двадцать четвертая уральская молодежная научная школа по геофизике:
Сборник науч. материалов.** – Пермь: ГИ УрО РАН, 2023, 320 с.

Сборник содержит материалы, представленные на Двадцать Четвертой Уральской молодежной научной школе по геофизике, состоявшейся в Перми 20-24 марта 2023 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. А.С. Долгаль («ГИ УрО РАН»)

Рецензенты: к.г.-м.н. И.А. Козлова (ИГ УрО РАН), к.т.н. Д.Ю. Шулаков («ГИ УрО РАН»)

978-5-903258-47-5



УДК 552.52

ЛОКАЛЬНЫЙ КАТАЛОГ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ КРУПНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ ЦЕНТРАЛЬНОГО И ЮЖНОГО УЗБЕКИСТАНА

¹*Анварова Садокат Гайратовна*, ²*Ганиева Барно Рустамовна*,
³*Артиков Фарход Рустамович*

Институт сейсмологии АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан

¹*sadokat.anvarova@mail.ru*, ²*barno.rustamovna@mail.ru*, ³*farhadbek_uz@mail.ru*

Аннотация. Мониторинг сейсмичности в ближних зонах крупных инженерных сооружений является важной основой для распознавания уровня активности тектонических разломов в зоне техногенного влияния крупных водохранилищ. Для создания местных каталогов и организации работы с ними при расчетах в ближних разломах дополнительных деформаций и напряжений, возникающих, за счет эксплуатации техногенных объектов остается одной из приоритетных задач. В работе составлен каталог локальных землетрясений для ближних зон крупных водохранилищ Центрального и Южного Узбекистана. Он дает возможность более корректно оценить распределения землетрясений в зонах влияния указанных объектов. В каталогах также можно определить расстояния от створа каждого водохранилища до очага и значения сброса напряжений.

Ключевые слова: каталог, распределение землетрясений, водохранилище, энергетический класс, закон повторяемости.

Создание местных каталогов землетрясений для зон активного влияния крупных водохранилищ необходимо для проведения расчетов в ближних тектонических разломах дополнительных деформаций и напряжений. Они могут возникать, при эксплуатации резервуара создавая смещение пластов их основания [1].

Зоны влияния Пачкамарского, Чимкурганского (Южный Узбекистан) и Джизакского, Заминского (Центральный Узбекистан) водохранилищ охватывают территорию, которая характеризуется активной тектонической деятельностью, проявляющейся, в том числе, и в достаточно высоком уровне сейсмической активности. Примером для Южного Узбекистана служат Камашинские землетрясения в 1999 и 2000 годах. По данным Р.С. Михайловой землетрясениям 31.10.1999 г. и 20.04.2000 г. можно присвоить названия Камашинское-I с $M_w=5.0$ [2] и Камашинское-II с $M_w=5.3$ [1], по названию ближайшего, 25 и 15 км соответственно, к эпицентрам населенному пункту Камаши в западных отрогах Гиссарского хребта, междуречье Кизылдары и Урадары [3]. Расстояние до створов Пачкамарского и Чимкурганского водохранилищ составляло соответственно 19 и 18 км. Они сопровождались определенным количеством афтершоков.

Изучение сейсмичности района расположения Пачкамарского, Чимкурганского (Южный Узбекистан) и Джизакского, Зааминского (Центральный Узбекистан) водохранилищ проводилось установленными в работе [4] Н.М.Джураевым методами и приемами на площади исследований с координатами углов трапеции: $\phi_N=38.3^0 \div 39.5^0$ и $\lambda_E=66.5^0 \div 68.5^0$. Из каталогов землетрясений для этой площади произведена выборка и составлены карты эпицентров землетрясений за период 1955-2007 годы с энергетическим классом $K \geq 9.0$ (рис. 1а) и карта эпицентров за 1996-2007 годы с $K \geq 8.0$ (рис. 1б), а также каталог землетрясений с $K \geq 8$ за период 1990-2008 годы (по октябрь) [3].

По полученным данным можно заметить следующие особенности проявления сейсмичности территории по годам.

Количество землетрясений N в 1 год с $K \geq 8$ за период наблюдений 1990-2007 годы, по годам различно. Наибольшие значения, $N=23$ и 24, приходятся на 2001 и 2000 годы соответственно. Наименьшие значения $N=0, 5, 6, 7$ и 8 приходятся на 1996-1999 и 2002-2007 годы. Следует заметить, что эти периоды характеризуются более стабильными значениями $N=5-8$ и наблюдается для периодов 1996-1999, 2002 и 2004-2006 годы. Это отражено в гистограмме распределения количества землетрясений за период 1990-2008 года (рис. 2).

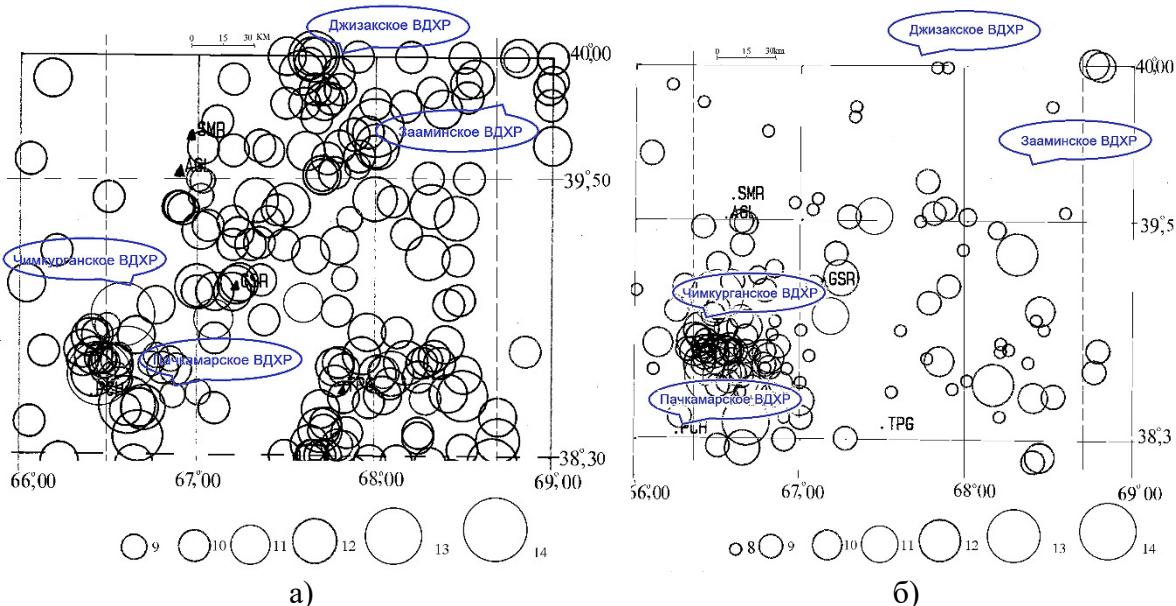


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений района исследований:
а) за 1955-2007 гг. с $K \geq 9$;
б) за 1996-2007 гг. с $K \geq 8$ [4]

Количество эпицентров и густота их расположения на этой площади в разные годы отличаются между собой. Однако, контур скопления и густота эпицентров, и их приуроченность к отдельным геоструктурным элементам, в целом, остаются похожими. Так, скопление эпицентров землетрясений в районе исследований отражено на карте эпицентров за 1955-2007 года с $K \geq 9.0$ (рис. 1а), а на рисунке 1б отображена густота эпицентров за 1996-2007 года $K \geq 8.0$, концентрация эпицентров значительно меньше, такая же ситуация наблюдалась и в 2000-2008 годах.

Сейсмическая станция регионального типа, которая была открыта в 1995 году (с увеличением $V=10\,000$ раз) на исследуемой территории, в зоне Гиссаракского водохранилища, для дополнения региональной сети сейсмостанций и для повышения информативности и точности определения координат местных землетрясений, работала по 2016 год. Полученные сейсмографические материалы обрабатывались, используя их для изучения сейсмичности территории Гиссаракского и Чимурганского гидросооружений. Эта станция расположена вне зоны влияния водохранилища, т.е. в расстоянии около 1 км от плотины, что позволило исключить сейсмические помехи, исходящие от плотины. Эта станция в течение 2002-2008 года работала с большим перебоем и качество сейсмографических материалов низкое. За 2002, 2004, 2005 и 2006 годы, количество произошедших землетрясений, N , близки между собой, и составляют соответственно 7, 5, 5 и 8. Землетрясений с $K \geq 8$, в 2003 году вовсе нет. Количество землетрясений в 2007 году составляет 1. Это возможно связано с продолжением в этот период сейсмического затишья.

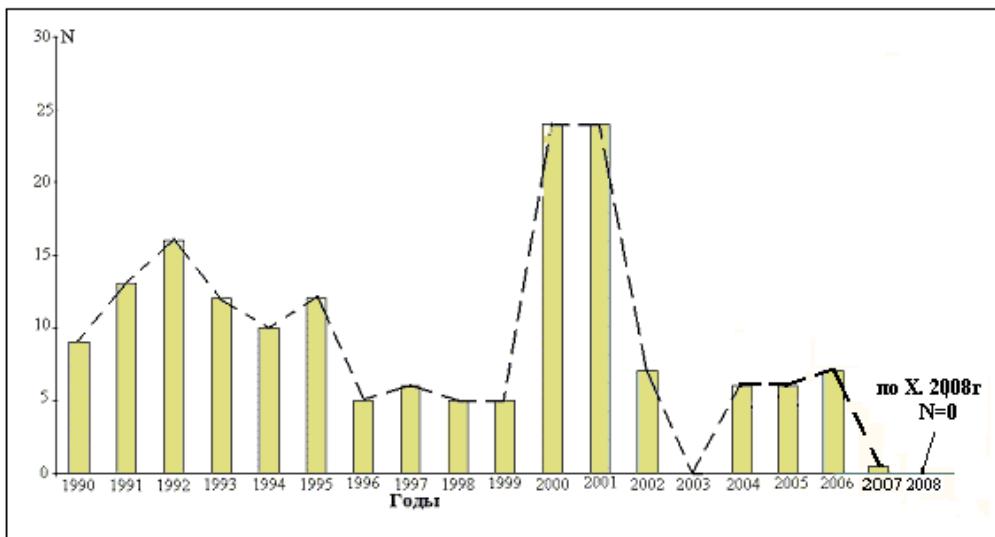


Рис. 2. Гистограмма распределения количества землетрясений по годам за период 1990-2008 гг. в зоне Центрального и Южного Узбекистана [4]

При анализе международных каталогов землетрясений по данной территории произведена выборка на 2007 и 2008 годы. Здесь нами получено дополнение к каталогу по указанным годам. Она слабо подтверждает прогностическую часть гистограммы распределения количества землетрясений в рисунке 2 на период с 2007 по 2008 годы. Подобный анализ является недостаточным для получения полного представления о том, как изменяется сейсмический режим в зоне влияния конкретно выбранного одного водохранилища.

Поэтому в 2011-2021 годы нами производилось набор соответствующих данных о последующих землетрясениях и расчет сейсмических параметров для конкретной площади зоны влияния водохранилищ, их изменение во времени с учетом характера протекания сейсмических событий за периоды наблюдений, в различные периоды эксплуатации водохранилищ. В дальнейшем выборку из каталогов землетрясений производили по данным нескольких Геофизических служб, для каждого из которых сами службы определяли представительность землетрясений для исследуемой области [5].

Предварительно составленные каталоги за 1990-2008 годы сведены под единую форму землетрясений с энергетическим классом $K \geq 8$ и за 2011-2021 года с энергетическим классом $K \geq 7$, определяя расстояние до эпицентра от створа водохранилищ.

В сравнении с гистограммами распределения землетрясений в период 1990-2007 годы (рис. 2) по полученным данным можно отметить особенности проявления сейсмичности территории с 2011 по 2022 года (рис. 3).

Количество землетрясений N с $K \geq 8$ за период наблюдений 1990-2007 гг и 2011-2022 годы различность по годам сохраняется. В период 2011-2022 годы наибольшие значения в зоне влияния Пачкамарского водохранилища ($N=230$) приходятся на 2019-2022 годы соответственно. Наименьшие значения $N=6, 16, 10, 11, 9$ приходятся на 2011-2016 годы, среднее значение $N=18, 23$ и 26 приходится на 2017-2018 годы. Наименьшие значения за указанный период как в период 1990-2006 годы характеризуются более стабильными значениями N при низком качестве регистрации землетрясений устаревшими аппаратурами.

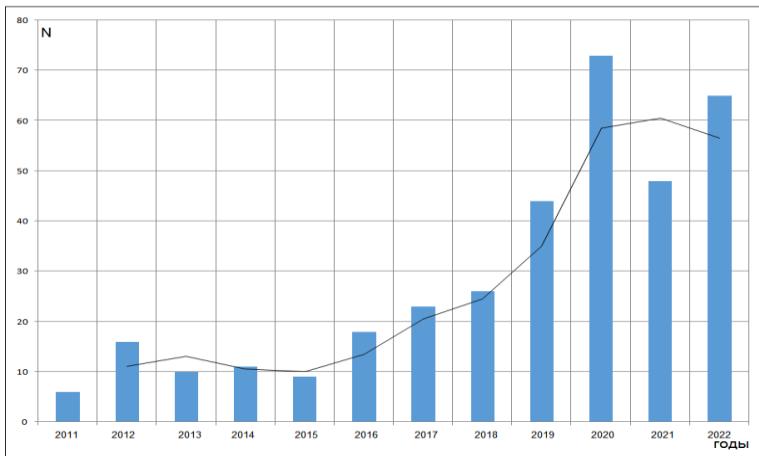


Рис. 3. Гистограмма распределения количества землетрясений с $K \geq 8$ за 2011-2022 годы в зоне Центрального и Южного Узбекистана

Из эмпирической формулы $\lg N = -0.350K + 2.212$ повторяемости землетрясений с достоверностью аппроксимации $R^2 = 0.943$ за 1990-2007 годы построены график повторяемости согласно закону Гуттеберга-Рихтера [6] (рис.4).

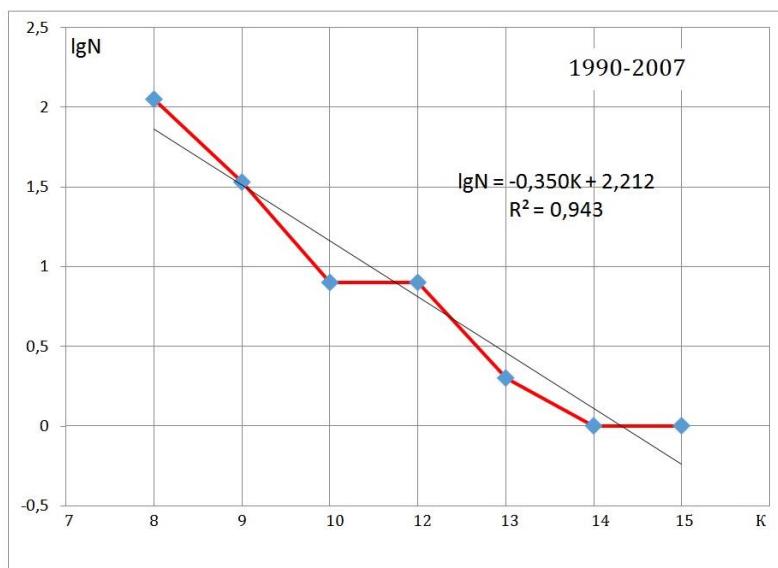


Рис. 4. Повторяемость землетрясений по закону Гуттенберга-Рихтера [10], в пределах радиуса $R \leq 100$ км от створов плотин (зоны Пачкамарского, Чимкурганского, Джизакского и Зааминского водохранилищ)

Коэффициент графика повторяемости в пределах краевой подзоны Гиссаро-Магышлакского разлома и Кунгтан-Байсунское поднятие Южном Узбекистане и зона Атбашинской сутуры, а также Бельтау-Кураминский вулканического пояса Центральном Узбекистане сравнительно низкий (0.350).

По значениям этих коэффициентов трудно отметить их вариацию для отдельно взятых зон влияния водохранилищ. Изучение особенностей проявления сейсмичности в связи с эксплуатацией объекта требует длительного непрерывного наблюдения с накоплением статистики о землетрясениях не только по сильным, но и в основном по слабым землетрясениям менее 10 энергетического класса.

Составленный каталог локальных землетрясений близких зон Пачкамарского, Чимкурганского, Джизакского и Зааминского водохранилищ Центрального и Южного

Узбекистана дает возможность более корректно оценить распределения землетрясений в зонах влияния указанных водохранилищ в период эксплуатации за 2011-2022 годы, совмещенная периодами эксплуатации за 1997-2008 годы. В каталогах также определены расстояния от створа каждого водохранилища до очага землетрясений и значении сброса напряжений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ганиева Б.Р., Анварова С.Г. Расчет смещений основания водохранилищ, влияющих на земную кору при их эксплуатации по модельным и эмпирическим зависимостям // XXIII Уральская молодежная научная школа по геофизике. - Екатеринбург, 21-25 марта 2022 года- ИГФ УрО РАН, 2022. – С. 48-52.
2. Михайлова Р.С. (отв. сост.). Каталог землетрясений Северной Евразии// Землетрясения Северной Евразии в 1999 году. - Обнинск: ГС РАН, 2005. – С. 26-42.
3. Михайлова Р.С. (отв. сост.). Каталог землетрясений Северной Евразии. (См. раздел I (Обзор сейсмичности) - Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 254-264.
4. Тимбеков И.Х., Джурاءв Н.М., Туйчиева М.А. О достижениях комплексных инженерно-сейсмологических исследований, проведенных в районе предстоящего строительства гидротехнических сооружений в сейсмоактивных зонах Узбекистана. // Проблемы сейсмологии в Узбекистане, - Ташкент: «Янги авлод» - №3, 2006. – С. 54-63.
5. Артиков Ф.Р. Возможности оценки гидрологического режима и сейсмического состояния зоны Туполангского водохранилища //Seysmologiya muammolari №2, т.3, 2021. – С. 97-105.
6. Gutenberg B., Richter C.F. Seismicity of the Earth and associated phenomena, 2nd edition. – Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1954. – 310 p.

LOCAL CATALOG OF EARTHQUAKES FOR THE NEAR ZONE OF LARGE RESERVOIRS IN CENTRAL AND SOUTHERN UZBEKISTAN

¹*Anvarova Sadokat Gayratovna*, ²*Ganieva Barno Rustamovna*,
³*Artikov Farhod Rustamovich*

Institute of Seismology, Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan

¹*sadokat.anvarova@mail.ru*, ²*barno.rustamovna@mail.ru*, ³*farhadbek_uz@mail.ru*

Summary. Monitoring of seismicity in the near zones of large engineering structures is an important basis for recognizing the level of activity of tectonic faults in the zone of technogenic influence of large reservoirs. To create local catalogs and organize work with them in calculations in nearby faults, additional deformations and stresses that arise due to the exploitation of technogenic objects remain one of the priority tasks. In the work, a catalog of local earthquakes for the near zones of large reservoirs in Central and Southern Uzbekistan has been compiled. It makes it possible to more correctly estimate the distribution of earthquakes in the zones of influence indicated. In the catalogs, one can also determine the distances from the site of each reservoir to the source and the value of stress relief.

Key words: catalogue, distribution of earthquakes, reservoir, energy class, recurrence law.

УДК 550.832

ПРОЯВЛЕНИЕ ЗОН ТРЕЩИНОВАТОСТИ В ПОЛЯХ ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Баженова Евгения Анатольевна, Вдовин Алексей Геннадьевич
Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург
Bazenova_jena@mail.ru

Аннотация. В статье описана аппаратура и методика, позволяющая выделять зоны трещиноватости в разрезах скважин и оценивать на качественном уровне их геодинамическую активность. Приведены результаты исследования сигналов геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения в одной из скважин Копанского титаномагнетитового месторождения. Рассмотрен пример проявления зоны трещиноватости в полях геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения.

Ключевые слова: геоакустическая эмиссия, электромагнитное излучение, каротаж, зоны трещиноватости, напряженно-деформированное состояние.

Изучение зон трещиноватости является актуальной задачей, требующей достаточно сложных технических и технологических подходов. Вне зависимости от глубины залегания, зоны трещиноватости представляют серьёзную угрозу, как при бурении и эксплуатации скважин, так и при строительстве горнодобывающих предприятий и объектов стратегического значения.

Исследование трещиноватости горных пород осуществляется различными способами: изучение обнажений горных пород на дневной поверхности; наземными и скважинными геофизическими методами; исследование керна в лабораторных условиях. Каждый из перечисленных способов имеет свои достоинства и недостатки. Так, например, при исследованиях на земной поверхности обнажений горных пород, достаточно сложно спрогнозировать распространение нарушений сплошности массивов на глубину. В этом случае, наиболее рационально в комплексе с геологической съемкой использовать наземные и скважинные геофизические методы разведки, которые позволяют выделять зоны трещиноватости по площади и по глубине. Методы геофизики позволяют не только выделять и трассировать зоны нарушения сплошности геологической среды, но и оценивать количественные характеристики изучаемых объектов. При этом лишь небольшая группа скважинных методов геофизики позволяет выделять зоны трещиноватости и оценивать на качественном уровне их геодинамическую активность.

К одному из способов оценки геодинамической активности относится исследование сигналов геоакустической эмиссии (ГАЭ) и электромагнитного излучения (ЭМИ). В настоящее время данной проблемой занимается достаточно большое количество ученых со всего мира. Так, например, в работах [4, 2, 5, 8] описываются лабораторные эксперименты по установлению связи между стадиями разрушения образцов горных пород и сигналами ЭМИ и ГАЭ. В реальных условиях измерения сигналов электромагнитного излучения и геоакустической эмиссии выполняют в шахтах [9] для выявления и мониторинга зон повышенной напряженности в массивах горных пород; в условиях открытых горных выработок [3] для оценки реакции геологической среды на техногенные взрывы; на дневной поверхности [7] для исследования естественных электромагнитных и геоакустических сигналов литосферного происхождения и выявления тектонически нарушенных зон; в скважинах [6] для выявления зон повышенной напряженности и

трещиноватости массивов горных пород в естественном залегании и установления связи вариаций сигналов ГАЭ и ЭМИ с деформационными процессами известной физической природы.

В данной работе представлен один из методов скважинной геофизики, применяемый для выделения зон трещиноватости массивов горных пород по стволу скважин, и оценки их геодинамической активности. Метод основан на регистрации естественных геоакустических и электромагнитных сигналов.

Для измерения сигналов геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения в лаборатории скважинной геофизики Института геофизики УрО РАН разработано и опробовано несколько аппаратурно-программных комплексов. В данной работе рассматриваются результаты исследований геологической среды с прибором МЭШ-42 [1]. Данный прибор позволяет проводить синхронную регистрацию сигналов ГАЭ и ЭМИ. Сигналы ГАЭ регистрируются в трех частотных диапазонах с трех взаимно-ортогональных датчиков-акселерометров и программным способом преобразуются в следующие информативные параметры: Н1 (результирующая с двух горизонтальных датчиков в частотном диапазоне 100–500 Гц), Н2 (результирующая с двух горизонтальных датчиков в частотном диапазоне 500–5000 Гц), Н4 (результирующая с двух горизонтальных датчиков в частотном диапазоне 2500–5000 Гц) и Z1 (вертикальный датчик в частотном диапазоне 100–500 Гц), Z2 (вертикальный датчик в частотном диапазоне 500–5000 Гц), Z4 (вертикальный датчик в частотном диапазоне 2500–5000 Гц). Сигналы ЭМИ регистрируются на трех частотах: F1 (45 кГц), F2 (80 кГц) и F3 (120 кГц).

Аппаратурно-программный комплекс МЭШ-42 позволяет проводить исследования скважин, как в режиме каротажа, так и в режиме мониторинга различной длительности. Каротаж сигналов ГАЭ и ЭМИ позволяет проводить геодинамическое расчленение разреза скважин, выделять зоны трещиноватости и тектонической нарушенности, участки повышенного напряженного состояния массивов пород и пр.

Для решения задачи выделения зон трещиноватости и оценки их геодинамической активности наиболее информативным является комплексирование каротажа и краткосрочного мониторинга. Выбор участков для проведения мониторинговых наблюдений изучаемых геофизических полей основывается на анализе результатов каротажа сигналов ГАЭ и ЭМИ, литологического строения исследуемого объекта, а также данных стандартного комплекса геофизических исследований скважин. Длина записи одного цикла измерений краткосрочного мониторинга составляет 256 точек с дискретностью в 2 секунды (510 секунд).

Так, например, в одной из скважин Копанского титаномагнетитового месторождения по результатам каротажа сигналов ГАЭ и ЭМИ, в пределах аномалии сигналов ЭМИ была выбрана точка для проведения краткосрочного мониторинга на глубине 256 м (рис. 1) в зоне титаномагнетито-ильменитовой минерализации.

Так как по данным литологического расчленения разреза скважины и описаниям керна, в интервале измерений отсутствуют зоны контактов разностных пород, то аномалии сигналов ГАЭ и ЭМИ, зафиксированные на диаграммах краткосрочного мониторинга, могут быть обусловлены зонами трещиноватости в массиве титаномагнетито-ильменитовой минерализации.

На диаграммах ГАЭ с двух горизонтальных датчиков (параметры Н) наблюдаются локальные высокоамплитудные флюктуации сигналов, как группового характера, так и единичного. Так же стоит отметить, что по первому частотному диапазону (100–500 Гц) прослеживается определенная периодичность в появлении аномалий. Исходя из распределения высокоамплитудных флюктуаций сигналов по частотным диапазонам, можно предположить, о наличие в исследуемом интервале измерений нескольких источников сигналов ГАЭ. По вертикальному датчику (параметры Z) наблюдается схожая

картина, при этом местами появление аномальных всплесков, зарегистрированных по вертикальному датчику, не совпадает по времени и частотным диапазонам с флюктуациями по горизонтали. Такое поведение сигналов ГАЭ позволяет предположить о различной пространственной ориентации источников сигналов геоакустической эмиссии.

На диаграммах сигналов ЭМИ, наиболее активно ведет себя кривая на частоте 45 кГц (F1). Высокоамплитудных единичных локальных аномалий, схожих с сигналами ГАЭ, зарегистрировано не было, но наблюдается общее увеличение фонового уровня (на диаграммах ЭМИ линия тренда выделена красным цветом), связанное с нарастанием напряжения в исследуемой области. При этом нарастание происходит не плавно, а ступенеобразно, с явным сбросовым характером. Голубыми линиями обозначены интервалы совпадений изменения поведения кривой параметра F1 и параметров ГАЭ. То есть, можно предположить, что исследуемый интервал находится в напряженном состоянии, сопровождающемся активными процессами трещинообразования.

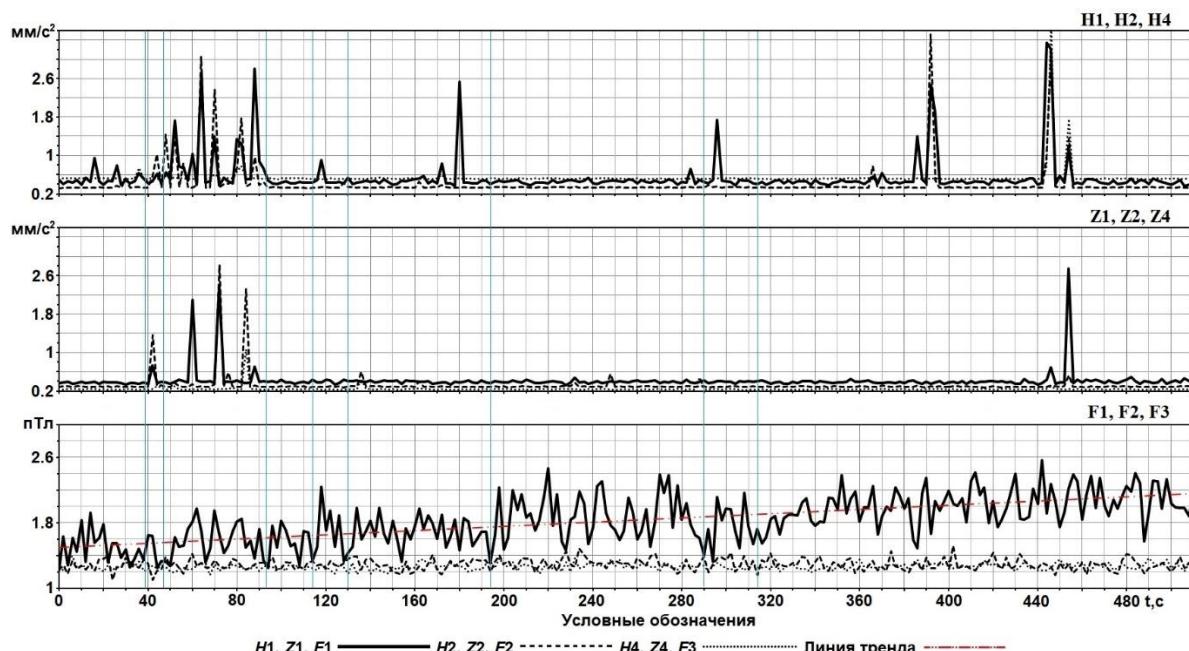


Рис. 1. Результаты краткосрочного мониторинга сигналов ГАЭ и ЭМИ в одной из скважин Копанского титаномагнетитового месторождения (Челябинская область)

В результате проведенных исследований в данной скважине, было установлено, что зона титаномагнетито-ильменитовой минерализации на глубине 256 м является геодинамически активной и возможно может представлять угрозу для дальнейших скважинных исследований. Результаты исследований сигналов геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения в скважине Копанского участка являются хорошим примером использования данных геофизических полей при изучении зон трещиноватости и оценки их геодинамической активности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астраханцев Ю.Г., Белоглазова Н.А., Троянов А.К. Устройство для исследования в скважинах динамического состояния горных пород / Патент РФ № 2658592 С1. 2018. Бюл. № 18.
2. Бизяев А. А., Савченко А. В., Цупов М. Н., Смирнягин И. И., Смирнов М. Н. Исследования сигналов электромагнитного излучения, сопутствующих разрушению горных пород // Современные тенденции и инновации в науке и производстве: Материалы IX

- международной научно-практической конференции. – Междуреченск: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2020. – С. 105-1–105-6.
3. Вдовин А. Г., Белоглазова Н. А. Геофизические исследования динамической устойчивости массивов горных пород при разработке карьера // Уральский геофизический вестник. – 2020. – № 1(39). – С. 4–11. DOI: 10.25698/UGV.2020.1.1.04.
4. Вострецов А. Г., Кривецкий А. В., Бизяев А. А., Яковицкая Г. Е. Характеристики электромагнитного излучения горных пород при их разрушении в лабораторных экспериментах // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2013. – № 2(21). – С. 46–54.
5. Кульков Д. С., Имашев С. А. Анализ сигналов акустической эмиссии в образцах геоматериалов в условиях одноосного сжатия // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Рazzакова. – 2019. – № 2-1(50). – С. 274–280.
6. Троянов А. К., Дьяконов Б. П., Мартышко П. С., Астраханцев Ю. Г., Начап-кин Н. И., Гаврилов В. А., Белоглазова Н. А. Сейсмоакустическая эмиссия и электромагнитное излучение трещиноватых пород в скважинах // Доклады Академии наук. – 2011. – Т. 436. – № 1. – С. 118–120. DOI: 10.1134/S1028334X11010119.
7. Уваров В. Н., Малкин Е. И., Санников Д. В. Электромагнитное проявление геоакустической эмиссии литосфера // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. – 2016. – № 1(12). – С. 55–65. DOI: 10.18454/2079-6641-2016-12-1-55-65.
8. Kong Biao, Wang Enyuan, Li Zenghua. Regularity and coupling correlation between acoustic emission and electromagnetic radiation during rock heating process // Geomechanics and Engineering. 2018, vol. 15, no.5, pp. 1125–1133. DOI: 10.12989/gae.2018.15.5.1125.
9. Zhang Q., Wang E., Feng X., Yue N., Ali M., Lin S., Wang H. Rockburst Risk Analysis During High-Hard Roof Breaking in Deep Mines // Natural Resources Re-search. 2020, vol. 29, no. 17, pp. 4085–4101. DOI: 10.1007/s11053-020-09664-w.

MANIFESTATION OF FRACTURE ZONES IN THE FIELDS OF GEOACOUSTIC EMISSION AND ELECTROMAGNETIC RADIATION

Bazhenova Evgenia, Vdovin Alexey
Institute of geophysics UB RAS, Ekaterinburg
Bazenova_jena@mail.ru

Summary. The article describes the equipment and methodology that allows to identify fracture zones in the sections of wells and to assess their geodynamic activity at a qualitative level. The results of the study of signals of geoacoustic emission and electromagnetic radiation in one of the wells of the Kopansky titanomagnetite deposit are presented. An example of the manifestation of a fracture zone in the fields of geoacoustic emission and electromagnetic radiation is considered.

Keywords: geoacoustic emission, electromagnetic radiation, logging, fracture zones, stress-strain state.

УДК 552.52

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ВБЛИЗИ ДЖИЗАКСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

^{1,2}*Бахридинова Дилдора Хамза кизи, ¹Хамидов Лутфулла Абдуллаевич*

¹*Институт сейсмологии АН РУз, г. Ташкент, Республика Узбекистан*

²*Национальный университет Узбекистана, г. Ташкент, Республика Узбекистан*

^{1,2}*dildora.baht@gmail.com, ¹hamidov_l@mail.ru*

Аннотация. В работе представлен каталог местных землетрясений в зоне влияния водохранилища Джизак. Он подготовлен в MS Excel и загружен полностью в среду ArcGis. Каталог дал возможность более корректно оценить пространственно-временное распределение землетрясений в зоне влияния Джизакского водохранилища в период эксплуатации за последние годы. Произведена кластеризация наиболее плотных зон распределения землетрясений. Отмечена возможность одновременного отслеживания сейсмических циклов разного периода по каждому кластеру, совмещая их с вариациями режима эксплуатации водохранилища. Это дает возможность оценить уровень сейсмичности, вызванный водохранилищем в рассматриваемой области на заданном интервале времени.

Ключевые слова: землетрясение, водохранилище, сейсмический режим, закон повторяемости, режим эксплуатации.

Выявление механизма землетрясений, вызванных инженерной деятельностью человека, стало необходимым после того, как в мировой практике были зарегистрированы несколько землетрясений, вызвавшие разрушение строительных объектов, плотин и повлекшие человеческие жертвы. Проблема обнаружения землетрясений в связи с инженерной деятельностью является важной, чтобы принять обоснованные меры по предотвращению вредных последствий. Поэтому нами произведено определение пространственно-временного распределение фоновых и не фоновых землетрясений в ближней зоне Джизакского водохранилища (рис. 1).



Рис. 1. Положение Джизакского водохранилища согласно сайту Министерства водного хозяйства Республики Узбекистан

Джизакское водохранилище расположено в центральной части Узбекистана, в зоне 7-8-балльных землетрясений. В ближней зоне, в 45 км на юго-запад от створа плотины 26 мая 2013 года произошло Маржанбулакское землетрясение с магнитудой $M=6.2$ и интенсивностью $I=7-8$ баллов [1]. В зоне водохранилища землетрясение ощущалось 6-7 балльными сотрясениями. Поэтому предварительно нами составлен местный каталог землетрясений в зоне влияния водохранилища Джизак. Он подготовлен в MS Excel и загружен полностью в среду ArcGis. В радиусе до 100 км от створа водохранилища Джизак в течении 2011-2022 годов зарегистрировано 894 землетрясения с энергетическим классом $7 \leq K \leq 15$. Составленный каталог местных землетрясений дал возможность более корректно оценить пространственно-временное распределение землетрясений в зоне влияния Джизакского водохранилища в период эксплуатации за последние годы. В каталоге также определены расстояния от створа водохранилища до очага. На основе имеющихся фактических данных – выборки из каталога землетрясений 2011-2022 годов, определены параметры графика повторяемости землетрясений по закону Гутенберга-Рихтера [2] (рис. 2). По построенному графику повторяемости можно отметить особенности проявления сейсмичности территории с 2011 по 2022 годы. Количество землетрясений N (по каждому году) с $K \geq 8$ за период наблюдений 1990-2007 годы, по [3], и 2011-2022 годы, различие по годам сохраняется.

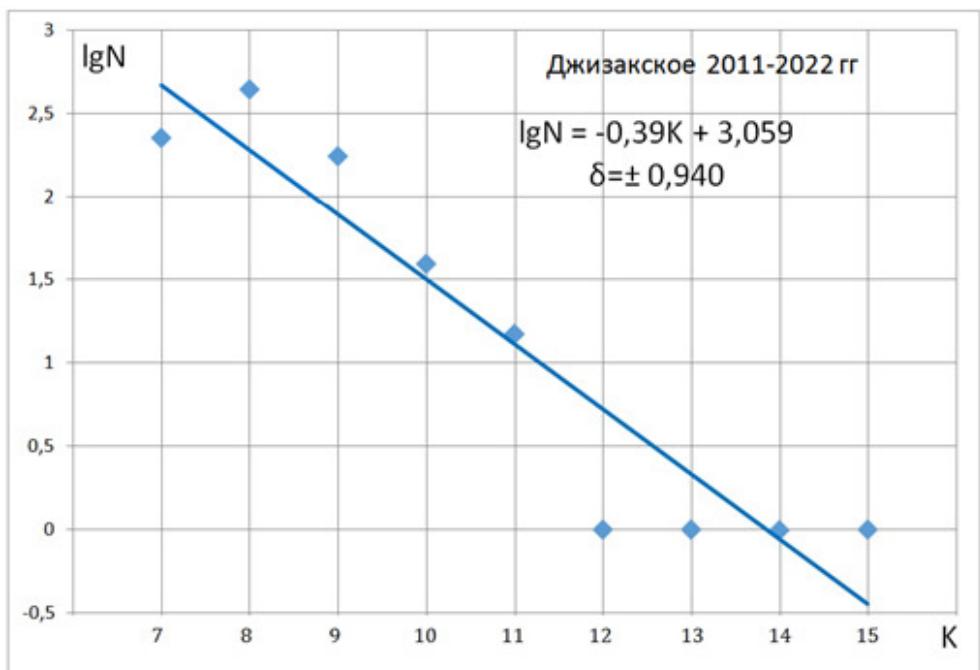


Рис. 2. Повторяемость землетрясений по закону Гутенберга-Рихтера [2], в пределах радиуса $R \leq 100$ км от створа плотины Джизакского водохранилища

На рисунке 3 представлено распределение землетрясений за 2011-2022 годы в зоне влияния Джизакского водохранилища, построенной в среде ArcGis. Из эмпирического определения повторяемости землетрясений видно, что коэффициент графика повторяемости в пределах краевой подзоны области влияния Джизакского водохранилища (зона Атбашинской сутуры Центрального Узбекистана) относительно большой (0,456-0,458). Соответственно, по значениям этих коэффициентов можно отметить, что повторяемость землетрясений в вышеотмеченной зоне возможно имеет фрактальную размерность.

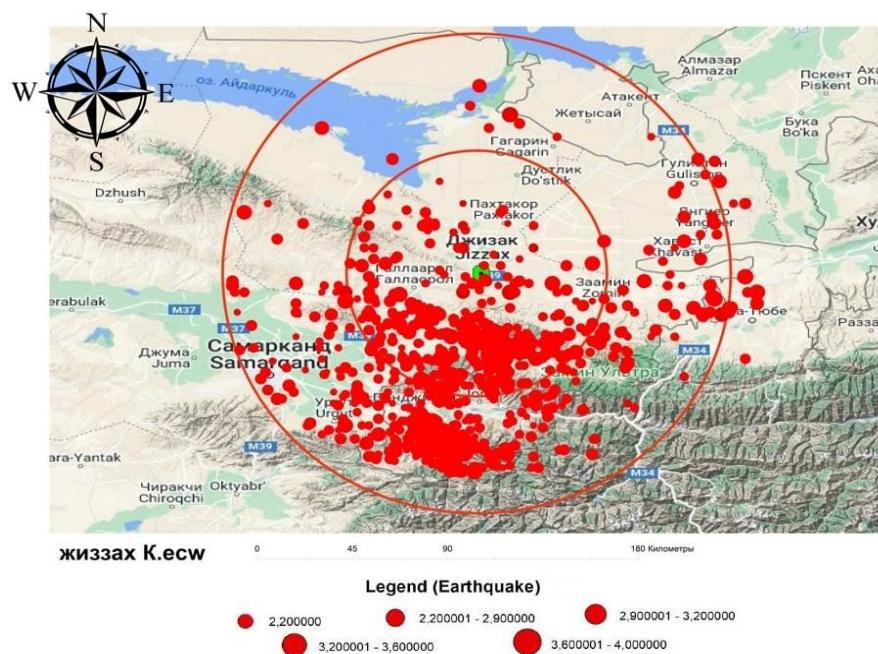


Рис. 3. Распределение землетрясений за 2011-2022 годы в зоне влияния Джизакского водохранилища

Распределение землетрясений за исследуемый период по объекту показывает плотности очагов ближе к зонам активных тектонических структур. Пользуясь ими, можно более точно определить пространственно-временную приуроченность очагов землетрясений к тектоническим структурам и состояние сейсмичности в исследуемой зоне.

Водохранилище Джизак геологически расположено в зоне, примыкающей к нескольким структурным единицам и тектоническим образованиям (рис.4). Глубинные разломы, сформировавшиеся в период интенсивной складчатости, в настоящее время вызывают землетрясения, воздействующие на водохранилище под влиянием современных геодинамических движений.

Магнитуда этих землетрясений, в свою очередь, зависит от геологического строения местности. Участки вблизи Джизакского водохранилища тектонически сложны, с Атбашинским геосутурой (замкнутым океаническим швом, сложенным океаническими образованиями литосферы), проходящей через восточную часть, и смещениями (надвиг) и перемещениями (сдвиг), возникающими в результате горизонтальных тектонических движений в северной и южных частях. В геологическом отношении мезо-кайнозойский (MZ-KZ) осадочный слой содержит герцинские складки Северотуранской плиты. Эти образования представлены аллохтонами (надвиговыми блоками в наложенных структурах), оттесненными на большое расстояние и образующими покровную структуру, а движение блоков зависит от горизонтальных тектонических движений.

В северной и юго-западной орогенных частях водоема имеются гранитоидные выходы, образовавшиеся в результате магматических процессов, пересеченные крупными тектоническими элементами (сдвиги, надвиги, шарьяжи). На участках вблизи водохранилища наблюдалось множество горизонтальных тектонических движений, выразившихся в образовании складчатых структур и крупноамплитудных надвигов. В северной и юго-западной орогенных частях водохранилищ имеются гранитоидные выходы, образовавшиеся в результате магматических процессов, пересеченные крупными тектоническими элементами (сдвиги, надвиги, шарьяжи). На участках вблизи

водохранилища наблюдалось множество горизонтальных тектонических движений, выразившихся в образовании складчатых структур и крупноамплитудных надвигов.

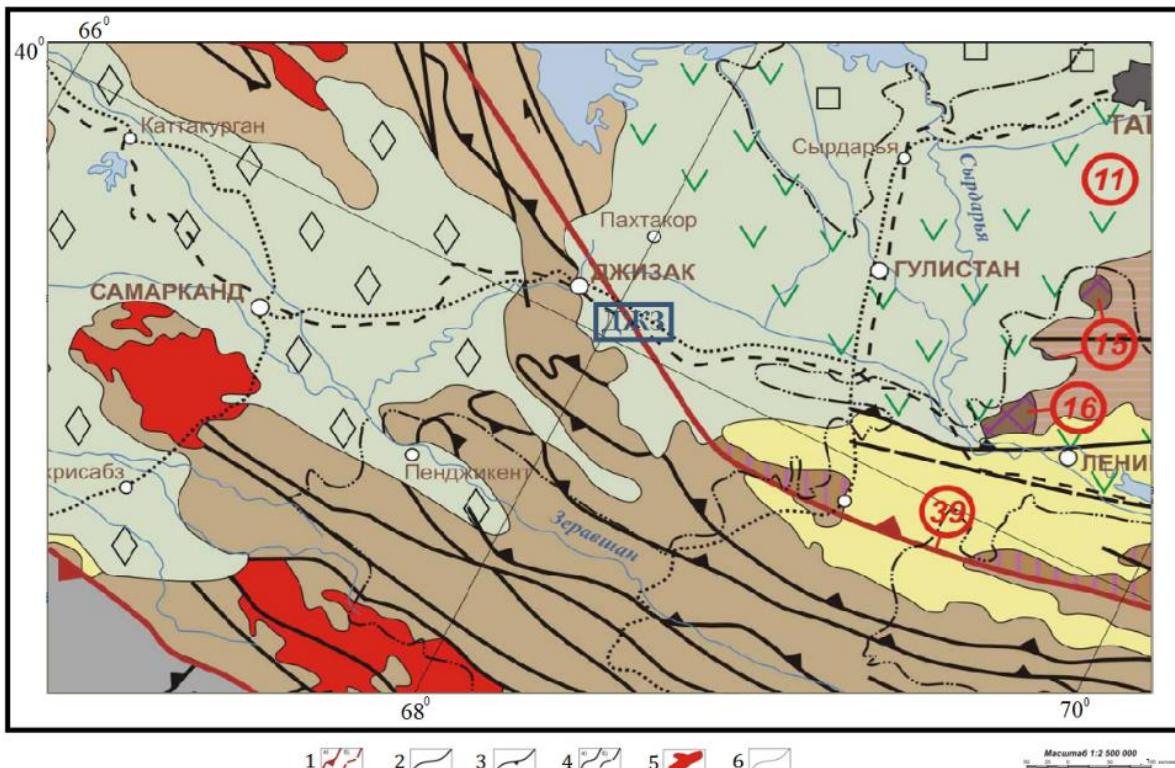


Рис.4. Зона Джизакского водохранилища и тектонические структуры согласно Тектонической карте Узбекистана и прилегающих территорий [6].

Условные обозначения: 1- сутуры; 2- сдвиги; 3- надвиги; 4- крупные разломы; 5- гранитоиды; 6- границы между структурными элементами

Чтобы более детально изучить взаимосвязь, сначала построили пространственно-временное распределение землетрясений (рис. 5), в зоне Джизакского водохранилища выделяя их в кластеры с помощью метода, предложенного F.Waldhauser, W.L. Ellsworth [4]. Для дальнейшего анализа характеристик землетрясений использовали метод ближайших соседей для проведения кластерного анализа [5]. В этом методе сходство определяется квадратом, Евклидова расстояния. Наилучшие результаты можно получить согласно [4,5], когда пороговое значение $d=d_0^2$ квадрата Евклидова расстояния $(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2$ принимается равным от $1 \times M^2$ до $1.2 \times M^2$ км, где M -магнитуда.

Здесь также при сопоставлении с тектоническими структурами использовано вырезки из тектонической карты Узбекистана и прилегающих территорий (рис. 4) [6]. После кластеризации землетрясения делятся на количество уплотнений эпицентров как кластеров с учетом того, что землетрясения распределяются неоднородно во времени.

Сейсмичность выражается более низкими энергетическими классами или отсутствием землетрясений в изучаемой зоне каждого кластера. Пространственно-временное распределение землетрясений по зоне влияния Джизакского водохранилища показало рост плотности распределения эпицентров в тектонических структурах в основном в сутурах, надвиговых зонах и в крупных разломах.

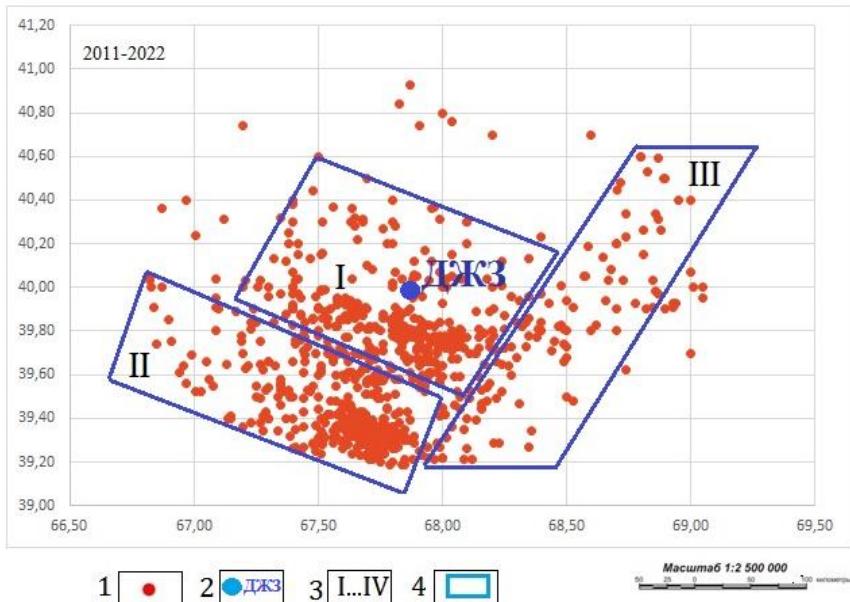


Рис. 5. Пространственно-временное распределение землетрясений по кластерам в зоне Джизакского водохранилища.

Условные обозначения: 1 – эпицентры землетрясений с $K \geq 7$ за период 2011–2022 годы; 2 – место расположения водохранилища; 3 – кластеры, выделенные методом ближайших соседей; 4 – границы выделенных кластеров

Последовательность проявления землетрясений с $K \geq 7$ по кластерам с наибольшей плотностью эпицентров (I и II) приведена на рисунке 6. Как видно из рисунка после землетрясения с определенным большим энергетическим классом по каждому кластеру наступают периоды сейсмического затишья. Постоянны сейсмические наблюдения в близких зонах водохранилищ и достоверное определение местоположение эпицентров землетрясений является важной основой для исследования сейсмичности, вызванной водохранилищем.

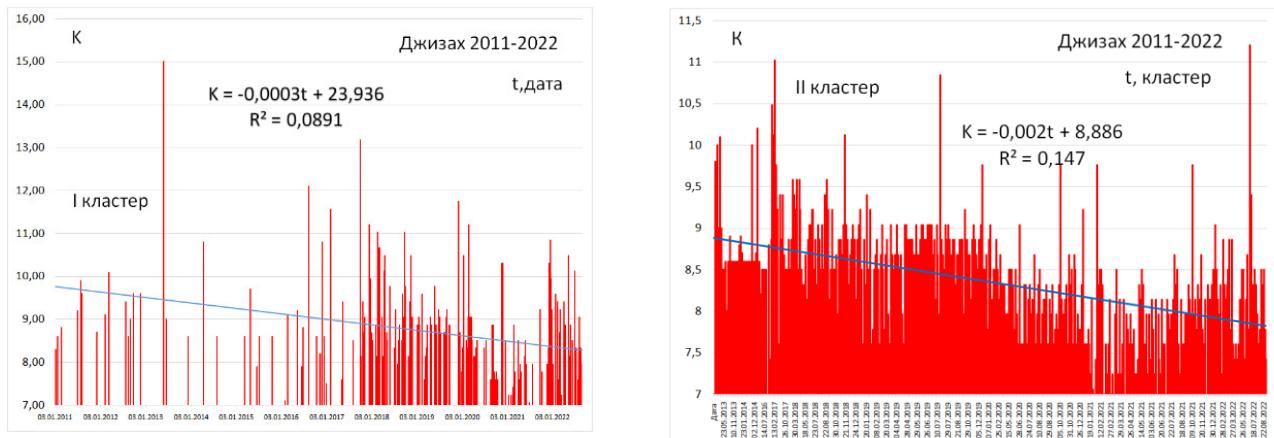


Рис. 6. Последовательность проявления землетрясений с $K \geq 7$ в зоне Джизакского водохранилища по кластерам I и II

Последовательность проявления землетрясений в зоне Джизакского водохранилища рассмотрено с позиции сопряжения Тянь-Шаньского орогена и Туранской платформы. Анализ плотности распределения локальных землетрясений вокруг разломов показал, что возможность одновременного отслеживания сейсмических циклов разного периода по каждому кластерам, совместно вариациами режима эксплуатации

водохранилища позволит оценить уровень сейсмичности вызванной водохранилищем в рассматриваемой области на заданном интервале времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хамидов Л.А., Шукуров З.Ф., Зиёмов Б.З., Хамидов Х.Л., Ядигаров Э.М. Разрушение строительных растворов отделочного покрытия зданий при колебательных движениях от землетрясения 26 мая 2013 года в районе гобдунских гор. // Современные методы и технологии в решении гидрогеологических, инженерно-геологических и геоэкологических задач. 8 октября 2013г., г. Ташкент. - Ташкент: ГИДРОИНГЕО. - 2013. – С. 123-126.
2. Gutenberg B., Richter C.F. Seismicity of the Earth and associated phenomena, 2nd edition. – Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1954. – 310 p.
3. Тимбеков И.Х., Джураев Н.М., Туйчиева М.А. О достижениях комплексных инженерно-сейсмологических исследований, проведенных в районе предстоящего строительства гидротехнических сооружений в сейсмоактивных зонах Узбекистана // Проблемы сейсмологии в Узбекистане, -Ташкент: «Янги авлод» - №3, 2006. – С. 54-63.
4. F. Waldhauser, W.L. Ellsworth, A double-difference earthquake location algorithm: method and application to the Northern Hayward Fault // California, Bull. Seism. Soc. Am. 90 (6) (2000) 1353-1368.
5. J.W. Han, K. Micheline, J. Pei. Cluster analysis Data Mining, (Third ed.)// 2012, pp. 443-495.
6. Тектоническая карта Узбекистана и прилегающих территорий // Геологический институт РАН, лаб. Неотектоники и современное геодинамики. Москва. - 2004. http://neotec.ginras.ru/neomaps/M025_Uzbekistan_2004_Tectonics_Tektonicheskaya-karta-uzbekistana-i-prilegayuschikh-territoriy.html (обр.22.10.2022).

SPATIAL-TEMPORAL DISTRIBUTION OF EARTHQUAKES NEAR THE JIZZAKH'S RESERVOIR

^{1,2}*Bakhridinova Dildora Hamza kizi,*

¹*Khamidov Lutfulla Abdullayevich*

¹*Institute of Seismology Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan*

²*National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan*

^{1,2}*dildora.baht@gmail.com, ¹hamidov_l@mail.ru*

Summary. The paper presents a compiled local catalog of earthquakes in the zone of influence of the Jizzakh reservoir. It was prepared in the MS Excel environment and fully embedded in the ArcGis environment. It made it possible to more correctly assess the spatial and temporal distribution of earthquakes in the zone of influence of the Jizzakh reservoir during the period of operation in recent years. Clustering of the densest zones of distribution of earthquakes has been carried out. The possibility of simultaneous tracking of seismic cycles of different periods in the clusters of each reservoir is noted, combining them with a variation in the operating mode, which will make it possible to assess the level of seismicity caused by reservoirs in the area under consideration at a given time interval.

Key words: earthquake, distribution, reservoir, recurrence law, operation mode.

УДК 550.34.016+550.34.013.2+550.348.425

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОДИНОЧНЫХ ВЗРЫВОВ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ

¹*Беляева Виктория Александровна, ²Аронов Аркадий Гесселевич, ³Курсевич Алексей Александрович, ⁴Мартинович Юлия Витальевна, ⁵Терещенко Ксения Валерьевна*
Центр геофизического мониторинга НАН Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь
¹*bialiyeva@cgm.by, ²aronov@cgm.by, ³kursevich@cgm.by,*
⁴*martsinovich@cgm.by, ⁵tsiareshchenko@cgm.by*

Аннотация. В статье описан процесс исследования уровня сейсмических воздействий в ближней зоне от сосредоточенных технологических одиночных взрывов на основе проведения инструментальных наблюдений. Результаты работы были использованы для обоснования выбора безопасных расстояний при проведении буровзрывных сейсморазведочных работ.

Ключевые слова: сейсмологические наблюдения, взрыв, скорость смещения грунта, сейсмическое воздействие.

Основной задачей являлось проведение исследований по определению уровня сейсмических воздействий в ближней зоне от буровзрывных работ по данным инструментальных сейсмологических наблюдений. Инструментальные наблюдения были организованы для регистрации сосредоточенных взрывов аналогичных технологическим сейсморазведочным мощностью от 0.2 до 4 кг. Расстояния от пунктов взрыва до сейсмической станции от 30 до 400 м, глубина заложения взрывчатки в скважинах от 18 до 50 м. Для регистрации взрывов были использованы цифровые сейсмические станции в составе регистраторов сигналов Дельта 03М (изготовитель ГЕОТЕХ, Россия) и GMSplus (изготовитель GeoSIG Ltd, Швейцария) с короткопериодным трехкомпонентным сейсмометром LE-3Dlite MkIII/1s. Всего для регистрации взрывов использовалось 6 сейсмических станций. Камеральная обработка записей зарегистрированных взрывов и микросейсмического фона проводилась с использованием программы WSG [4] и SeisComp 3 [1].

Предварительно была проведена оценка микросейсмического фона для корректной интерпретации записей взрывов. Характеристики микросейсмического фона (спектральный состав, средний уровень, вариации) зависят от природных и антропогенных факторов. При этом грунтовые условия изучаемой площади имеют важное значение, поскольку скорости прохождения сейсмических волн зависят от физических свойств пород, слагающих верхнюю грунтовую толщу, их геолого-литологического состава, степени обводненности. Погодные условия, сезон года (зима или лето), место установки датчиков, регистрирующих сигнал (подвал, дневная поверхность, этаж здания) также могут оказывать влияние на запись микросейсмического фона.

Для оценки уровня микросейсмического фона был организован пункт наблюдений ZRC и получены его средние значения по трем каналам сейсмометра путем выборки из круглосуточных записей микросейсмического фона одн часовых интервалов записи и вычисления осредненного значения в промежутках времени 00:00-01:00, 08:00-09:00, 15:00-16:00, 22:00-23:00. Эти данные приведены в таблице 1.

Таблица 1

Уровни микросейсмического естественного фона по компонентам

Пункт измерения	Величина среднего значения фона, см/с		
	Z	N-S	E-W
00:00-01:00			
ZRC	$3.45 \cdot 10^{-5}$	$3.20 \cdot 10^{-5}$	$2.78 \cdot 10^{-5}$
08:00-09:00			
ZRC	$7.86 \cdot 10^{-5}$	$4.76 \cdot 10^{-5}$	$4.91 \cdot 10^{-5}$
15:00-16:00			
ZRC	$4.74 \cdot 10^{-5}$	$3.94 \cdot 10^{-5}$	$3.71 \cdot 10^{-5}$
22:00-23:00			
ZRC	$3.51 \cdot 10^{-5}$	$3.20 \cdot 10^{-5}$	$2.82 \cdot 10^{-5}$

Анализ приведенных данных показал, что уровень шума в различных компонентах находится в пределах 0.0000278-0.0000786 см/с (278-786 нм/с).

Анализ спектров среднесуточного микросейсмического фона позволил определить его основные характеристики, такие как максимумы частот и соответствующих им амплитуды колебаний. Уровень среднесуточного микросейсмического фона в районе исследований для различных диапазонов частот в целом низкий. Вместе с тем, в структуре микросейсмического фона четко выделяются и относительные максимумы.

Наиболее часто на Z канале экстремумы наблюдаются на частотах 2.8 Гц. Горизонтальные составляющие имеют в ряде случаев более выраженные экстремумы как на более высоких частотах 3.6 – 4.8 Гц, так и наиболее низких частотах 1.8 Гц. Следует заметить, что такие характеристики сейсмического шума позволили получить устойчивые и хорошо читаемые записи волновой картины взрыва.

Основным параметром при оценке сейсмического эффекта взрыва принято использовать значение суммарной векторной скорости смещения грунта или, как встречается в различных публикациях, максимального модуля вектора массовой скорости смещения грунта. Именно этот параметр дает представление о допустимых сейсмических воздействиях [6]. Для получения обоснованных данных о характере сейсмического эффекта на изучаемой территории от взрывов различной мощности и производимых на разных расстояниях были изучены:

- характер затухания суммарной скорости смещения грунта и ее составляющих от расстояния, как для отдельных взрывов, так и в целом для всей совокупности взрывов;
- зависимость суммарной скорости смещения грунта от приведенного расстояния.

В практике инженерной сейсмологии для оценки суммарной векторной скорости (или максимального модуля вектора массовой скорости смещения грунта) общепринято использовать следующую формулу:

$$V_{\Sigma} = (V_x^2 + V_y^2 + V_z^2)^{1/2} \quad (1)$$

где V_x , V_y , V_z – это максимальные скорости колебаний грунта по трем ортогональным направлениям.

Инструментальные значения скоростей, полученные от взрывов разной мощности, сопоставлялись с теоретическими значениями скоростей в пределах заданных доверительных интервалов [2]: 1) $\pm 0.3\sigma$, 2) $\pm 0.5\sigma$. При этом для доверительного интервала $\pm 0.3\sigma$ все инструментальные значения скоростей совпадают с теоретическими с вероятностью 97%.

Таблица 2

Значения скоростей

Мощность взрыва, кг	Расстояние взрыв-приемник, м	Максимальное значение теоретической скорости, см/с	Максимальное значение инструментальной скорости, см/с
0.2	30	0.9561	0.812
	50	0.3605	0.380
	100	0.0794	0.105
0.4	30	1.9121	1.380
	50	0.7210	0.570
	100	0.1589	0.175
0.6	30	2.8682	1.776
	50	1.0814	0.798
	100	0.2383	0.212
0.8	30	3.8242	2.243
	50	1.4419	1.007
	100	0.3178	0.255
1	30	4.7803	2.520
	50	1.8024	1.162
	100	0.3972	0.328

При сопоставлении результатов инструментальных значений скоростей с теоретическими для расстояния 30 м (рис. 1) видно, что для взрыва мощностью 0.2 кг инструментальное значение скорости совпадает с теоретическим с вероятностью 97%.

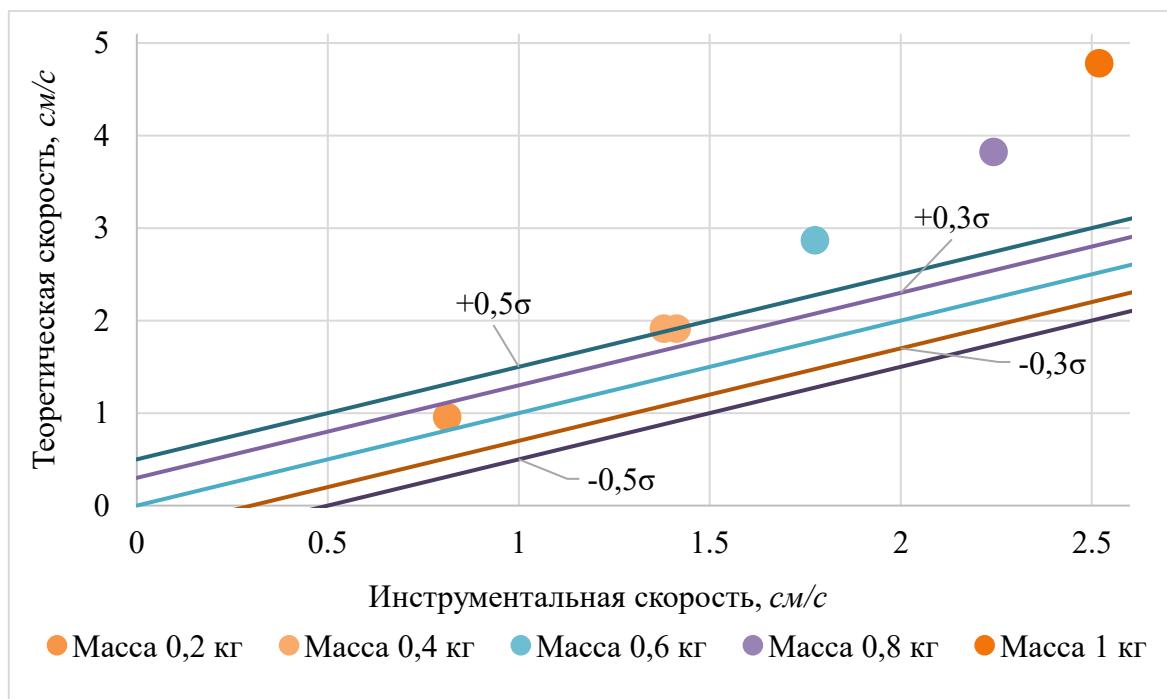


Рис. 1. График значений теоретических и инструментальных скоростей для расстояния 30 метров с доверительным интервалом

Анализ амплитудных спектров взрывов показывает, что наблюдаются отчетливые максимумы около 10 и 15 Гц на вертикальных составляющих. По мере удаления от

источника уменьшается интенсивность колебаний. Наиболее отчетливо выражены пики для частот около 1, 8, 18 Гц. С увеличением количества взрывчатого вещества постепенно затухает пик около 24 Гц. Вертикальная Z – компонента является преобладающей во всем диапазоне рассматриваемых частот.

На рисунке 2 представлены спектры для вертикальной компоненты взрыва мощностью в 2 кг на глубине 18 метров. По графикам возможно отследить как изменяется спектральный состав в зависимости от расстояния до источника взрыва.

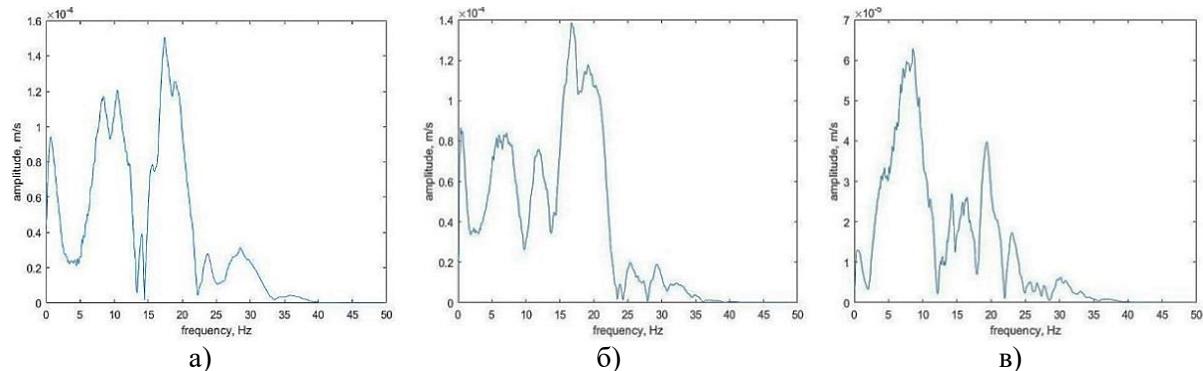


Рис. 2. Амплитудные спектры скорости смещений для вертикальной компоненты:
а) 30 метров; б) 50 метров; в) 100 метров

В качестве верхнего порога безопасного для зданий и сооружений уровня сейсмических воздействий принимается значение скорости смещения грунта 0,8 см/с. Эта осредненная величина соответствует 4 баллам по 12-балльной шкале MSK-64 сейсмических воздействий [3, 5, 7], которые не создают критических эффектов разрушения и повреждения объектов.

Проведенный комплекс инструментальных наблюдений позволил сделать выводы по использованию результатов работы для обоснования выбора безопасных расстояний при проведении буровзрывных сейсморазведочных работ от площадок размещения зданий, сооружений и коммуникаций на действующих нефтяных месторождениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Документация для выпуска SeisComp версии 5.3.0. URL: <https://www.seiscomp.de/doc/> (дата обращения: 02.02.2023).
2. Дэвис, Дж.С. Статистический анализ данных в геологии: Пер. с англ. Недра, 1990. Т. 1. 319 с. Т 2. – 377 с.
3. Оценка сейсмической опасности и сейсмического риска / Ф.Ф. Аптикаев, В.Г. Гиттис, Г.Л. Кофф, Н.И. Фролова. М.: ОИФЗ РАН, 1997. – 54 с.
4. Пат. № 2020664678 Российская Федерация. Программный комплекс WSG «Система обработки сейсмических данных»: № 2020663791: заявл. 10.11.2020: опубл. 16.11.2020 / А.П. Акимов, С.А. Красилов (RU); правообладатель ФБГНУ Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук».
5. Садовский М. А., Костюченко В. Н. О сейсмическом действии подземных взрывов // Докл. АН СССР. М., 1974. Т. 25. №25. – С. 1097–1100.
6. Садовский М.А. Сейсмический эффект взрывов. М., 1939.
7. Цейтлин Я.И., Смолий Н.И. Сейсмический и ударные воздушные волны промышленных взрывов. М.: Недра, 1981. – 192 с.

SEISMIC IMPACTS OF SINGLE TECHNOLOGICAL EXPLOSIONS IN THE NEAR-FIELD ZONE

¹*Bialiayeva Viktoriia, ²Aronov Arkady, ³Kursevich Alexey,*

⁴*Martsinovich Yuliya, ⁵Tsiareshchanka Kseniya*

*The Centre of Geophysical Monitoring of the National Academy
of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

¹*bialiayeva@cgm.by, ²aronov@cgm.by, ³kursevich@cgm.by,*

⁴*martsinovich@cgm.by, ⁵tsiareshchenko@cgm.by*

Summary. The paper describes the investigation of the level of the seismic impacts of single point-source technological explosions in the near-field zone on the basis of the instrumental observations performed. The results obtained were used as a ground to substantiate a choice of safety distances in the course of the drilling-and-blasting, as well as seismic operations.

Key words: seismological observations, explosion, ground motion velocity, seismic impact.

УДК 550.3

ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ ИЗОТОПОВ РАДОНА ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ В СЕЙСМОАКТИВНОМ РЕГИОНЕ

Бирюлин Сергей Викторович

Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург

serrega2009@gmail.com

Аннотация. Приведены результаты интерпретации мониторинговых наблюдений радона-220 (торона) и радона-222, выполненных в 2002-2004 годах на Северном Тянь-Шане. Показаны прогностические возможности торона, как краткосрочного предвестника землетрясений. Отмечено, что аномалии торона являются более контрастными по сравнению с аномалиями радона-222. Получение менее контрастных аномалий объясняется методическими ошибками при проведении наблюдений сейсморадоновыми станциями. Поведение торона во время процесса подготовки землетрясений согласуется с ранее установленными закономерностями для радона-222. При использовании газов, входящих в состав подземной атмосферы, для мониторинговых наблюдений за процессом подготовки землетрясений наиболее пригодны изотопы радона.

Ключевые слова: Радон-220, тортон, краткосрочный прогноз, землетрясение, мониторинг, Тянь-Шань, адвекция, накопительный эффект, ближняя зона, дальняя зона, геодинамический критерий.

Прогноз землетрясений представляет собой очень сложную задачу. Несмотря на то, что в среднем дважды в месяц на планете возникает сильное землетрясение [1], реально удалось спрогнозировать лишь единичные случаи [2, 3]. На наш взгляд наибольший интерес представляют краткосрочный и оперативный разновидности прогнозов, позволяющие предпринимать своевременные предупредительные меры перед вероятным возникновением катастрофического события.

Процесс подготовки землетрясения представляет собой изменение напряженно-деформированного состояния горных пород. Применение почвенного радона для изучения вариаций напряженно-деформированного состояния горных пород при подготовке землетрясений обусловлено наличием радиоактивных элементов, способных генерировать изотопы радона, во всех горных породах; простота регистрации объемной активности; возможность проведения постоянной регистрации изменений проницаемости горных пород за счёт непрерывной генерации изотопов радона. Существует ряд других физических явлений (например, изменение электрического сопротивления горных пород, вариации магнитного поля), связанных и вызываемых изменением напряженного состояния горных пород, но именно изменение проницаемости и трещинообразование сопровождают процесс подготовки землетрясения на заключительных стадиях, вплоть до самого события. Несмотря на случаи успешного прогноза [2, 3], надежных критериев, указывающих на возможное, близкое по времени, сейсмическое событие, до сих пор не найдено.

Шагом вперед можно считать полученные закономерности поведения ОАР (объемной активности радона) в результате обработки данных восьмилетнего мониторинга ОАР на Южно-Курильском геодинамическом полигоне при применении адвективного способа доставки почвенного радона к детектору [4]. Показано, что в рамках применения модели существования зон сжатия и растяжения, поведение объемной активности радона-222 в этих зонах существенно различается. Установлено, что землетрясения

отмечаются только на максимуме, на исходящей ветви или на фоновых значениях после завершения аномалии кривых ОАР.

События, возникающие в ближней зоне (зоне сжатия), относительно точки наблюдения, на кривой ОАР отмечается после выхода аномалии на фоновый уровень. На кривой ОАР землетрясения дальней зоны отражаются в интервале от максимума аномалии до ее выхода на фоновый уровень. Продолжительность аномалий ОАР, при адвективном способе доставки почвенного радона к детектору, как в ближней зоне, так и в дальней составляет несколько суток.

За счёт относительно продолжительного периода полураспада Rn (3,82 суток), по сравнению с временем существования аномалии, может сказываться кумулятивный или накопительный эффект, нивелирующий некоторые особенности вариаций ОАР в дальней зоне, непосредственно перед событием. Более детальные наблюдения аномалий ОАР позволяют уточнить характер ее связи с моментом образования магистрального разрыва, что, возможно, позволит выделить дополнительные критерии для оперативного прогноза.

Поскольку накопительный эффект, при наблюдениях радона-222 невозможно устраниТЬ, то для детализации аномалий перед землетрясением можно использовать изотоп радона — радон-220 (торон), который образуется в радиоактивном ряду тория-232. Период полураспада радона-220 около 56 секунд, что практически исключает возникновение накопительного эффекта [5].

Сведения по измерениям изотопа радона-220 (торона) и о изучении его прогностических возможностях при отражении процесса подготовки землетрясений в публикациях немногочисленны [6,7,8].

Наблюдаемая концентрация торона, как и радона-222, определенным образом изменяется перед землетрясениями. В данной работе, анализируя результаты наблюдений, полученные на Северном Тянь-Шане в 2002-2004 годах, рассмотрим возможности торона как индикатора процесса подготовки землетрясения и соответствие его поведения закономерностям, полученным для радона-222.

Повышенная дискретность измерений, ограничение накопительного эффекта и в ряде случаев более высокие концентрации дают все основания для использования торона в сочетании с радоном-222 в качестве предвестника землетрясений. Однако существующие сложности с измерением торона, связанные с его коротким временем жизни, существенно ограничивают его применение.

Измерения почвенного газа с диффузионным способом доставки воздуха к детектору не применимы к торону, так как он практически полностью распадается по пути к измерительному прибору. Разработанный в Институте геофизики УрО РАН адвективный способ доставки почвенного воздуха детектору, успешно применим как для измерений радона-222, так и торона. Впервые адвективный способ одновременных измерений радона-222 и радона-220 (торона) был реализован в сейсморадоновой станции, разработанной в МИФИ (Московский инженерно-физический институт) [9]. Почвенный воздух прокачивается насосом через измерительную камеру со спектрометрическим ППД-детектором. Раздельное измерение производится по альфе-излучению полония-218 для радона-222 и полонию-216 для торона.

Приводится анализ полученных кривых ОАТ (объемной активности торона) для оценки прогностических возможностей торона и проверка соответствия его поведения, установленным на сегодняшний день, закономерностям для ОАР. Используя ранее установленные для поведения радона-222 закономерности поведения при подготовке землетрясений [1], рассмотрим поведение торона на примере записи ОАТ и радона-222 на станции Ала-Арча (рис. 1). Магнитуды землетрясений пересчитаны из энергетических классов по соотношениям, установленным для Тянь-Шаня [10].

Особый интерес представляет поведение ОАР и ОАТ на фрагменте записи со станции Ала-Арча (рис. 1). Аномалия ОАР растянутая, в отличии от аномалии ОАТ. В рассматриваемый интервал времени произошло два землетрясения 4 декабря 2002 года с магнитудой 4.2 на расстоянии 57 км (геодинамический критерий 2.4) и 9 декабря 2003 года с магнитудой 4,0 на расстоянии 10 км (геодинамический критерий 4.0). Событие 9 декабря относится к событиям ближней зоны (10 км), и оно произошло после выхода аномалии ОАР и ОАТ на фоновый уровень, что соответствует установленным ранее закономерностям [4]. Землетрясение 4 декабря также относится к ближним событиям, но оно отразилось на максимуме кривых ОАР и ОАТ, как для дальней зоны. Это объясняется наложением процессов подготовки двух событий, причем событие 9 декабря существенно ближе к точке мониторинга и поэтому его влияние на поведение ОАР и ОАТ более сильное. Соответственно, на фоне подготовки более близкого землетрясения, изменилось поведение ОАР и ОАТ при отражении землетрясения 4 декабря 2002 года.

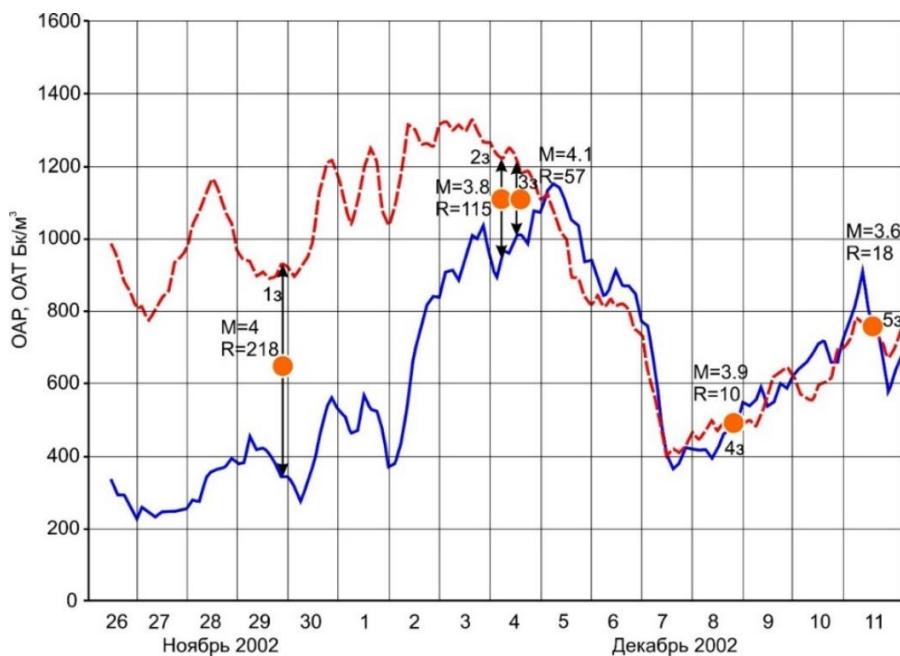


Рис. 1. Поведение объёмной активности радона и торона.

Пунктирной линией обозначен график изменения объемной активности радона. Сплошной линией — торона. М — магнитуда землетрясения, R — расстояние между станцией мониторинга и эпицентром землетрясения, км; 13 — обозначение землетрясения

Выполненный анализ результатов измерений объемной активности торона и радиона-222 на Северном Тянь-Шане показал, что поведение торона согласуется с критериями выделения ближних и дальних событий, установленных для радиона-222. Торон и радион обладают сходными прогностическими возможностями. Аномалии ОАТ, полученные на станции Ала-Арча более контрастные по сравнению с аномалиями радиона-222, что связано с условиями проводимых измерений. Для получения качественных результатов по ОАТ при измерениях сейсморадоновой станцией, необходимо изменить условия измерений. Необходимо размещать станцию вне точки измерений (скважины) и почвенный воздух забирать с помощью зонда. Увеличение дискретности измерений позволяет получить более информативную картину вариаций кривой ОАТ. Методы прогнозирования, основанные на регистрации изменений объема порового пространства, захватывают больший, по сравнению с сейсмологическим, временной промежуток и проявляются в большем объеме горных пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пантелеев И.А., Наймарк О.Б. Современные тенденции в области механики тектонических землетрясений. «Этюды о механике». Екатеринбург. РИО УрО РАН, 2017. – 193 с.
2. Fengming Z., Ge W., 1975. Prediction of the Haicheng earthquake and measures taken for disaster prevention. Seismological Bureau Liaoning Province, Liaoning, China, 18.
3. Giuliani G.G. et al., 2009. Radon observations by gamma detectors PM-4 and PM-2 during the seismic period (January-April 2009) in L’Aquila Basin. Abstr. AGU Fall Meeting, December 14–18, San-Francisco 1, 3.
4. Козлова И.А., Бирюлин С.В., Юрков А.К. Поведение аномалий объемной активности почвенного радона во время подготовки тектонических землетрясений // Литосфера. 2021. №5. – С. 724-733.
5. Новиков Г.Ф., Капков Ю.Н. Радиоактивные методы разведки Недра. Ленинград, 1965. – 760 с.
6. Fu S., Tatsuoka F., 1984. Soil liquefaction during Haicheng and Tangshan earthquakes in China: a review. Soils and Foundations, 11-29.
7. Jaishi H.P., Singh S., Tiwari R.P., 2014. Temporal variation of soil radon and thoron concentrations in Mizoram (India), associated with earthquakes. Nat Hazards 72, 443–454. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-1020-4>
8. Padilla G., Hernández D., Pedro A., Padrón E., Barrancos J., Pérez N., Melián G., Nolasco D., Dionis S., Rodríguez F., Calvo D., Hernández I., 2013. Soil gas radon emissions and volcanic activity at El Hierro (Canary Islands): The 2011-2012 submarine eruption. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, Volume 14, Issue 2, 432-447.
9. Уткин В.И. и др. Мониторинг радона при изучении процесса подготовки тектонического землетрясения на Северно Тянь-Шане // Физика Земли. 2006. №9. С. 61-70.
10. Мамыров Э. Обоснование взаимосвязи магнитуды по объемным волнам с сейсмическим моментом землетрясений // Вестник Института сейсмологии НАН Киргизской Республики. 2013. №1(1). – С. 50-58.

FEATURES OF THE RADON ISOTOPES BEHAVIOR DURING MEASUREMENTS IN A SEISMICALLY ACTIVE REGION

*Biryulin Sergey Viktorovich
Institute of Geophysics UB RAS, Yekaterinburg
serrega2009@gmail.com*

Summary. The results of interpretation of radon-220 (thoron) monitoring observations and radon-222, carried out in 2002-2004 on the Northern Tien-Shan, are presented. The prognostic capabilities of the thoron as a short-term earthquakes precursor is shown. It is noted that the thoron anomalies are more contrasting compared to the radon-222 anomalies. Obtaining fewer contrasting anomalies is explained by methodological errors during observations by seismic radon stations. The behavior of the thoron during the earthquake preparation process is consistent with the previously established patterns for radon-222. When using gases that are part of the underground atmosphere, radon isotopes are most suitable for monitoring observations of the earthquake preparation process.

Key words: radon-220, thoron, short-term forecast, earthquakes, monitoring, Tien-Shan, advection, cumulative effect, near and far zone, geodynamic criterion.

УДК 550.8.013

АНАЛИЗ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕКСТУРНО- НЕОДНОРОДНЫХ ПОРОД

¹*Бородулин Данил Алексеевич*, ²*Каннинен Максим Юрьевич*,

³*Мамяшев Венер Галиуллинович*, ⁴*Брюханова Екатерина Вячеславовна*
ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень

¹*d-borodulin@list.ru*, ²*kanninen01@mail.ru*, ³*tmngeofiz@mail.ru*,

⁴*brjuhanovaeva@tyuiu.ru*

Аннотация. В связи с повышением доли трудноизвлекаемых запасов необходи́м анализ известных моделей удельного электрического сопротивления (УЭС) текстурно-неоднородных пород (ТНП) и возможности их применения для обоснования и усовершенствования геологической интерпретации материалов определения УЭС таких объектов по данным ГИС. В частности, при обосновании подсчетных параметров. В статье приведен анализ теоретических моделей УЭС ТНП, основанный на графическом сопоставлении получаемых с их помощью результатов и даны выводы по условиям применимости этих моделей.

Ключевые слова: удельное электрическое сопротивление, удельная электропроводность, текстурно-неоднородные породы, теоретические модели, анизотропия, сложнопостроенные коллекторы.

Актуальность выбранной темы: современные приборы электрического каротажа, позволяют определять сопротивление пластов в направлениях параллельно и перпендикулярно оси скважины. С появлением этих возможностей расширяется информативность электрометрии, можно оценивать анизотропию во всех трёх направлениях относительно оси скважины. Это очень важно, для объектов представленных текстурно-неоднородными породами (ТНП), в частности, при геологической интерпретации данных методов электрического сопротивления и проводимости в таких объектах.

Новизна темы заключается в анализе всех известных теоретических моделей удельного электрического сопротивления объектов, представленных различного вида неоднородностями, в сравнении результатов применения этих моделей для обоснования УЭС объектов с разными типами неоднородностей их строения и в обосновании наиболее универсальных моделей, представляющих практический интерес.

Цель работы: установить особенности влияния структурной неоднородности и разных типов её на УЭС моделей и, соответственно, разных типов ТНП, обосновать наиболее применимые и информативные теоретические модели УЭС таких пород.

Задачи работы:

- Выбор наиболее теоретически обоснованных моделей УЭС объектов применимых для описания ТНП.
- Анализ отобранных моделей, приведение их к однотипному виду: зависимости величины УЭС моделей $\rho_{\text{тнп}}$ ($\rho_{\text{ср}}$) от объемной доли (χ_k), формы и УЭС (ρ_k) составляющих их включений и УЭС основной среды ($\rho_{\text{ср}}$ – матрицы породы).
- Выполнить расчёты $\rho_{\text{тнп}} = f(\rho_k, \chi_k)$ для каждого вида неоднородности и представить графическое сопоставление результатов расчетов.
- Оценить особенности УЭС рассмотренных теоретических моделей и обосновать наиболее информативные модели.

В пределах Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна широко развиты как традиционные, так и сложно построенные породы-коллекторы. Они существенно отличаются от классических, относительно однородных пород-коллекторов, как по особенностям геологического строения, так и по геолого-геофизическим характеристикам и фильтрационно-емкостным свойствам (ФЕС). Доля таких пород в структуре запасов нефти газа, фиксируемых ГКЗ РФ, том числе и по Западной Сибири неуклонно растет. Основные перспективы наращивания добычи углеводородов как на конкретных месторождениях, так и в целом в пределах Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции смещаются к объектам представленным ТНП. На месторождениях, которые находятся на завершающих стадиях разработки, именно к ним тяготеют остаточные слабодренируемые запасы и трудноизвлекаемые запасы (ТРИзы) углеводородного сырья.

Текстурно-неоднородные породы имеют сложное строение и представляют собой целый комплекс (или сочетание) нескольких литологических типов пород, для которых характерны определенные гидродинамические (субаквальные) условия седиментации, которые в свою очередь предопределили специфические структурно-текстурные особенности и их фильтрационно-емкостные свойства [1].

Анализ литературных источников позволил выявить ряд теоретических моделей, описывающих различные текстурные неоднородности горных пород. Среди них наиболее обоснованными являются следующие.

Модель Дахнова-Комарова. Ранее в публикации [3] было рассмотрено влияние текстурной неоднородности на скалярные петрофизические параметры геофизического пласта для различных типов текстур. Однако определение такой векторной характеристики как удельное электрическое сопротивление (УЭС), является более сложной задачей. В 1953 году В.Н. Дахновым [3] было предложено применение модели параллельного соединения проводников для оценки УЭС пласта представленного параллельными включениями прослоев коллекторов (песчаников «чистых») и не коллекторов (глин) (1), (2), (3), где $\rho_{\text{тнп}}$, $\rho_{\text{пч}}$ и $\rho_{\text{гл}}$, соответственно, сопротивления модели (слоистой пачки) и прослоев песчаника и глины, $\chi_{\text{пч}}$ и $\chi_{\text{гл}}$, соответственно, доли песчаных и глинистых прослоев в слоистой пачке, $H_{\text{п}}$ – толщина тонкослоистой пачки, $h_{\text{пч}}$ – суммарная толщина песчаных прослоев в пачке [2].

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{\rho_{\text{тнп}}} = \frac{\chi_{\text{пч}}}{\rho_{\text{пч}}} + \frac{\chi_{\text{гл}}}{\rho_{\text{гл}}} = \frac{1 - \chi_{\text{гл}}}{\rho_{\text{пч}}} + \frac{\chi_{\text{гл}}}{\rho_{\text{гл}}} \\ \chi_{\text{пч}} + \chi_{\text{гл}} = 1 \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\sum h_{\text{пч}} = H_{\text{п}} \cdot \chi_{\text{пч}} \quad (2)$$

Отсюда имеем:

$$\rho_{\text{тнп}} = \frac{\rho_{\text{k}} \rho_{\text{cp}}}{\chi_{\text{k}} \rho_{\text{cp}} + (1 - \chi_{\text{k}}) \rho_{\text{k}}} \quad (3)$$

Модель Максвелла. Теоретически обоснована зависимость УЭС объекта, представленного однородной проводящей средой с электропроводностью σ_1 , имеющей включения (сферической или, возможно, иной формы) с электропроводностью σ_2 при условии, что включения не соприкасаются друг с другом. В частности, Максвелл, для электропроводности такой модели $\sigma_{1,2}$ получил следующее уравнение (4), где k_{r} есть процентное содержание в единице объёма вещества с удельной электропроводностью σ_1 .

$$\sigma_{1,2} = \frac{300\sigma_2 + 2k_r(\sigma_1 - \sigma_2)}{300\sigma_1 - k_r(\sigma_1 - \sigma_2)} \sigma_1 \quad (4)$$

Уравнение (4) позволяет определить величину электропроводности $\sigma_{\text{тнп}} = \sigma_{1,2}$ и, соответственно, сопротивления горных пород $\rho_{\text{тнп}}$ для включений сферической формы. При этом σ_1 будет соответствовать электропроводности среды (первой компоненты), σ_2 включений.

При переходе от удельной электропроводности (УЭП) $\sigma_{\text{тнп}}$ к УЭС $\rho_{\text{тнп}}$ формула (4) примет следующий вид:

$$\rho_{\text{тнп}} = \frac{3\rho_{\text{пч}} - \chi_{\text{гл}} * (\rho_{\text{пч}} - \rho_{\text{гл}})}{3 * \rho_{\text{гл}} + 2 * \chi_{\text{гл}}(\rho_{\text{пч}} - \rho_{\text{гл}})} * \rho_{\text{гл}} \quad (5)$$

Модели Максвелла-Семенова. В монографии А.П. Краева [4] приводится ссылка на модель Максвелла и, судя по всему, на развитие этой модели А.С. Семеновым (1948 г) для сред с текстурными неоднородностями, представленными включениями в форме эллипсоидов с полуосами a, b . При измерении УЭС такой модели в одном из взаимно ортогональных направлений, сопротивление её будет определяться следующим уравнением (5), в котором

$$n_1 = n_2 = \frac{2e^3}{e - (1 - e^2)Arth(e)}; \quad n_3 = \frac{e^3}{(1 - e^2)(Arth(e) - e)}; \quad e = \sqrt{1 - \left(\frac{b}{a}\right)^2}.$$

В этих уравнениях e – эксцентриситет эллипса; a и b – малая и большая полуоси эллипса соответственно; n_1, n_2, n_3 – коэффициенты, определяющие направление модели.

При одинаковой ориентировке любых неизомерных зерен порода становится анизотропной; УЭС ее определяется главным значением тензора УЭС $\rho^{(1)}, \rho^{(2)}, \rho^{(3)}$ по отдельными ортогональным направлениям. При отсутствии преимущественной ориентировки зерен порода будет в среднем изотропной с УЭС (6).

$$\rho_{\text{тнп}} = \frac{\rho^{(1)} + \rho^{(2)} + \rho^{(3)}}{3} \quad (6)$$

В рамках для данной модели А.С. Семеновым рассмотрены несколько частных случаев текстурной неоднородности, различаемых формой включений:

а) В случае включений сферической формы выражение преобразуется к известному уравнению Максвелла:

б)

$$\rho_{\text{тнп}} = \frac{(3 - \chi_{\text{гл}}) * \rho_{\text{пч}} + \chi_{\text{гл}} * \rho_{\text{гл}}}{2 * \chi_{\text{гл}} * \rho_{\text{пч}} + (3 - 2\chi_{\text{гл}}) * \rho_{\text{гл}}} * \rho_{\text{гл}} \quad (7)$$

б) В случае породы с игольчатыми включениями выражение имеет следующий вид:

при измерении УЭС вдоль оси «иголок»:

$$\rho^{(1)} = \rho^{(2)} = \frac{(2 - \chi_{\text{гл}}) * \rho_{\text{пч}} + \chi_{\text{гл}} * \rho_{\text{гл}}}{\chi_{\text{гл}} * \rho_{\text{пч}} + (2 - \chi_{\text{гл}}) * \rho_{\text{гл}}} * \rho_{\text{гл}} \quad (8)$$

при измерении УЭС поперек оси «иголок»:

$$\rho^{(3)} = \frac{\rho_{\text{гл}} * \rho_{\text{пч}}}{\chi_{\text{гл}} * \rho_{\text{пч}} + (1 - \chi_{\text{гл}}) * \rho_{\text{гл}}} \quad (9)$$

в) В случае породы с включениями в виде «пластин» выражение принимает следующий вид:

при измерении УЭС в направлении, совпадающем с плоскостью пластинок:

$$\rho^{(1)} = \rho^{(2)} = \frac{\rho_{\text{гл}} * \rho_{\text{пч}}}{\chi_{\text{гл}} * \rho_{\text{пч}} + (1 - \chi_{\text{гл}}) * \rho_{\text{гл}}} \quad (10)$$

при измерении УЭС в направлении перпендикулярно им:

$$\rho^{(3)} = \frac{1}{(1 - \chi_{\text{гл}}) * \rho_{\text{пч}} + \chi_{\text{гл}} * \rho_{\text{гл}}} \quad (11)$$

Кроме того, известна модель Бруггемана-Ханаи. В этой модели гетерогенная система моделируется произвольно выбранной частицей, погруженной в связующую среду. В рамках этого метода рассматривается приращение проводимости гетерогенной среды при введении в неё малой порции дисперсных частиц. В.А. Ефимовым (1978 г) было высказано предположение, что данная модель может быть использована при описании пород с так называемой «рябчиковой» текстурой(12), где $\sigma_{\text{тнп}}$ – УЭП ТНП, $\sigma_{\text{пч}}$ – УЭП песчанной компоненты, $\sigma_{\text{гл}}$ – УЭП глинистой компоненты, f – форм-параметр.

$$\frac{(\sigma_{\text{тнп}} - \sigma_{\text{пч}})}{(\sigma_{\text{гл}} - \sigma_{\text{пч}})} * \left(\frac{\sigma_{\text{гл}}}{\sigma_{\text{тнп}}} \right)^{1-f} = \chi_{\text{гл}} \quad (12)$$

При переходе от электропроводности к удельному электрическому сопротивлению уравнение (12) примет следующий вид, где f - форм-параметр включений, в нашем случае – глинистых.

$$\frac{\rho_{\text{гл}} (\rho_{\text{пч}} - \rho_{\text{тнп}})}{\rho_{\text{тнп}} (\rho_{\text{пч}} - \rho_{\text{гл}})} * \left(\frac{\rho_{\text{тнп}}}{\rho_{\text{гл}}} \right)^{1-f} = \chi_{\text{гл}} \quad (13)$$

Необходимо подчеркнуть, что практическое применение модели Бруггемана-Ханаи требует обоснования форм-параметра f . Этот параметр определяется множеством факторов, большая часть которых не поддаются прямому экспериментальному обоснованию, особенно с учетом вариативности их в совокупности зерен, слагающих горную породу (размеры, симметрию и асимметрию каждого зерна, их форму, шероховатость, взаимную ориентацию и другие).

Сравнение перечисленных выше моделей было выполнено нами для следующих заданных условий, представленных сочетаниями «песчаников» и «глин»:

- Водонасыщенный песчаник с УЭС $\rho_{\text{пч}} = 2$ Омм и включения глины (глинистой компоненты) с УЭС $\rho_{\text{гл}} = 6$ Омм.
- Нефтенасыщенный песчаник с УЭС $\rho_{\text{пч}} = 15$ Омм и включения глины (глинистой компоненты) с УЭС $\rho_{\text{гл}} = 6$ Омм.

Рассмотренные теоретические модели УЭС позволяют описывать различные текстурные неоднородности горных пород: слоистые, представленные включениями сферической, эллипсоидальной форм в широком диапазоне изменения параметров эллипсоидов вплоть до сильно вытянутых («игольчатых») и сильно сплюснутых («пластиначатых»). Кроме того, модели Максвелла-Семенова позволяют рассчитывать УЭС не изотропных моделей, в частности, при разных направлениях измерения относительно плоскости анизотропии или в произвольном направлении, по данным измерений в трехмерной системе координат (x, y, z). Вместе с тем строгое применение моделей Максвелла и моделей производных от них ограничиваются условием отсутствия контакта элементов включений друг с другом.

Расчеты были выполнены с учетом указанных выше условий при изменении объемной доли включений ($\chi_{\text{гл}}$) от 0 и до 1. Область применимости уравнений Максвелла-Семенова, как уже было отмечено, ограничивается условием, примерно, $\chi_{\text{гл}} \leq 0,5 \div 0,55$. Однако, с очевидностью при $\chi_{\text{гл}} \rightarrow 1$ УЭС модели должно стремиться к УЭС глин ($\rho_{\text{гл}}$). Это облегчает анализ полученных результатов и допускает интерполяцию их в области $\chi_{\text{гл}}$ от 0,5÷0,55 до 1.

Графическое сопоставление результатов расчетов приведено на рисунке 1. Из него следует, что характер зависимостей УЭС моделей от долевого содержания глинистых включений уравнениям Дахнова-Комарова и Максвелла идентичен. Наибольшее различие УЭС по этим уравнениям для водонасыщенной ТНП наблюдается при $\chi_{\text{гл}} = 0,7$ и составляет не более $\delta=8,5\%$ относительно УЭС по модели Дахнова-Комарова.

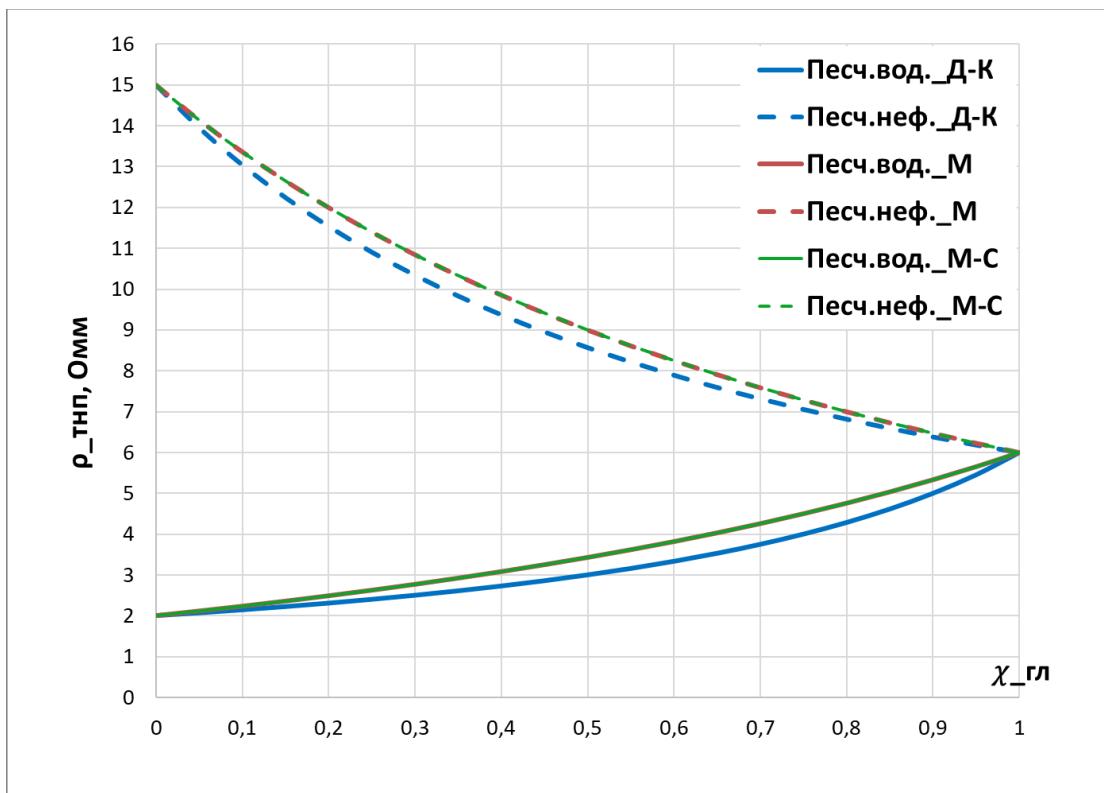


Рис. 1. Сравнение зависимостей $\rho_{\text{ТНП}}=f(\chi_{\text{гл}})$ моделей УЭС ТНП для песчаников водонасыщенных и нефтенасыщенных и при $\rho_{\text{гл}} = 6 \text{ Омм}$.
Шифр кривых - модели: Д-К – Дахнова-Комарова, М – Максвелла, М-С – Максвелла-Семенова

Для модели ТНП представленной нефтенасыщенным песчаником и глинистыми включениями наибольшие различия УЭС моделей наблюдаются при доле глинистой

компоненты около $\chi_{\text{гл}}=0,3$. Относительное отклонение УЭС ТНП от УЭС модели Дахнова-Комарова в этом случае достигает $\delta=4,6\%$ (рис. 1). Таким образом в первом приближении различием УЭС, рассчитанных по этим уравнениям, можно пренебречь.

Отдельный интерес представляют сопоставления результатов расчетов для моделей Максвелла-Семенова с включениями разной формы и ориентации. В результате сопоставления моделей с включениями в виде сфер и эллипсоидов вращения от «игольчатой» до «пластиначатой» формы было установлено практическое совпадение УЭС этих моделей с моделью Максвелла для включений сферической формы. Исключение составили модели с включениями в виде пластинок. В этом случае УЭС моделей в направлении параллельном плоскости «пластин» отличается от УЭС модели для сфер, наибольшее различие наблюдается при $\chi_{\text{гл}}=0,4$. Соответственно наибольшее относительное отклонение (занижение) УЭС моделей в этом случае достигается $\delta=12,54\%$ (рис. 2).

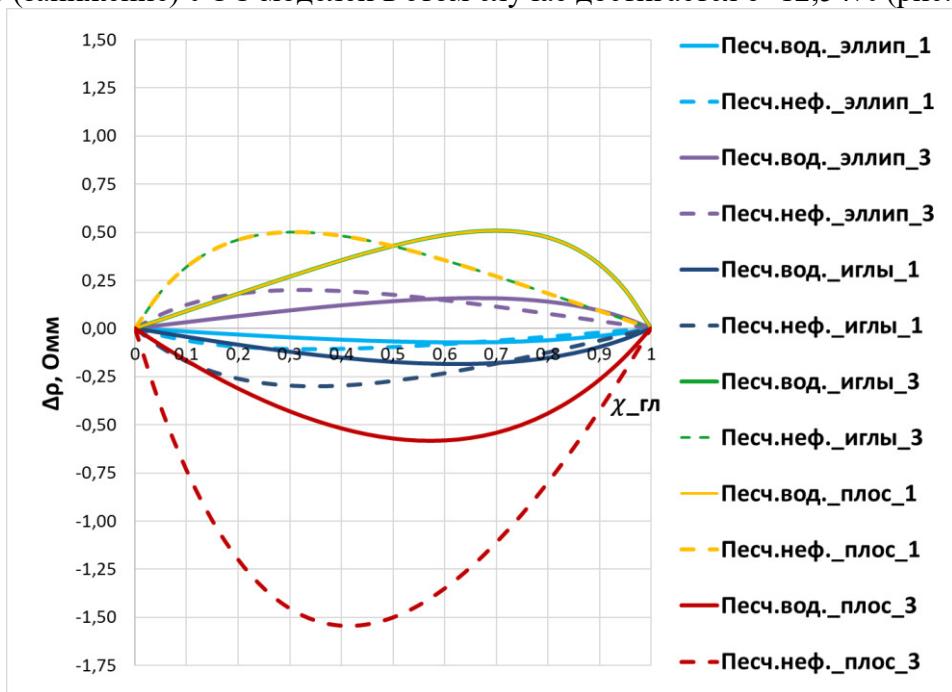


Рис. 2. График зависимостей $\Delta\rho=f(\chi_{\text{гл}})$ для включений разной формы по моделям Максвелла-Семенова.

Шифр кривых – модели Максвелла–Семенова, 1, 3 – направления измерения вдоль и поперек включений соответственно

Таким образом, рассмотренные модели с достаточным приближением могут описать УЭС текстурно-неоднородных пород со следующими текстурными характеристиками: слоистостью, с линзовидностью близкой к сферической и близкой к пластинчатой, а также для случаев сочетания этих типов неоднородности. Отклонения результатов расчетов УЭС этих моделей от модели Дахнова-Комарова в рассмотренных случаях не превысили 10-12 относительных процентов. Очевидно, что увеличением контрастности УЭС составляющих рассматриваемых моделей разность рассчитанных значений УЭС будет возрастать, однако относительные «погрешности» не превысят указанные 10-12%. Это позволяет в первом приближении воспользоваться моделью Дахнова-Комарова. При необходимости и возможности идентифицировать вид и характер текстурных неоднородностей, а также средние геометрические параметры, можно воспользоваться моделями Максвелла-Семенова.

Возможно комплексирование рассмотренных моделей удельного электрического сопротивления текстурно-неоднородных пород в случае сложного характера текстурных неоднородностей, например в случаях сочетания включений и слоистости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров В.М. Сравнительный анализ текстурно-неоднородных пород-коллекторов // Научная территория: технологии и инновации: материалы международной научно-практической конференции – Тюмень: Тюменский Индустриальный университет. – 2022. – С. 10-14.
2. Брюханова Е.В., Мамышев В.Г. Определение критериев моделирования удельного электрического сопротивления основных типов текстурно-неоднородных пород-коллекторов Западной Сибири // Энергия молодежи для нефтегазовой индустрии: сб. материалов VI междунар. научно-практ. конф. молодых ученых – Альметьевск: Альметьевский государственный нефтяной институт. – 2021. – С. 387-390.
3. Дахнов В.Н. Интерпретация результатов геофизических исследований скважин. Москва: Гостоптехиздат, 1955. – 492 с.
4. Краев А. П. Основы геоэлектрики. Л., Недра, 1965. – 588 с.

ANALYSIS OF THEORETICAL MODELS OF SPECIFIC ELECTRICAL RESISTIVITY OF TEXTURE-INHOMOGENEOUS ROCKS

¹*Borodulin Danil Alekseevich*, ²*Kanninen Maxim Yurievich*,
³*Mamyashev Vener Galiullinovich*, ⁴*Bryukhanova Ekaterina Vyacheslavovna*
Tyumen Industrial University, Tyumen
¹*d-borodulin@list.ru*, ²*kanninen01@mail.ru*, ³*tmngeofiz@mail.ru*,
⁴*brjuhanovaev@tyuiu.ru*

Summary. Due to the increase in the share of hard-to-recover reserves, it is necessary to analyze known models of specific electrical resistivity (SER) of texturally inhomogeneous rocks (TIR) and the possibility of their application to substantiate and improve the geological interpretation of materials for determining the resistivity of such objects according to GRW. In particular, when justifying the calculation parameters. The article presents an analysis of the theoretical models of SER TIR, based on a graphical comparison of the results obtained with their help, and conclusions on the conditions of applicability of these models are given.

Keywords: specific electrical resistivity, electrical conductivity, texturally inhomogeneous rocks, theoretical models, anisotropy, complex reservoir rocks.

УДК 550.837.21+571.63

ВЛИЯНИЕ СЕТИ ГЛУБИННЫХ РАЗЛОМОВ НА ПРОЯВЛЕНИЕ БЕРЕГОВОГО ЭФФЕКТА

Бронников Анатолий Константинович

ИТиГ ДВО РАН, г. Хабаровск

bronnikovak1992@gmail.com

Аннотация. Исследования глубинного строения на юге Приморья осложнены различными аномалиями, как локального, так и регионального масштаба. При этом влияние наиболее масштабного искажения – берегового эффекта – не наблюдается по кривым кажущегося сопротивления. Это возможно только при наличии другой крупномасштабной аномалии. Присутствующая в регионе разветвленная сеть разломов наиболее вероятная причина подобного проявления берегового эффекта. Оценка степени влияния сети разломов крайне важна для корректной интерпретации, получаемых геоэлектрических разрезов.

Ключевые слова: Дальний восток России, Приморье, магнитотеллурические зондирования, береговой эффект, глубинные разломы

На протяжении восьми лет мы ведём работы по изучению глубинного строения южной части Дальнего Востока России методом магнитотеллурического зондирования (МТЗ). Данные работы позволили получить ряд геоэлектрических разрезов и создать предварительные трёхмерные модели для нескольких районов. Близкое расположение района исследования к границе континент-море делает необходимым рассмотреть влияние на данные магнитотеллурических зондирований берегового эффекта. Данная аномалия вызвана наличием контраста между двумя средами, а также индуцированными токами, создаваемыми морским течением. При анализе данных, подверженных данному явлению, это отображается как сильное (на несколько порядков) расхождение амплитудных кривых кажущегося сопротивления на больших периодах. При этом дальность влияния берегового эффекта может достигать сотен километров, искажая полученные данные и усложняя дальнейшую интерпретацию.

При анализе результатов полевых работ не было обнаружено типичного поведения амплитудных кривых в условиях берегового эффекта, в том числе в пунктах, расположенных на самом берегу. Дальнейшее рассмотрение индукционных векторов, которые строятся по данным характеристики, зависящей только от магнитного поля, показало наличие берегового эффекта на больших периодах. Это говорит о том, что в районе есть некоторая аномалия, компенсирующая влияние аномалии на кривые МТЗ. Одним из вероятных источников аномалий на юге Приморья является разветвленная сеть разломов, среди них и крупный Центральный Сихотэ-Алинский разлом.

Для выяснения причины слабого влияния берегового эффекта на поведение амплитудных кривых МТЗ нами было проведено трехмерное численное моделирование с использованием программы ModEM [1] на вычислительных ресурсах ЦКП «Центр данных ДВО РАН» [2]. В качестве исходной была создана базовая горизонтально-слоистая модель (рис. 1). Первый – мощностью 30 км и сопротивлением 10000 Ом·м, второй – 55 км, 300 Ом·м, третий – 35 км, 450 Ом·м, четвёртый – 40 км сопротивлением 100 Ом·м, пятый – мощностью 80 км сопротивлением 50 Ом·м, шестой – 320 км сопротивлением 10 Ом·м. Горизонтально-слоистая модель была построена на основе обобщения разрезов профилей, полученных ранее при инверсии МТЗ [3, 4, 5, 6]. В вычислениях использовалась модель со следующими параметрами сетки: 166 ячеек по

оси X, 169 – по оси Y и 27 – по оси Z. В горизонтальном направлении основная зона модели имела размеры 152x155 ячейки с шагом 2,5 км, размер остальных ячеек по краям увеличивался с 5 км до 300 км для гашения краевых эффектов при решении прямой задачи. Вертикальная сетка, начиналась с 50 м и постепенно увеличивалась до 160 км. Прямая задача решалась для основного и дополнительного импедансов и типпера. Сетка периодов состояла из 50 периодов в диапазоне от 0,0001 с до 1000 с. В данную модель внедрялись глубинные разломы, согласно схеме [7]. Ширина разломов принималась равной 2,5 км, глубина 30 км, сопротивление 100 Ом·м, за исключением Центрального Сихотэ-Алинского, который является непроводящей границей (областью повышенных сопротивлений), разделяющей блоки высокого сопротивления, поэтому в модель он добавлен как блок с сопротивлением 9000 Ом·м.

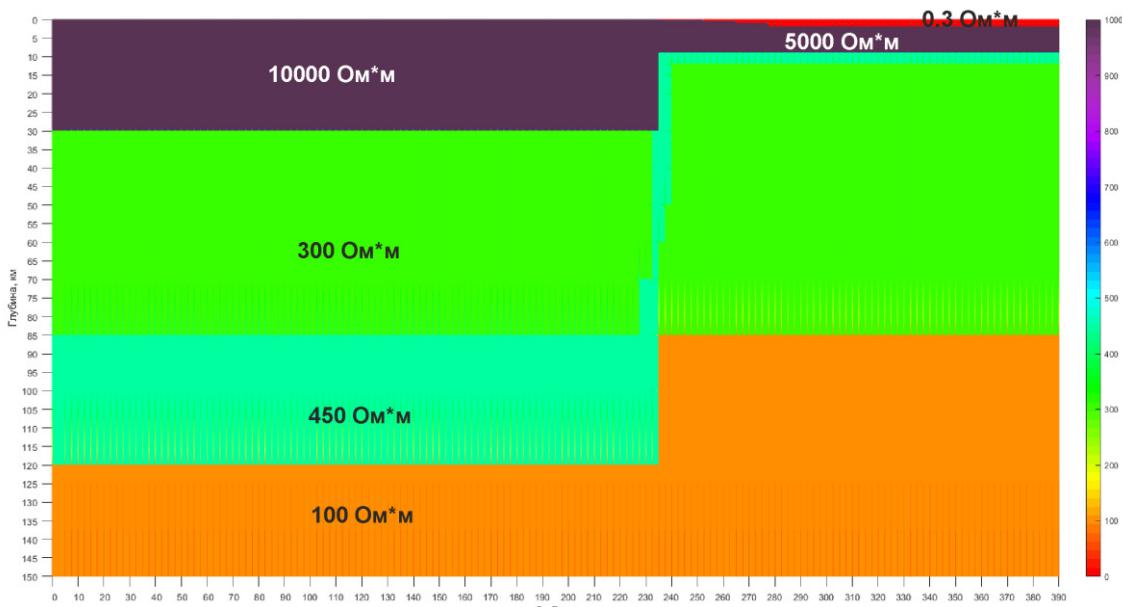


Рис. 1. Геоэлектрический разрез Базовой модели

Расчёт прямой задачи для базовой модели показывает следующее: в точках, расположенных непосредственно на берегу, вектора поворачиваются уже с периода 0,0001 с. С 0,002 с начинает влиять на соседний пункт и постепенно распространяется на всю модель. Все пункты подвергаются влиянию с периода 54 с. При этом, начиная с периода 1 с, на профиле Дальнереченск – Пластун, с 0,001 с на Абражеевка – Валентин и Спасск-Дальний – Зеркальная, вектора начинают поворачиваться от перпендикулярного к берегу положения, так как начинает сказываться влияние более глубокая часть моря. Для дальнейшего сравнения влияния берегового эффекта возьмём периоды 1 с, 10 с (рис. 2), 100 с, 1000 с.

Для анализа влияния всей разломной сети на береговой эффект в базовую модель добавлены Центральный Сихотэ-Алинский разлом и вся сеть разломов. Разломная сеть внесла изменения в поведение векторов и до периода 54 с является, превалирующим фактором. На периоде 1 с на профиле Абражеевка – Валентин и Спасск-Дальний Зеркальная вектора в пунктах, находящихся рядом с разломами, повернулись от них, при этом виду влияния моря угол отклонения от разломов нигде не перпендикулярен, в береговой части длина векторов уменьшилась, направление векторов изменилось, повернувшись в сторону в том числе в береговом пункте. На профиле Дальнереченск-Пластун немного уменьшена длина береговых векторов, при этом пункты, пересекающие Центральный Сихотэ-Алинский разлом, повернуты в сторону моря. На периоде 10 с (рис. 3) вектора начинают больше соответствовать поведению базовой модели, при этом влияние

разломов сильно ослабевает и вносит небольшие отклонения, но всё также на большие расстояния. На периодах 100 с и 1000 с величины векторов меньше, чем в базовой модели, также угол отклонения от касательной к берегу меньше.

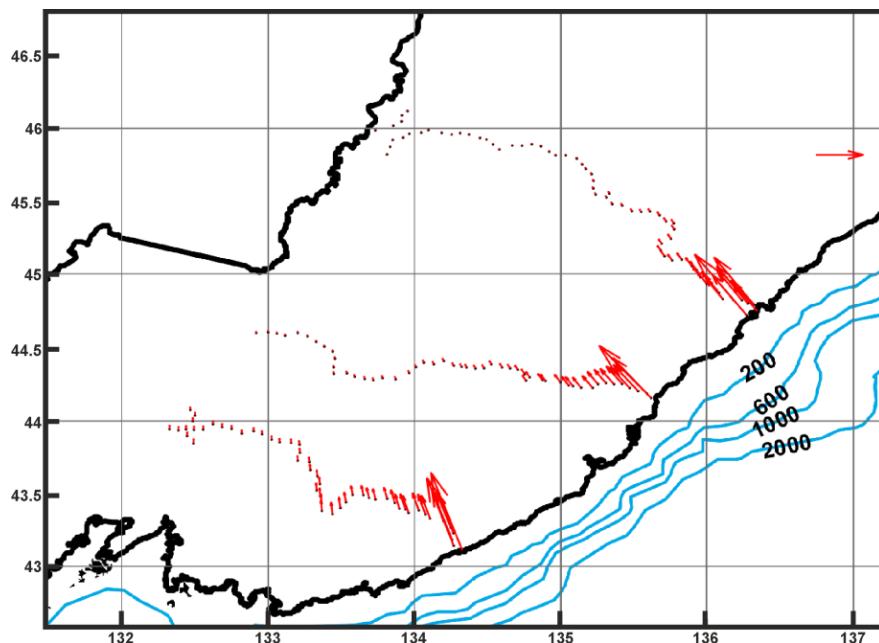


Рис. 2. Индукционные векторы базовой модели на периоде 10 с.

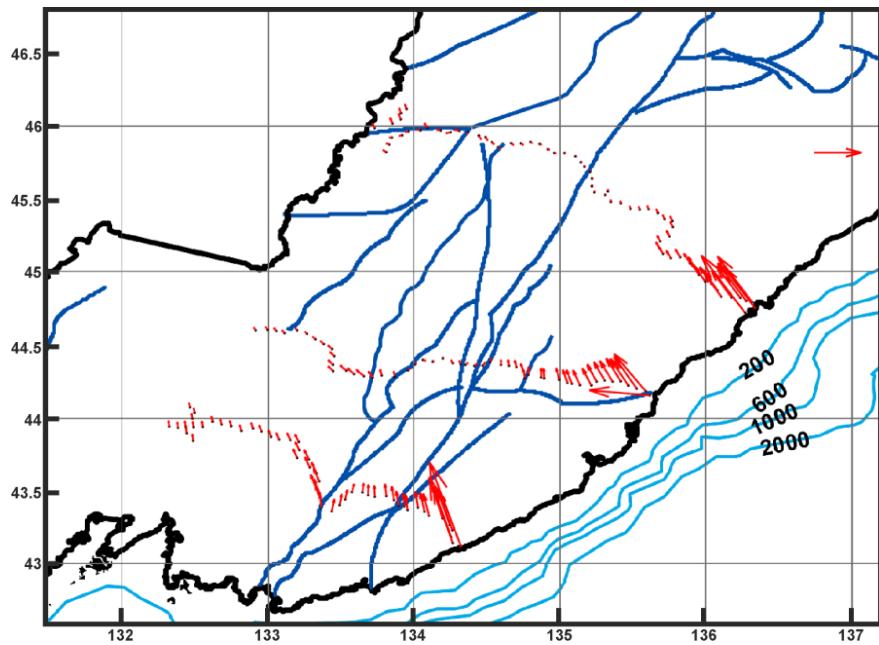


Рис. 3. Индукционные векторы модели с разломной сетью юга Приморья на периоде 10 с.

Исходя из полученных результатов, разломная сеть оказывает большое влияние на береговой эффект, но при этом недостаточно, чтобы объяснить особенности его проявления на юге Приморья.

Исследования проведены при финансовой поддержке гранта РНФ №22-27-00031.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kelbert A., Meqbel N., Egbert G., Tandon K. ModEM: A modular system for inversion of electromagnetic geophysical data // Computers & Geosciences, 2014. V. 66. P. 40–53. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2014.01.010>
2. Сорокин А.А., Макогонов С.В., Королев С.П. Информационная инфраструктура для коллективной работы ученых Дальнего Востока России // Научно-техническая информация. Серия 1: Организация и методика информационной работы. 2017. № 12. – С. 14-16.
3. Каплун В.Б., Бронников А.К. Строение земной коры и верхней мантии Южного Сихотэ-Алиня по профилю г. Дальнереченск – с. Рошино – п. Пластун по данным магнитотеллурических зондирований // Тихоокеанская геология, 2019. Т. 38. №5. – С. 3-13.
4. Каплун В.Б., Бронников А.К. Строение земной коры и верхней мантии Южного Сихотэ-Алиня по профилю г. Спасск-Дальний – бух. Зеркальная по данным магнитотеллурических зондирований // Тихоокеанская геология, 2018. Т. 37. №5. – С. 31-47.
5. Каплун В.Б., Бронников А.К. Строение земной коры и верхней мантии Южного Сихотэ-Алиня по данным магнитотеллурических зондирований по профилю с. Абражевка – п. Валентин // Тихоокеанская геология, 2020. Т. 39. №4. – С. 3-15
6. Никифоров В.М., Кулинич Р.Г., Валитов М.Г., Дмитриев И.В., Старжинский С.С., Шкабарня Г.Н. Особенности флюидного режима литосферы в зоне сочленения Южного Приморья и Японского моря по комплексу геофизических данных // Тихоокеанская геология, 2013. Т.32. №1. – С. 54-64.
7. Забродин В.Ю., Рыбас О.В., Гильманова Г.З. Разломная тектоника материковой части Дальнего Востока России. // Владивосток: Дальнавака. 2015. – 32 с.+1 цв. вкл.

INFLUENCE OF THE NETWORK OF DEEP FAULTS ON THE MANIFESTATION OF THE COASTAL EFFECT

*Bronnikov Anatoly Konstantinovich
ITIG FEB RAS, Khabarovsk
bronnikovak1992@gmail.com*

Summary. Studies of the deep structure in the south of Primorye are complicated by various anomalies, both local and regional. At the same time, the effect of the largest distortion, the coast effect, is not observed in the apparent resistivity curves. This is possible only in the presence of another large-scale anomaly. The extensive network of faults present in the region is the most likely reason for this manifestation of the coastal effect. The assessment of the degree of influence of the fault network is extremely important for the correct interpretation of the obtained geoelectric sections.

Key words: Russian Far East, Primorye, magnetotelluric soundings, coast effect, deep faults.

УДК 550.380.14

РЕШЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ МЕТОДОМ СКВАЖИННОЙ МАГНИТОМЕТРИИ НА ПРИМЕРЕ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕВЕРО-ТАРАТАШСКОГО УЧАСТКА

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

Аннотация. В статье описаны результаты исследований магнитной восприимчивости и трех составляющих геомагнитного поля в скважине Северо-Тараташского участка. Полученные данные и их анализ позволили выделить пласты магнетитовых кварцитов и по скачкам магнитного поля определить элементы залегания тел, а по картине векторов определить местоположение тела в околоскважинном пространстве.

Ключевые слова: скважинная магнитометрия, магнитная восприимчивость, трехкомпонентные геомагнитные измерения, векторная магнитометрия, магнетитовые кварциты.

Скважинная магнитометрия является основным методом поисков и разведки месторождений рудных полезных ископаемых, изучения глубинного строения и петрофизических свойств земной коры. Метод включает комплексные измерения магнитной восприимчивости трех составляющих индукции магнитного поля, азимута и угла наклона скважины [2].

Для проведения измерений методом скважинной магнитометрии использовался скважинный магнитометр-инклинометр МИ-3803М, разработанный в лаборатории скважинной геофизики Института геофизики УрО РАН на базе феррозондов и акселерометров АТ-1306, позволяющий проводить непрерывные измерения одновременно трех составляющих вектора геомагнитного поля, величины магнитной восприимчивости горных пород, вскрытых скважиной, магнитного азимута, визирного и зенитного углов скважины. В зависимости от условий измерений, скважинный прибор может быть помещен в корпус диаметром от 38 до 70 мм. Прибор рассчитан на работу с одножильным кабелем длиной до 6 км.

Прибор работает в режиме непрерывной передачи информации, что позволяет его стыковать не только с персональными компьютерами, но и с компьютеризированными каротажными комплексами «Гектор» и «Вулкан», разработки фирмы «Эликом», г. Уфа [1].

По диаграммам магнитной восприимчивости, составляющих магнитного поля, магнитного азимута и петрофизической информации, можно провести литологическое расчленение разреза скважины по магнитным свойствам, определить и выделить интервалы магнитных пород, подсеченных скважиной, определить их элементы залегания и т.д.

Но главное преимущество скважинной магнитометрии заключается в обнаружении не выявленных ранее, "слепых" рудных тел, определении их местоположения, элементов залегания и размеров, оценке магнитных свойств, определении природы наземных магнитных аномалий [3].

В данной работе описаны исследования, проведенные в одной из скважин проявления Куватал Северо-Тараташского участка (Южный Урал) (рис. 1). Проявление Куватал локализовано в породах, представленных комплексом глубоко метаморфизованных

пород: гнейсов и мигматитов, пироксен-плагиоклазовых кристаллических сланцев, магнетитовых кварцитов. Магнитные свойства пород изменяются в соответствии с увеличением в них среднего содержания магнетита, обусловленного увеличением степени метаморфизма и увеличением основности магматических пород.

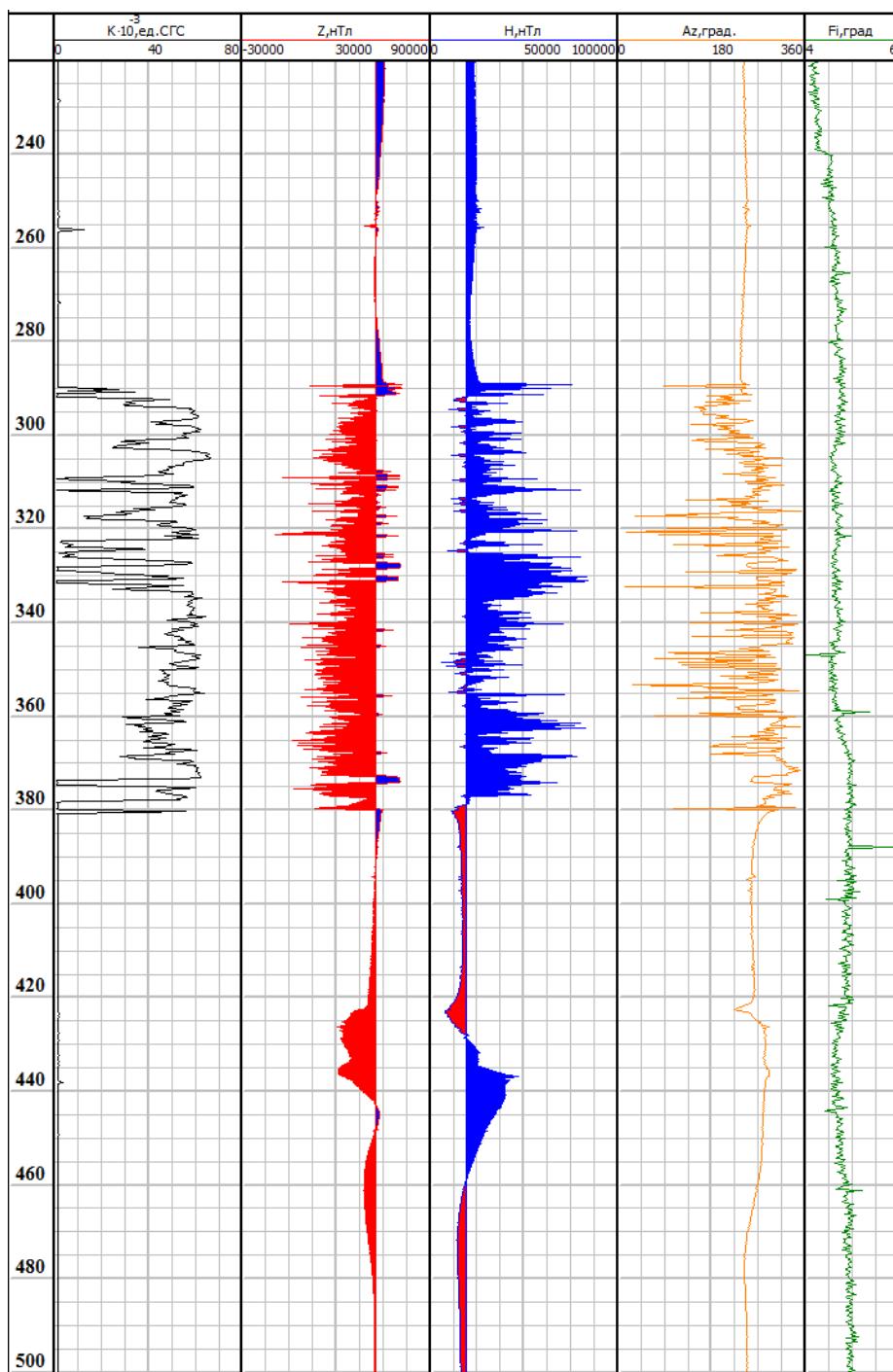


Рис. 1. Результаты скважинной магнитометрии по скважине на Северо-Тараташском участке в интервале 220-500 м, где K - магнитная восприимчивость, Z , H – вертикальная и горизонтальная составляющие магнитного поля, Az – магнитный азимут скважины, An – зенитный угол, AnX – угол поворота скважинного прибора

По данным скважинной магнитометрии нормальные значения магнитной восприимчивости K находятся в пределах $0-8 \cdot 10^{-3}$ ед. СГС, вертикальной составляющей магнитного поля $Z = 56500$ нТл, горизонтальной составляющей $H = 19000$ нТл.

На фоне нормальных значений в скважине выделяются пласти, по литологии соответствующие магнетитовым кварцитам, магнитная восприимчивость которых достигает отметки $68 \cdot 10^{-3}$ ед. СГС. Данные пласти соответствуют глубинам 292-322.3 и 326.2-377.9 м. В этих интервалах наблюдается аномалия пересечения, которая также разбивается на две части. Первый интервал 292-322.3 м отмечается интенсивностью вертикальной аномальной составляющей магнитного поля в среднем равной 18500 нТл, горизонтальной аномальной составляющей 16000 нТл. Аномалия не однородная, также как и магнитная восприимчивость на данном участке, что говорит о неравномерном распределении магнетитовой минерализации. Второй интервал на глубине 326.2-377.9 метров характеризуется интенсивностью вертикальной аномальной составляющей магнитного поля, которой в среднем составляет 28500 нТл, а горизонтальной 31000 нТл. Эта аномалия более однородна, что свидетельствует о массивных рудах, находящихся в данном интервале.

Направление падения выделенных пластов по интерпретации скачков магнитного поля северо-западное. Намагниченность тел согласно характеру кривых прямая и совпадает с современным магнитным полем.

В интервале глубин 420-480 метров по кривым вертикальной и горизонтальной составляющих магнитного поля и магнитного азимута выделяются две боковые аномалии (рис. 2). Первая аномалия в интервале 420-440 м имеет интенсивность $Z_a=16500$ нТл, $H_a=14500$ нТл, отклонение магнитного азимута составляет 20 градусов. Вторая аномалия в интервале 450-480 метров имеет интенсивность $Z_a=7800$ нТл, $H_a=4000$ нТл, а отклонение магнитного азимута равно 10 градусам.

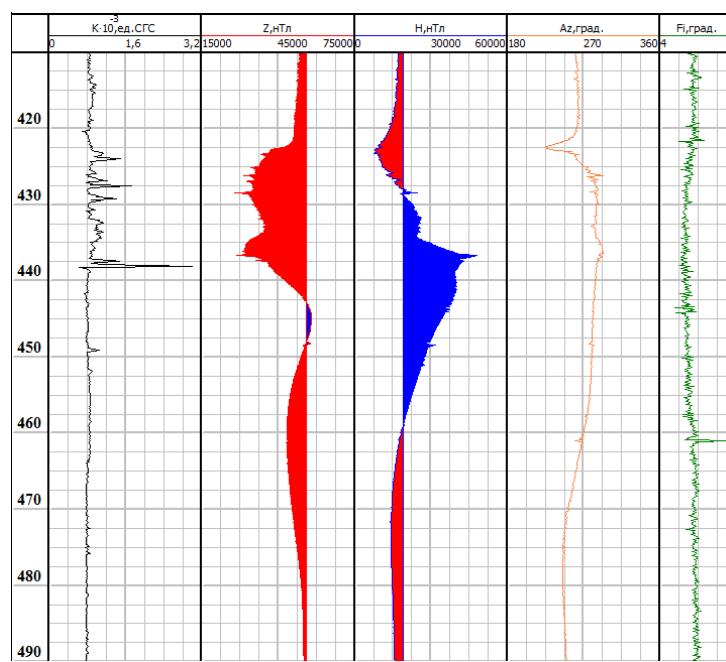


Рис. 2. Боковые аномалии по скважине на Северо-Тараташском участке в интервале 420-480 м, где K - магнитная восприимчивость, Z , H – вертикальная и горизонтальная составляющие магнитного поля, Az – магнитный азимут скважины, An – зенитный угол, AnX – угол поворота скважинного прибора

В комплексе аномалий и построенные вектора свидетельствуют о телах, расположенных на северо-западе и юго-востоке от скважины соответственно (рис.3).

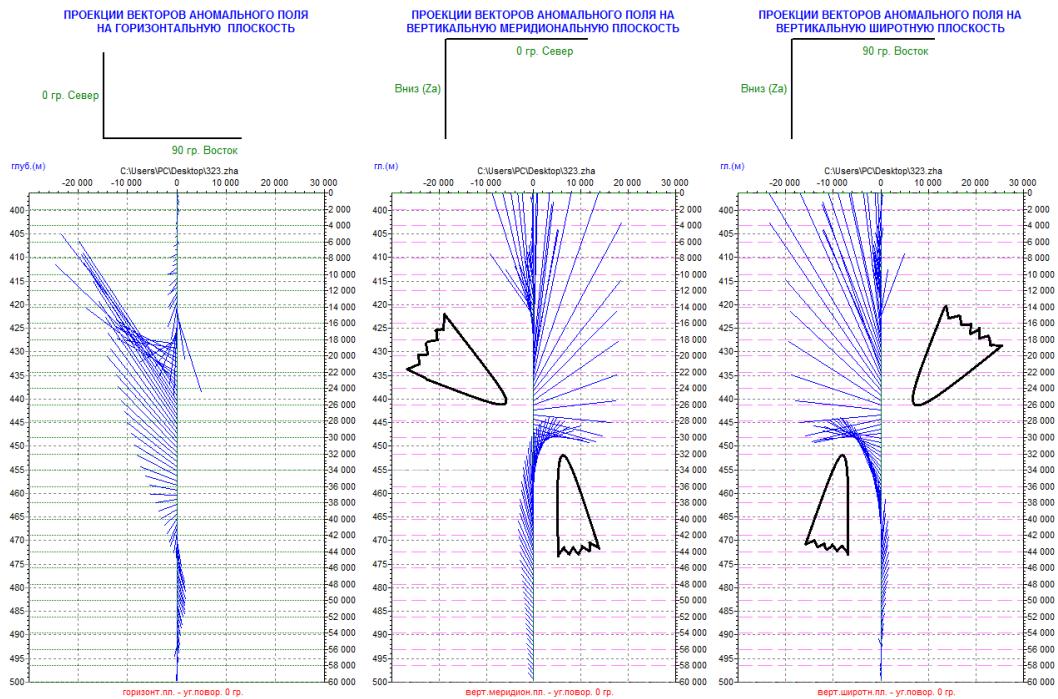


Рис. 3. Проекции векторов аномального поля по скважине №1 на Северо-Тараташском участке

Все вышесказанное подтверждает тот факт, что применение скважинной магнитометрии повышает эффективность геофизических исследований скважин при поисках железорудных полезных ископаемых и позволяет получить сведения о магнитных объектах, залегающих на значительном удалении от ствола скважины, а это в свою очередь повышает надежность геологических заключений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астраханцев Ю.Г., Белоглазова Н.А. Комплексная магнитометрическая аппаратура для исследования сверхглубоких и разведочных скважин. Екатеринбург: УрО РАН, 2012. – 120 с.
2. Иголкина Г.В. Скважинная магнитометрия при исследовании сверхглубоких и глубоких скважин. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 215 с.
3. Сковородников И.Г. Геофизические исследования скважин: учебник для вузов. 4-е изд., переработ. и дополн. - Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. – 456 с.

SOLUTION OF GEOLOGICAL PROBLEMS BY THE METHOD OF BOREHOLE MAGNETOMETRY ON THE EXAMPLE OF THE IRON ORE DEPOSIT OF THE NORTH-TARATASHSKY AREA

*Viryasova Uliana Vasilievna
Institute of geophysics UB RAS, Ekaterinburg
viryasova.u@mail.ru*

Summary. The article describes the results of studies of magnetic susceptibility and three components of the geomagnetic field in the well of the North-Taratash

area. The obtained data and their analysis made it possible to identify the layers of magnetite quartzites and to determine the elements of the occurrence of bodies by the jumps of the magnetic field, and to determine the location of the body in the near-wellbore space using the pattern of vectors.

Key words: borehole magnetometry, magnetic susceptibility, three-component geomagnetic measurements, vector magnetometry, magnetite quartzites.

УДК 502.35

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ О СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ

¹*Галеева Эльвира Рафисовна, ²Нестеренко Максим Юрьевич,*

²*Белов Владимир Сергеевич*

¹*Оренбургский государственный университет, г.Оренбург*

²*Оренбургский федеральный исследовательский центр УрО РАН*

(Отдел геоэкологии), г.Оренбург

¹*Galeevskoe@mail.ru, ²n_mu@mail.ru*

Аннотация. Статистические данные о произошедших сейсмических событиях на территории восточной части Оренбургской области можно получить из электронного ресурса, сайта Казахстанского национального центра данных. Данные и их характеристики необходимы для дальнейшего анализа с целью установления действительной сейсмичности территории, а также обеспечения сейсмической безопасности населения.

Ключевые слова: каталог сейсмических событий, сейсмическая активность, геодинамический мониторинг.

Изучение сейсмической активности на территории восточной части Оренбургской области весьма важно. Здесь в последние десятилетия значительно возросло количество зарегистрированных сейсмических событий. Актуальность исследования связана с необходимостью обеспечения сейсмической безопасности населения, снижения рисков социального, экономического и экологического характера в районах с повышенной сейсмичностью, и снижения ущербов от разрушительных землетрясений.

Статистические данные зарегистрированных сейсмических событий для восточной части Оренбургской области можно получить с сайта Казахстанского национального центра данных [4].

Казахстанский национальный центр данных (KNDC) осуществляет свою деятельность в структуре Международной системы мониторинга (МСМ). Международная система мониторинга включает в себя сейсмические, инфразвуковые, радионуклидные и гидроакустические станции, расположенные на территории 90 государств мира.

Целью создания Международной системы мониторинга является контроль выполнения ОДВЗЯИ (Организации Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний). Вместе с тем, круглосуточно работающие высокочувствительные станции регистрируют большое количество землетрясений и других природных и техногенных явлений на всем земном шаре, внося свою лепту в решение задач сейсмобезопасности.

На рисунке 1 показано расположение на земном шаре станций создаваемой Международной системы мониторинга ОДВЗЯИ. Казахстанский национальный центр данных существует на базе Центра сбора и обработки специальной сейсмической информации РГП "Институт геофизических исследований" (ИГИ) Министерства энергетики Республики Казахстан.

Казахстанский национальный центр данных на постоянной основе сотрудничает с рядом Международных и зарубежных национальных центров данных, среди которых: Международный центр данных ОДВЗЯИ (IDC, Вена, Австрия); Европейский средиземноморский сейсмологический центр (EMSC, Париж, Франция); Международный сейсмологический центр (ISC, Англия); Центр изучения Земли Германии (GFZ, Потсдам, Германия) и другие.

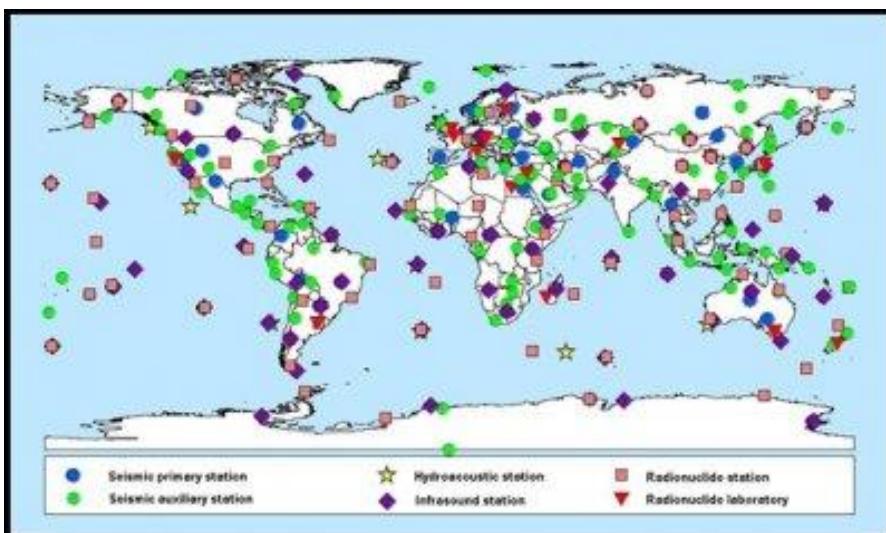


Рис. 1. Расположение станций Международной системы мониторинга ОДВЗИА

Казахстанская сеть станций мониторинга включает в себя сейсмические и инфразвуковые станции, данные которых собираются и обрабатываются в г. Алматы в Казахстанском национальном центре данных. Эти станции, с одной стороны, участвуют в работе Международной системы мониторинга, а с другой стороны, обеспечивают слежение за сейсмической ситуацией на территории Казахстана, России (в том числе и Оренбургской области), стран Центральной Азии.

В число задач Казахстанского национального центра данных входят: сбор и передача данных со станций сети РГП ИГИ; обмен данными с Международными и Национальными центрами; обработка всех поступающих данных в разных режимах оперативности; научные исследования в области сейсмологии, сейсмоакустики, геодинамики и др.

Казахстанская сеть станций мониторинга Казахстанского национального центра данных регистрирует данные по сейсмическим событиям на территории Оренбургской области. Данные регистрируются двумя сейсмическими группами: Акбулак (ABKAR), «Актюбинск» AS-059 (AKTO).

Сейсмическая группа Акбулак (ABKAR) размещена в Айтикеевском районе Актюбинской области вблизи поселка Талдык. Участок располагается в южной части Акбулаксайского гранитного массива верхнепалеозойского возраста.

Сейсмическая группа Акбулак состоит из 10 точек наблюдения, расположенных по двум окружностям с одной центральной точкой. Радиус внутреннего кольца ~500 м, наружного ~2000 м. На 9 пунктах в скважинах установлены однокомпонентные вертикальные сейсмометры GS21 (Geotech Instruments). Кроме того, имеется одна широкополосная трехкомпонентная станция с сейсмометром KS54000 (Geotech Instruments). Регистрирующая аппаратура 24-битные АЦП AIM24S (Science Horizons). Частота оцифровки – 40 опросов/сек/канал. Привязка временной шкалы: система GPS.

Прием и регистрация сейсмических волн группой имеет ряд преимуществ по сравнению с регистрацией одиночными станциями. В частности, суммирование записей на разных каналах группы с введением временных поправок может существенно повысить

Информация с выносных пунктов сейсмической группы «Акбулак» AB01 – AB31 по радиотелеметрическим каналам передается в центральный пункт сбора информации, где три входящих потока преобразуются в один исходящий, который далее по спутниковым каналам передается в Центр данных, г. Алматы. Управление системой

осуществляется дистанционно с центрального пункта сбора информации группы и из Центра данных. Из Алматы данные сейсмической группы «Акбулак» передаются в Американский национальный центр данных (USNDC) во Флориду (США).

Вспомогательная сейсмическая станция международной системы мониторинга (МСМ) «Актюбинск» AS-059 (АКТО) находится на юго-восточной окраине поселка Тас-сай Хромтауского района Актюбинской области. Геологическое строение участка следующее: датчик установлен в скважине приборного сооружения, на вершине сопки, сложенной диоритами. Диориты слагают небольшое дайкообразное тело, прорывающее силурийские габбро-амфиболиты.

Сейсмический датчик станции – CMG-3TB фирмы Guralp. Установлен в скважине глубиной 65 м. Регистрирующая аппаратура: 24-битный АЦП Europa-T фирмы Nanometrics. Частота оцифровки – 40 опросов/сек/канал. Привязка временной шкалы: система GPS.

Для того, чтобы собрать массив статистических данных по произошедшим сейсмическим событиям на территории Оренбургской области, необходимо на сайте Казахстанского национального центра данных войти во вкладку «Сейсмические бюллетени» на главной странице, далее «Интерактивная бюллетень». Здесь мы видим карту сейсмических событий за определенный промежуток времени.

Ниже располагается каталог сейсмических событий. Используя данный каталог, мы находим то сейсмическое событие, которое произошло на необходимой территории (столбик «region name» в таблице). Выбираем регион Уральских гор. (Ural mountains region). Из них отбираем те, которые входят в границы восточной части Оренбургской области.

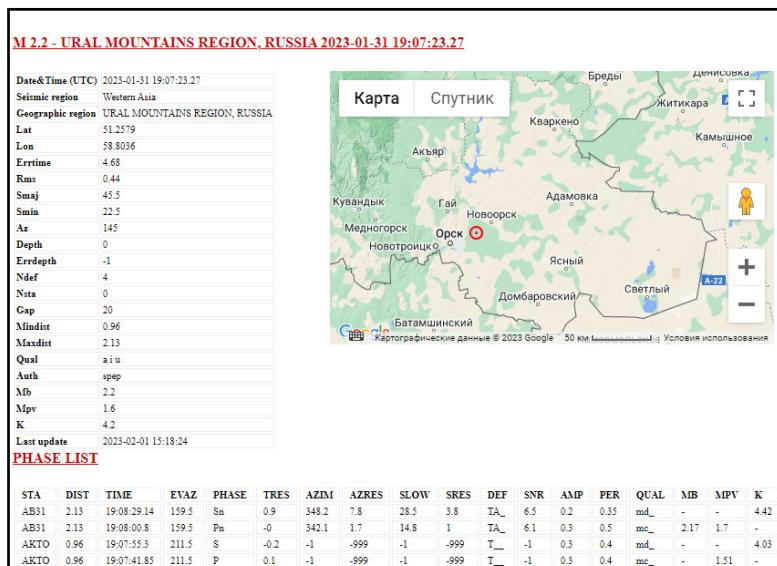


Рис. 2. Снимок экрана из каталога сейсмических событий «Информация о событии» с Казахстанского национального центра данных

Из данных каталога сейсмических событий (рис. 2) так же можно получить дополнительную информацию о характеристиках сейсмического события: координаты; дата и время его регистрации; принадлежность к сейсмическому региону; магнитуды; энергетический класс; глубину.

Согласно полученным и проанализированным данным Казахстанского национального центра данных за последние десятилетия на территории Восточного Оренбуржья регистрируются сейсмические события с магнитудой $M_b > 2.0$. Полученные статистические данные по произошедшим зарегистрированным сейсмическим событиям

необходимы для выявления условий распространения сейсмической активности и установления причин локализации сейсмических событий на территории в той или иной местности в зависимости от геологических, тектонических условий и производимых работ промышленных предприятий по добыче полезных ископаемых из недр земной коры.

Сопоставление количества зарегистрированных сейсмических событий с взрывами на рудниках горнодобывающих компаний позволил сделать предположение о возможных причинах геодинамических процессов: 74,5% геодинамических процессов спровоцированы взрывными работами на рудниках горнодобывающих предприятий, большей частью в шахтах [3].

Изучение и анализ сейсмических данных, сейсмичности территории, мониторинг естественной и техногенной сейсмичности важная задача и выполняется для повышения сейсмической безопасности населения, снижения социального, экономического и экологического риска в сейсмически опасных районах, снижение ущербов от разрушительных землетрясений [1]. Наблюдение за геодинамической активностью позволит выявить и оценить уровень природной и техногенной сейсмичности данной территории, сделать предварительную оценку влияния сейсмической активности территории на возникновение ЧС на участках разработки месторождений твердых полезных ископаемых.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы/ Под ред. Н.В. Шарова, А.А. Маловичко, Ю.К. Щукина// Кн.1: Землетрясения. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – 381 с.
2. Вестник ОГУ №1/ Январь, том 2. Естественные и технические науки, 2006 г.
3. Белов В.С. Геодинамические процессы в Восточной части Оренбургской области. // В.С. Белов, М.Ю. Нестеренко, Н.В. Зацепин, А.В. Цвяк / Успехи современного естествознания. 2020. №10. – 65-72 с.
4. Казахстанский Национальный Центр данных. [Электронный ресурс] URL: <https://www.kndc.kz> (дата обращения 02.02.2023 г.)

OBTAINING STATISTICAL DATA ON SEISMIC EVENTS IN THE EASTERN PART OF THE ORENBURG REGION

¹*Galeeva Elvira Rafisovna*, ²*Nesterenko Maxim Yurievich*, ²*Belov Vladimir Sergeevich*

¹*Orenburg State University, Orenburg*

²*Orenburg Federal Research Center of the UB RAS (Department of Geoecology), Orenburg*

¹*Galeevskoe@mail.ru*, ²*n_mu@mail.ru*

Summary. Statistical data on the seismic events that occurred in the eastern part of the Orenburg region were obtained from an electronic resource, the website of the Kazakhstan National Data Center. The data and their characteristics are necessary for further analysis in order to establish the actual seismicity of the territory, as well as to ensure the seismic safety of the population.

Keywords: catalog of seismic events, seismic activity, geodynamic monitoring.

УДК 551.465.15

О ЧИСЛЕННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕРМОГИДРОДИНАМИКИ И БИОГЕОХИМИИ УСТОЙЧИВО СТРАТИФИЦИРОВАННОГО ВОДОЕМА С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОГО ОПИСАНИЯ ТУРБУЛЕНТНОГО ПЕРЕНОСА

^{1,2,3}Гладских Дарья Сергеевна,

^{2,3,4}Мортиков Евгений Валерьевич, ⁵Островский Лев Аронович,

¹Троицкая Юлия Игоревна, ¹Соустова Ирина Анатольевна

¹ИПФ РАН, г. Нижний Новгород

²НИВЦ МГУ, г. Москва

³Московский центр фундаментальной и прикладной математики, г. Москва

⁴ИВМ РАН, г. Москва

⁵Колорадский университет в Болдере, США

^{1,2,3}daria.gladskikh@gmail.com, ^{2,3,4}evgeny.mortikov@gmail.com,

⁵ev.ostrovsky@gmail.com, ¹yuliyatrinity@mail.ru, ¹soustovai@mail.ru

Аннотация. В настоящей работе предложена, разработана и реализована трехмерная модель генерации, переноса и стока биогеохимических примесей (растворенных газов и твердого углерода) в устойчиво стратифицированных водоемах, дополняющая модель термогидродинамики, в основе которой лежит RANS-подход. Продемонстрирована роль модифицированного замыкания, учитывающего двустороннюю трансформацию кинетической и потенциальной энергий турбулентных пульсаций, в воспроизведении процессов турбулентного переноса импульса и скаляров. Показано, что модель корректно описывает протекающие в водном объекте физические и биогеохимические процессы, а полученные численные результаты согласуются с данными измерений.

Ключевые слова: турбулентность, устойчивая стратификация, градиентное число Ричардсона, турбулентное число Прандтля, углеродный цикл.

В настоящее время, несмотря на активное развитие методов и подходов к моделированию водных объектов, остается открытым вопрос об описании турбулентности в условиях устойчивой стратификации, и, как следствие, гидрологических, термогидродинамических и биогеохимических процессов, связанных с турбулентным перемешиванием и порождаемых им. Перенос турбулентными вихрями тепла, влаги, импульса и биохимических субстанций играет определяющую роль в формировании характеристик водоема. Водные объекты же и, в частности, водоемы суши являются важнейшими элементами многих природных ландшафтов. Процессы, протекающие в них, представляют, с одной стороны, самостоятельный интерес в рамках задач гидрологии и экологии, а с другой – являются важным аспектом в глобальных задачах метеорологии и климатологии, таких, как изучение климата Земли и оценки его изменений. При построении глобальных моделей необходим учет внутренних водоемов с точки зрения параметризации тепла, влаги и биохимических веществ в атмосферу. Также водоемы суши являются особым типом подстилающей поверхности при взаимодействии с атмосферой, что важно в мезомасштабных моделях. Помимо этого, озера и водохранилища играют роль и в жизнедеятельности населения в регионах, где они расположены, поэтому характеристики таких объектов и, в частности, мониторинг качества воды в конкретных водоемах также представляют интерес в рамках локальных задач экологической проблематики.

В работе предложена, разработана и реализована трехмерная модель генерации, переноса и стока биогеохимических примесей (растворенных газов и твердого углерода) в устойчиво стратифицированных водоемах, дополняющая модель термогидродинамики, в основе которой лежит RANS-подход [1-3]. Реализована возможность задания карты глубин реального водоема и данных атмосферного форсинга.

Ввиду объединения блоков динамики и биогеохимии обеспечивается воспроизведение моделью двусторонних связей, таких как вклад биопродуктивности за счет фотосинтеза в коэффициент экстинкции проникающей радиации. Для описания газообмена использована т.н. «модель обновления поверхности» [4], учитывающая турбулентные процессы, которые влияют на перемешивание около раздела воздух-вода. Входящий в нее член, отвечающий за диссиацию турбулентной кинетической энергии, рассчитывается из предложенного авторами модифицированного замыкания [5-6].

На основе $k-\epsilon$ -схемы с привлечением моделей, учитывающих двустороннюю трансформацию кинетической и потенциальной энергии турбулентных пульсаций, сконструирована модифицированная модель турбулентного переноса. Рассмотрены модель нестационарных турбулентных течений в стратифицированной жидкости Л.А. Островского и Ю.И. Троицкой [7], построенная на решении уравнения для функции распределения вероятности значений гидрофизических полей, и эквивалентная ей модель С.С. Зилитинкевича [8-9], в основе которой лежат балансные уравнения для энергий и потоков. Эти модели позволяют снять ограничения на существование турбулентности при больших числах Ричардсона, при этом зависимости $\Pr_T(Ri)$ в EFB-closure С.С. Зилитинкевича и в работе Л.А. Островского и Ю.И. Троицкой эквивалентны.

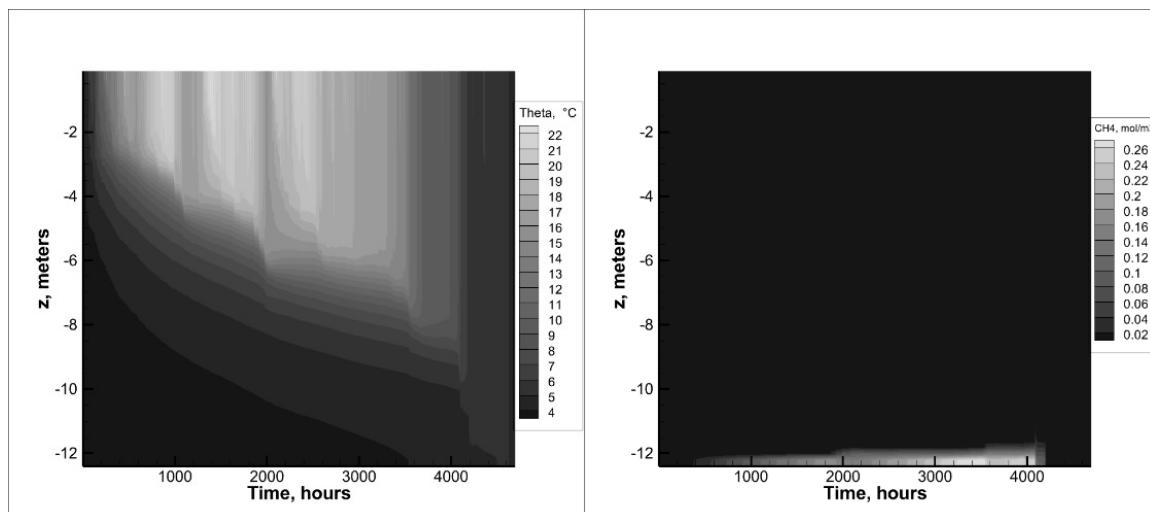


Рис. 1. Временной ряд распределения по глубине температуры (слева) и концентрации метана (справа) для озера Куйваярви в период с июня по октябрь 2013 г.

Уравнения модели описывают перенос, диффузию и реакции для растворенного и твердого углерода. Реакции включают в себя аэробное окисление метана; фотосинтез; дыхание; биохимическое потребление кислорода в водной толще и в донных отложениях; отмирание фито- и зоопланктона. Член, отвечающий за реакции, показывает, сколько молекул того или иного вещества пришло в раствор или ушло из него в результате той или иной реакции. Для описания реакций использовалась кинетическая модель Михаэлиса-Ментен как наиболее известной модели ферментативной кинетики, описывающей зависимость скорости реакции, катализируемой ферментом, от концентрации субстрата.

В рамках валидации модели проведено сравнение с данными измерений температуры, скорости и концентраций биогеохимических веществ на озере Куйваярви (Финляндия) на масштабе сезона. В качестве данных атмосферного форсинга, термического режима и концентраций использовались данные, полученные в 2013 году [10-12].

Показано, что модель корректно описывает протекающие в водном объекте физические и биогеохимические процессы, а полученные численные результаты согласуются с наблюдаемыми натурными характеристиками.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (23-27-00002).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gladskikh D.S., Stepanenko V.M., Mortikov E.V. The effect of the horizontal dimensions of inland water bodies on the thickness of the upper mixed layer // Water Resour. 2021. V. 48, N 2. P. 226–234.
2. Mortikov E.V. Numerical simulation of the motion of an ice keel in stratified flow // Izv. Atmos. Ocean.Phys. 2016. V. 52. P. 108-115.
3. Mortikov E.V., Glazunov A.V., Lykosov V.N. Numerical study of plane Couette flow: turbulence statistics and the structure of pressure-strain correlations // Rus. J. Num. Analysis Math. Mode
4. MacIntyre S., Jonsson A., Jansson M., Aberg J., Turney D.E., Miller S.D. Buoyancy flux, turbulence, and the gas transfer coefficient in a stratified lake // Geophys. Res. Lett. 2010. V. 37, N 24.
5. Соустова И.А., Троицкая Ю.И., Гладских Д.С., Мортиков Е.В., Сергеев Д.А. Простое описание турбулентного переноса в стратифицированном сдвиговом потоке применительно к описанию термогидродинамики внутренних водоемов // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2020. Т. 56, № 6. – С. 689-699.
6. Gladskikh, D.; Ostrovsky, L.; Troitskaya, Y.; Soustova, I.; Mortikov, E. Turbulent Transport in a Stratified Shear Flow. J. Mar. Sci. Eng. 2023, 11, 136.
7. Островский Л.А., Троицкая Ю.И. Модель турбулентного переноса и динамика турбулентности в стратифицированном сдвиговом потоке // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1987. № 3. – С. 1031-104.
8. Zilitinkevich, S.S., Elperin, T., Kleeorin, N., and Rogachevskii, I., “Energy- and Flux-Budget (EFB) turbulence closure models for stably-stratified flows. Part I: Steady-state, homogeneous regimes,” Boundary-Layer Meteorol., 2007, vol. 125, pp. 167–191.
9. Zilitinkevich, S.S., Elperin, T., Kleeorin, N., Rogachevskii, I., and Esau, I., “A hierarchy of Energyand Flux-Budget (EFB) turbulence closure models for stablyMortikov, E.V. Numerical simulation of the motion of an ice keel in stratified flow // Izv. Atmos. Ocean. Phys. 2016. V. 52. P. 108-115.
10. Heiskanen, J.J.; Mammarella, I.; Ojala, A.; Stepanenko, V.; Erkkilä, K.M.; Miettinen, H.; Sandström, H.; Eugster, W.; Leppäranta, M.; Järvinen, H.; et al. Effects of water clarity on lake stratification and lake-atmosphere heat exchange. J. Geophys. Res. Atmos. 2015, 120, pp.7412–7428.
11. Mammarella, I.; Nordbo, A.; Rannik, Ü.; Haapanala, S.; Levula, J.; Laakso, H.; Ojala, A.; Peltola, O.; Heiskanen, J.; Pumpanen, J.; Vesala, T. Carbon dioxide and energy fluxes over a small boreal lake in Southern Finland. J. Geophys. Res. Biogeosciences 2015, 120, pp.1296–1314.
12. Stepanenko, V.; Mammarella, I.; Ojala, A.; Miettinen, H.; Lykosov, V.; Vesala, T. LAKE 2.0: A model for temperature, methane, carbon dioxide and oxygen dynamics in lakes. Geosci. Model Dev. 2016, 9, pp.1977–2006.

ON NUMERICAL SIMULATION OF THERMOHYDRODYNAMICS AND BIOGEOCHEMISTRY OF A STABLE STRATIFIED WATER BODY USING A MODIFIED DESCRIPTION OF TURBULENT TRANSFER

^{1,2,3}**Daria Gladskikh**, ^{2,3,4}**Evgeny Mortikov**, ⁵**Lev Ostrovsky**,

¹**Yuliya Troitskaya**, ¹**Irina Soustova**

¹**IAP RAS, Nizhny Novgorod**

²**RCC MSU, Moscow**

³**Moscow Center for Fundamental and Applied Mathematics, Moscow**

⁴**INM RAS, Moscow**

⁵**University of Colorado, Boulder, USA**

^{1,2,3}**daria.gladskikh@gmail.com**, ^{2,3,4}**evgeny.mortikov@gmail.com**,

⁵**ev.ostrovsky@gmail.com**, ¹**yuliyatrinity@mail.ru**, ¹**soustovai@mail.ru**

Summary. In this paper a three-dimensional model for the generation, transport, and sink of biogeochemical impurities (dissolved gases and solid carbon) in stably stratified water bodies is proposed. It complements the thermohydrodynamic model based on the RANS approach. The role of the modified closure, which takes into account the two-way transformation of the kinetic and potential energies of turbulent fluctuations, is demonstrated in the description of the processes of turbulent transfer of momentum and scalars. It is shown that the model correctly describes the physical and biogeochemical processes occurring in the water body, and the obtained numerical results are consistent with the measurement data.

Key words: turbulence, stable stratification, gradient Richardson number, turbulent Prandtl number, carbon cycle.

УДК 52-334.7+550.838.4+902/904

МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ МАТЕРИАЛА ДРЕВНЕМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ГОРНОВ ПРИОЛЬХОНЬЯ

¹Денисюк Евгения Александровна, ¹Кокодей Диана Юрьевна,

²Снопков Сергей Викторович

¹ИРНИТУ, г. Иркутск

²Сибирская школа геонаук ИРНИТУ, г. Иркутск

¹denisyuk@geo.istu.edu, ¹dkokodey@gmail.ru, ²snopkov_serg@mail.ru

Аннотация. Исследована магнитная восприимчивость глинистых материалов с древних металлургических горнов Приольхонья (Западное Прибайкалье). Изучались четыре группы материалов: неизмененные породы, прокаленные и спеченные породы стенок горнов, спеченная обмазка горнов, оплавленная обмазка горнов. По результатам измерений построены гистограммы распределения свойств по каждой группе. Анализ гистограмм показал, что в зависимости от степени температурного воздействия «прокал – спечение – оплавление» происходит увеличение магнитной восприимчивости. Сравнение содержания железа в глинах с магнитной восприимчивостью также подтвердили выводы.

Ключевые слова: каппаметрия, магниторазведка, древние железовосстановительные горны, воздействие температуры.

Приольхонье (Западное Прибайкалье) является районом, где в древности происходило получение железа. В настоящее время, обнаружено более 60 памятников древней металлургии. Для данного горно-металлургического района выявлено несколько периодов активизации железоделательного производства. Наиболее детально изучены металлургические центры раннего железного века и средневековья [2].

Основным методом обнаружения археологических памятников, связанных с древней металлургической деятельностью, является магниторазведка [1]. В магнитном поле подобные памятники отражаются контрастными положительными аномалиями, за счет того, что отходы металлургического производства и элементы конструкции металлургических горнов имеют повышенные магнитные свойства. Для повышения качества интерпретации результатов измерения магнитного поля важно знать магнитные свойства вмещающих пород и продуктов металлургической деятельности, а также понимать факторы и причины, влияющие на их изменения.

Основными материалами (артефактами), остающимися от металлургического производства, являются железосиликатные шлаки, прокаленные глинистые породы (пелиты) стенок горнов и фрагменты глиняной обмазки горнов. Последние могут быть представлены в виде спеченных или оплавленных (ошлакованных) агрегатов. Термически преобразованные пелиты являются наиболее важными материалами для понимания природы магнитных аномалий, так как шлаки после окончания процесса получения железа выгребались из горна и сохраняются в виде разнообразных скоплений. Прокаленные пелиты, в основном, остаются на своем месте, так как представляют собой стенки горнов. Кроме того, большая часть горнов после окончания производства консервировалась путем закладки рабочей камеры кусками обмазки.

Целью исследования было изучение диапазона и характера изменения магнитной восприимчивости пелитов, спеченных и оплавленных в процессе получения железа древними металлургами Приольхонья.

Для достижения цели было проведено изучение изменчивости магнитных свойств артефактов с разных археологических памятников и с разной степенью температурного воздействия; характера зависимости магнитной восприимчивости от степени температурного воздействия; взаимосвязи содержания железа в артефактах и магнитную восприимчивость.

Магнитная восприимчивость измерялась на образцах температурноизмененных пелитов с 4 археологических памятников: Барун-хал-2, Курминское озеро-1, Черноруд-2, Онтхэ-2. Первые два объекта относятся к раннему железному веку, два последних – к средневековью. Кроме того, были использованы данные о магнитной восприимчивости стенок горнов и вмещающих пород на этих памятниках, измеренных ранее. Для большинства образцов измерения производились по внутренней и внешней стенке отдельно. Измерения проводились каппаметром КТ-5. Всего было выполнено более 300 измерений. Кроме того, на 36 образцах обмазки с памятников Барун-хал-2 и Курминское озеро-1 были проведены определения химического состава методом рентгенофлуоресцентной спектрометрии с помощью настольного энергодисперсионного спектрометра CTX800 (Bruker, Германия). Измерения проводились в лаборатории геологического факультета ИГУ.

По данным измерения магнитной восприимчивости были построены гистограммы по изучаемым памятникам, отдельно по четырем группам образцов: вмещающие глинистые породы, прокаленные пелиты стенки горнов, спеченные пелиты обмазки горнов, оплавленные и ошлакованные пелиты обмазки горнов.

По полученным данным видно, что при повышении температурного воздействия на пелиты происходило изменение их магнитных свойств. Если каппа вмещающих пород не превышает 1 милиед. Си, то у спеченных пелитов она повышается до 2,7–6,7 милиед.Си. Плавление и ошлакование пелитов приводит к повышению магнитной восприимчивости до 11 и более милиед.Си.

Этот процесс хорошо виден по результатам измерения магнитной восприимчивости на двух сторонах образцов обмазки. Для оплавленной и ошлакованной стороны каппа заметно выше по сравнению со спеченной.

По данным химического анализа вещества образцов обмазки была изучена взаимосвязь содержания железа и магнитной восприимчивости. Для всей совокупности измерений коэффициент корреляции составил 0,44. Но при внимательном рассмотрении данных выяснилось, что все значения разделяются на две группы: спеченные и оплавленные пелиты. На диаграмме (рис. 1) видно, что обе группы имеют разную зависимость анализируемых параметров. При разделении образцов по группам коэффициенты корреляции повышаются до 0,85 и 0,9.

Полученные данные о магнитной восприимчивости неизмененных, спеченных и оплавленных глинистых пород с памятников древней металлургии Приольхонья выявили сложный характер распределения магнитной восприимчивости для пелитов подвергшихся нагреванию. Также, обнаружено, что при плавлении глинистых материалов происходит увеличение магнитной восприимчивости. Несмотря на то, что у всех типов пелитов магнитная восприимчивость напрямую зависит от содержания железа, характер зависимостей этих двух параметров значимо различается.

В целом, результаты исследования показали, что магнитная восприимчивость измененных глинистых пород имеет широкий диапазон и сложный характер изменения, который необходимо учитывать при построении физико-геологических моделей и проведении магниторазведочных работ.

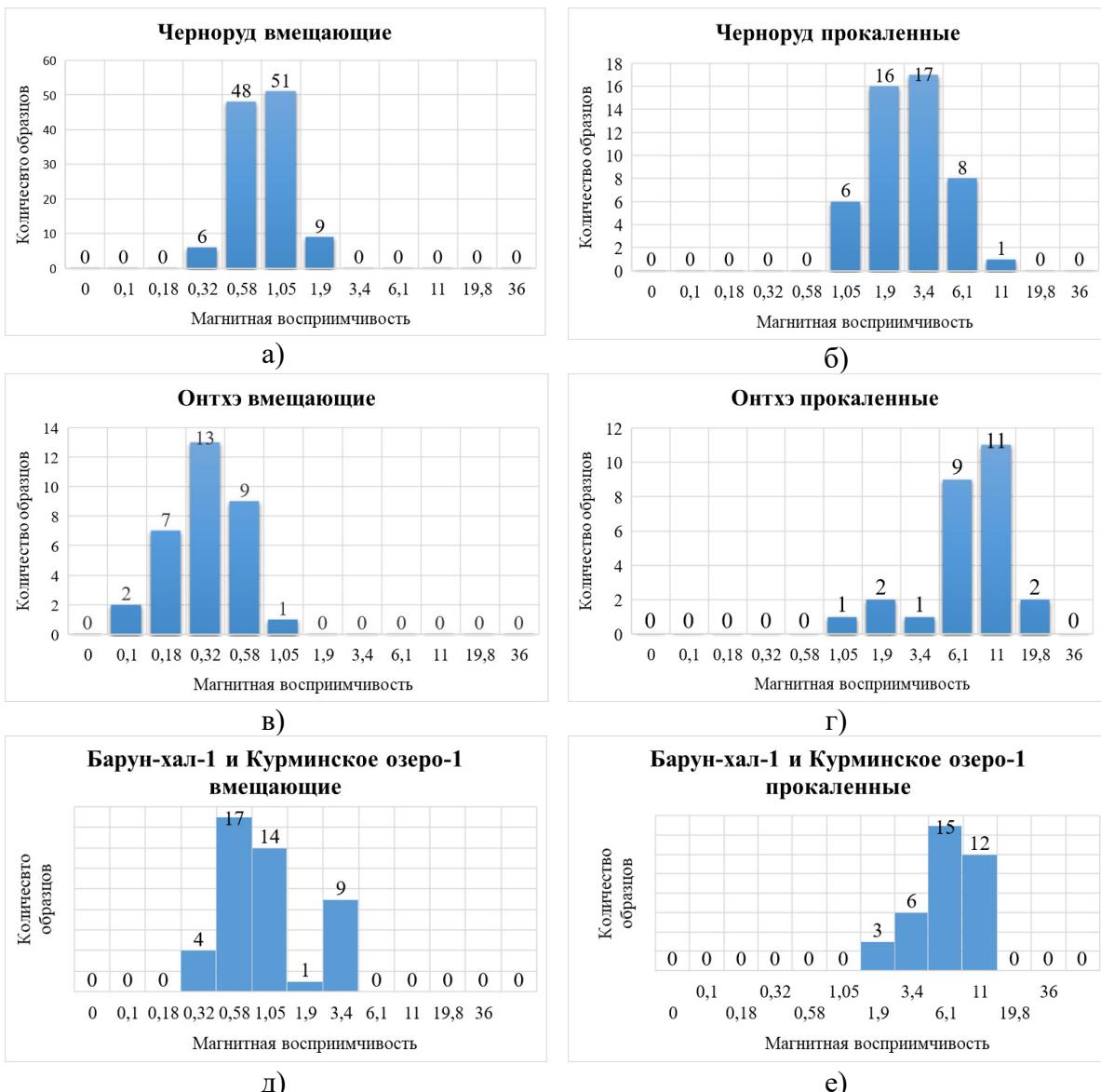


Рис. 1. Распределение магнитной восприимчивости для неизмененных и прокаленных пелитов археологических памятников Черноруд-2 (а,б), Онтхэ-2 (в,г), Барун-хал-1 и Курминское озеро-1 (д,е). а,в,д – неизмененные породы; б,г,е – прокаленные породы

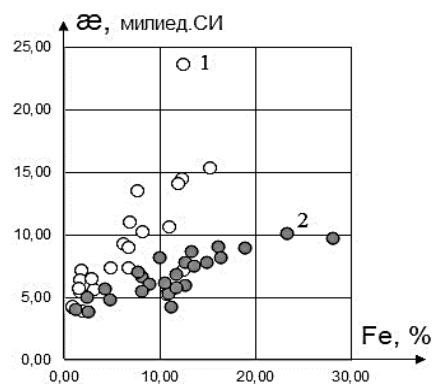


Рис. 2. Распределение магнитной восприимчивости и железа (Fe) для неизмененных и прокаленных пелитов археологических памятников 1) Барун-хал-1 и 2) Курминское озеро-1

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Снопков С.В. Использование геофизических и геохимических методов при изучении памятников древней металлургии Приольхонья. // Вопросы Естествознания. Научный журнал. № 4 (12), 2016. – С. 99-102.
2. Снопков С.В., Харинский А.В. Металлургические горны Приольхонья // Древние культуры Монголии и Байкальской Сибири: Материалы III Международной научной конференции (Улан-Батор, 5-9 сентября 2012 г.). - Улан-Батор: Изд-во Монг. гос. ун-та, 2012. Вып.3. – С. 241-246.

MAGNETIC SUSCEPTIBILITY OF THE MATERIAL OF THE ANCIENT METALLURGICAL FORGE OF THE PRIOLKHONYE

¹*Denisyuk Evgeniya Alexandrovna*, ²*Kokodey Diana Yuryevna*,

³*Snopkov Sergey Viktorovich*

¹*INRTU, Irkutsk*

²*SSG INRTU, Irkutsk*

¹*denisyuk@geo.istu.edu*, ²*dkokodey@gmail.ru*, ²*snopkov_serg@mail.ru*

Summary. The magnetic susceptibility of clay materials from the ancient metallurgical furnaces of the Priolkhonye (Western Baikal region) has been investigated. Four groups of materials were studied: unchanged rocks, calcined and sintered rocks of the walls of the furnaces, sintered coating of the furnaces, melted coating of the furnaces. Based on the measurement results, histograms of the distribution of properties for each group are constructed. The analysis of histograms showed that, depending on the degree of temperature exposure to "piercing – melting", an increase in magnetic susceptibility occurs. Comparison of the iron content in clays with magnetic susceptibility also confirmed the conclusions.

Key words: kappametry, magnetic prospecting, ancient iron-restoring furnaces, the effect of temperature.

УДК 551.243+550.8.04

ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДЧЕРЕМ-КАМЕНСКОГО РАЗЛОМА ПЕЧОРО-КОЛВИНСКОГО АВЛАКОГЕНА

*Езимова Юлия Евгеньевна
ИГ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
ezimova89@mail.ru*

Аннотация. В статье представлены результаты профильных геофизических исследований в крест простирания Подчерьем-Каменского разлома, которые включают магнитометрические и радоновые наблюдения. Результаты показали, что разломная зона не отображается в локальном магнитном поле, но проявляется в поле почвенного радона областью минимальных значений объемной активности радона. Это позволяет использовать радоновую съемку для уточнения местоположения тектонического нарушения на участках, где отсутствуют данные других геофизических методов.

Ключевые слова: разлом, радон, магнитное поле, геофизические исследования, объемная активность радона.

Печоро-Колвинский авлакоген – это надпорядковая инверсионная структура Тимано-Печорской плиты, имеющая размеры в пределах суши 700x60-20 км и протягивающаяся в акваторию Печорского моря. Граница авлакогена на западе проводится по Чаркаю-Пылемецкому и Подчерьем-Каменскому разломам, которые по данным сейсморазведки представляют собой сложнопостроенную зону с большими вертикальными амплитудами смещения крыльев. Чаркаю-Пылемецкий разлом вместе с Илыч-Чикшинским образуют систему, которая упоминается в литературе как Припечорская. Подчерьем-Каменский разлом северо-западного простирания отделяет Печоро-Колвинский авлакоген на юго-востоке от структур [1, 5] Предуральского краевого прогиба (рис. 1).

Район работ располагается в зоне тройного сочленения Ижма-Печорской синеклизы, Печоро-Колвинского авлакогена и Предуральского краевого прогиба, что на временных разрезах прослеживается в виде широкой полосы (2-5 км) смещения, разрывов или потери корреляции трассируемых отражающих горизонтов. По кинетическому типу Подчерьем-Каменский разлом в байкальском складчатом фундаменте и нижнепалеозойской толще является сбросом. Вверх по разрезу разлом приобретает черты взброса, подходящего близко к «дневной» поверхности (рис. 2а). Помимо основного сместителя разлома выделяются второстепенные дизъюнктивы сбросового типа, секущие весь осадочный чехол.

В работе представлены результаты радиометрических и магнитометрических наблюдений по двум профилям, пересекающим северную часть Подчерьем-Каменского разлома.

Методика проведения магнитометрических и радиометрических наблюдений подробно описывается в других работах автора [2, 3, 4].

Профили Б-Б' и В-В' длиной 11 км каждый, отработаны вблизи месторождений углеводородов, которые приурочены к терригенным породам [1] среднего и верхнего девона, выходящих на поверхность по разломам (рис. 1).

Профиль Б-Б' пересекает Северо-Кожвинское месторождение нефти. Подчерьем-Каменский разлом на данном участке не прослежен из-за отсутствия сейсморазведочных

данных. Поэтому разломы здесь выделяются условно согласно сейсмическим профилям, наиболее близко расположенным к участку работ. Профиль В-В' отработан вблизи Кыртаельского и Южно-Кыртаельского месторождений нефти и газа.

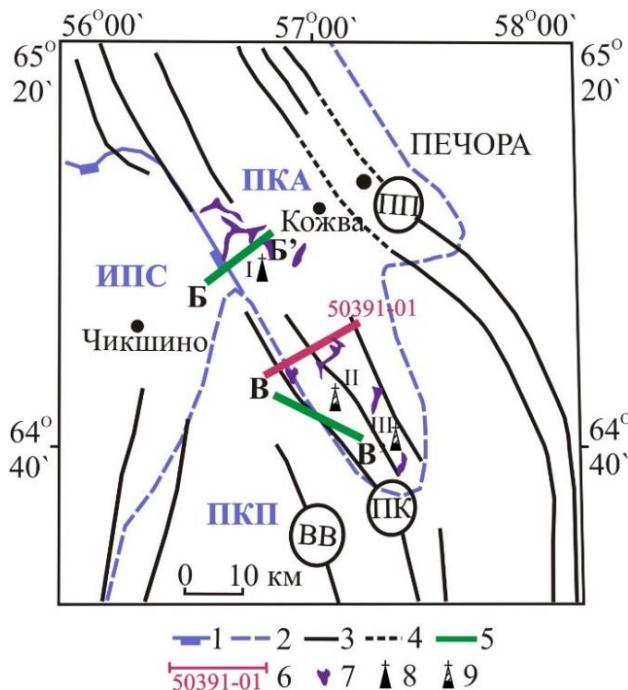


Рис. 1. Схема района проведения геофизических исследований через Подчерьем-Каменский разлом: 1 – границы крупнейших (надпорядковых) структур: ИПС – Ижма-Печорская синеклиза, ПКА – Печоро-Колвинский авлакоген, 2 – границы плит и складчатых областей с единым временем становления континентальной коры: ПКП – Предуральский краевой прогиб, 3 – разломы, выделенные Удоратиным В.В., Езимовой Ю.Е. по материалам ПГО «Печорагеофизика»; ПК – Подчерьем-Каменский, ВВ – Вуктыльско-Войвожский, ПП – Печорогородско-Переборский, 4 – предполагаемые разломы, 5 – профили радионометрической съемки, 6 – сейсмические профили, 7 – выходы доплиоценовых образований; месторождения: 8 – нефти: I – Северо-Кожвинское, 9 – нефти и газа: II – Кыртаельское, III – Южно-Кыртаельское

Результаты магнитометрических наблюдений показали, что Подчерьем-Каменский разлом и ответвляющиеся от него второстепенные разломы не проявляются в локальном магнитном поле масштаба 1:5000 (рис. 2б, г). Кривые на графике повторяют результаты, снятые с карты масштаба 1:200000, то есть отображают изменения рельефа поверхности складчатого фундамента, поскольку осадочные образования являются практически не магнитными.

В ходе радиометрических наблюдений зоны аномальных значений объемной активности радона (OAP) [6] определялись по формуле (1):

$$Q = Q_{cp} + \sigma \quad (1)$$

где Q_{cp} – среднее значение ОАР по профилю, σ – стандартное отклонение от среднего значения. Результаты исследований, выполненных в течение двух полевых сезонов, демонстрируют, что максимальные значения ОАР по профилям достигают 1000-1100 $\text{Бк}/\text{м}^3$ при фоновых – 100-200 $\text{Бк}/\text{м}^3$. Ширина радоновых аномалий составляет 500-1500 м. Подчерьем-Каменский разлом соответствует области фоновых значений ОАР шириной 4-5 км. Пики ОАР регистрируются по бокам от разлома вблизи выходов коренных терригенных средне-верхнедевонских пород. По профилю Б-Б' максимумы ОАР приурочены к второстепенным разрывным нарушениям. Таким образом, представленное

распределение почвенного радона вдоль линии профилей Б-Б' и В-В' указывает на то, что ядро Подчерьем-Каменского разлома заполнено плотными непроницаемыми породами, вследствие чего газ выходит через ослабленные зоны по бокам от него.

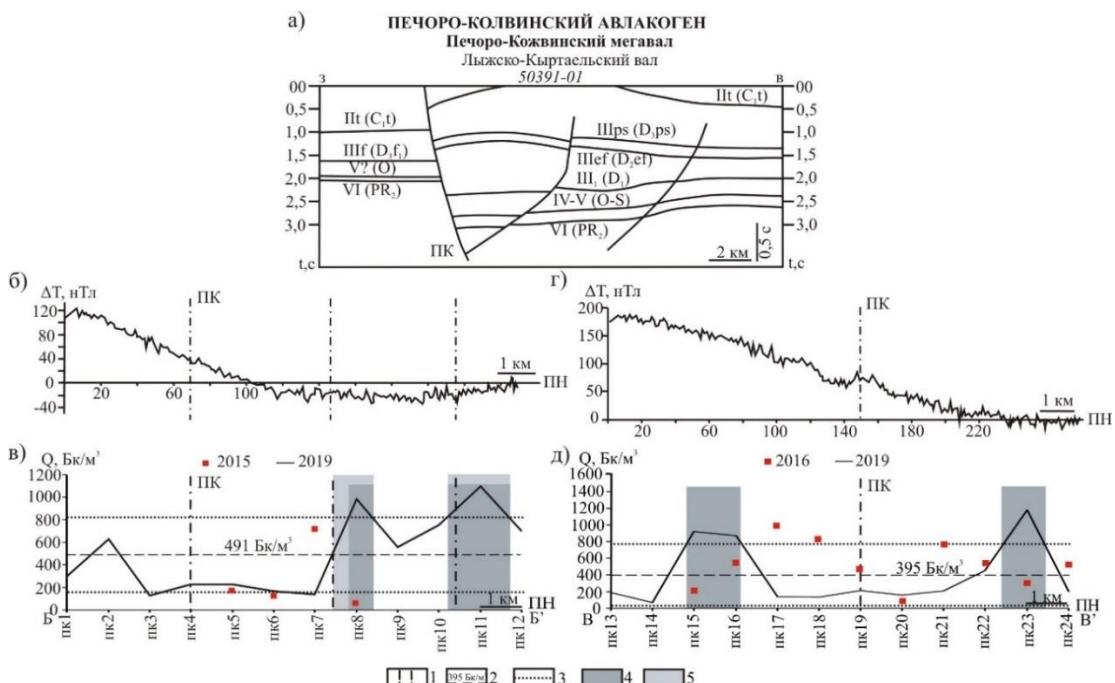


Рис. 2. а) – Сейсмологогический разрез через Подчерьем-Каменский разлом по профилю 50391-01 (составила Езимова Ю.Е. по материалам ПГО «Печорагеофизика»); б) – График изменения геомагнитного поля по профилю Б-Б'; в) – График изменения геомагнитного поля по профилю В-В'; г) – График изменения ОАР по профилю Б-Б'; д) – График изменения ОАР по профилю В-В'. 1 – разломы, выделенные по сейсмическим данным, 2 – среднее значение ОАР по профилю, 3 – уровни $Q_{cp} \pm \sigma$, где σ – стандартное отклонение, 4 – области профиля с аномальными значениями ОАР в почвенном воздухе, 5 – предполагаемая граница радионовой аномалии, связанная с разломом; местоположение профилей см. рис. 1

Геолого-геофизические исследования показали, что Подчерьем-Каменский разлом отчетливо прослеживается на временных разрезах в виде широкой зоны потери корреляции отражающих горизонтов. В локальном магнитном поле разломные зоны не прослеживаются. В поле почвенного радона Подчерьем-Каменский разлом соответствует широкой области минимальных значений ОАР, что указывает на заполнение ядра разлома плотными осадочными породами. При этом ширина разломной зоны в поле радона практически совпадает с ее шириной по сейсмическим данным. В приразломных месторождениях углеводородов дополнительное влияние на вынос радона к поверхности могут оказывать миграция нефти и газа, что объясняет достаточно высокие значения ОАР по профилю. Таким образом, радоновая съемка позволяет выделять разломные зоны, близко подходящие к «дневной» поверхности на участках, где отсутствуют или являются не информативными материалы других более точных геофизических методов, таких как сейсморазведка, магниторазведка и др.

Автор выражает огромную благодарность своему научному руководителю к.г.-м.н. В.В. Удоратину за помощь в проведении полевых исследований и рекомендации по написанию представленных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белякова Л.Т., Богацкий В.И., Богданов Б.П., Довжикова Е.Г., Ласкин В.М. Фундамент Тимано-Печорского нефтегазоносного бассейна. Киров: Кировская областная типография, 2008. – 228 с.
2. Езимова Ю.Е., Удоратин В.В., Магомедова А.Ш. Закономерности проявления разломов Печоро-Колвинского авлакогена в поле радона // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2022. №67(1). – С. 20–49.
3. Езимова Ю.Е., Удоратин В.В., Магомедова А.Ш. Детальные геофизические исследования Ильич-Чикшинской системы разломов (Ижма-Печорская моноклиналь) // Литосфера. 2022. Т. 22. № 4. – С. 536–547.
4. Езимова Ю.Е., Удоратин В.В., Магомедова А.Ш., Конанова Н. Магнитометрические исследования Локчимской гравитационной аномалии (Корткеросский район, Республика Коми) // Структура, вещества, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента. Материалы 31-й научной конференции Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 22-24 ноября 2022 г. Сыктывкар: Геопринт, 2022. – С. 42–45.
5. Прищепа О.М., Богацкий В.И., Макаревич В.Н., Чумакова О.В., Никонов Н.И., Куранов А.В., Богданов М.М. Новые представления о тектоническом и нефтегазогеологическом районировании Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2011. Т.6. № 4. – С. 1–32.
6. King Chi-Yu, Zhang Wei, King Bi-Shia. Radon anomalies on three kinds of faults in California // Pure and applied geophysics. 1993. No. 141. P. 111–124.

GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL STUDIES OF THE PODCHEREM-KAMENSKY FAULT OF THE PECHORA-KOLVINSKY AVLAKOGEN

*Ezimova Yuliya Evgen'evna
IG FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar
ezimova89@mail.ru*

Summary. The article presents the results of profile geophysical studies across the Podcherem-Kamensky fault, which include magnetometric and radon observations. The results showed that the fault zone is not displayed in the local magnetic field, but is manifested in the field of soil radon by the region of the minimum volumetric radon activity values. This makes it possible to use radon survey to clarify the location of a tectonic disturbance in areas where there is no data from other geophysical methods.

Key words: fault, radon, magnetic field, geophysical studies, volumetric radon activity.

УДК 550.34.097

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА SEISAN ДЛЯ РАСЧЕТА ДОБРОТНОСТИ ЛИТОСФЕРЫ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

*Зверева Анастасия Сергеевна
ФИЦ ЕГС РАН, г. Пермь
zvereva.as59@gmail.com*

Аннотация. Под руководством профессора Хавского (Prof. Havskov) начат процесс внедрения программного комплекса SEISAN в практику обработки и интерпретации сейсмологических данных Северного Кавказа. Создана программа GSRNOR для составления базы данных событий Северного Кавказа. С помощью программы GSRNOR в базу SEISAN были занесены данные 6210 землетрясений Северного Кавказа с 2013 по 2022 гг. Создание единой базы данных в ФИЦ ЕГС РАН, позволило применить программу CodaQ для получения интегральных оценок частотно-зависимой добротности в целом для всего региона.

Ключевые слова: Северный Кавказ, добротность среды, затухание, SEISAN

Исследование затухания сейсмических волн в литосфере территории Северного Кавказа в Федеральном исследовательском центре Геофизической службе РАН (ФИЦ ЕГС РАН) проводятся, начиная с 2017 г. Затухание волны обычно выражается через безразмерный параметр, который и называется добротностью среды Q . Исследование затухания сейсмических волн с расстоянием дает фундаментальную информацию о неупругости и рассеивающих свойствах литосферы в конкретном регионе, а также необходимо для фундаментальных и прикладных задач сейсмологии, таких как расчет очаговых спектров, сейсмической энергии, сейсмических моментов и иных очаговых параметров землетрясений, для моделирования возможных сильных движений грунта и пр. До настоящего времени все эти исследования проводились для отдельных сейсмических станций и записей наиболее сильных землетрясений, а также с использованием разного программного обеспечения и методики. Таким образом, в ФИЦ ЕГС РАН начиная с 2020 г. ведутся работы по внедрению программного комплекса SEISAN [10] для обработки и интерпретации землетрясений Северного Кавказа.

Данные работы были начаты под руководством и непосредственным участием профессора Хавского (Prof. Havskov), одного из основных разработчиков. Программный комплекс SEISAN для обработки сейсмологических данных используется уже 30 лет и представляет собой набор программ, которые помогают выполнять задачи от базовой обработки землетрясений до более сложных продвинутых сейсмологических исследований. Выбор данного комплекса обусловлен наличием в его составе программы для расчета частотно-зависимой добротности среды CodaQ, удобной в использовании и нашедшей широкое применение в работах других исследователей [3,8,9,13].

В SEISAN информация о сейсмических событиях хранится в базе данных, в структуре, состоящей из папок и файлов, каждое отдельное событие задается одним файлом в формате Nordic [10], который имеет название S-файл. S-файл содержит параметрические данные такие как время в очаге, местоположение гипоцентра, магнитуды, ошибки локации, а также ссылку на местоположение файла соответствующих волновых форм. Остальные метаданные, такие как волновые формы, координаты сейсмических станций, калибровочные данные с амплитудно-частотными характеристиками аппаратуры могут

быть заданы в различных форматах.

Главной задачей для начала работы в SEISAN с событиями Северного Кавказа стало создание общей базы данных и подготовка остальных метаданных. Рутинная обработка данных Северного Кавказа в ФИЦ ЕГС осуществляется в программе WSG [1], для определения параметров гипоцентров землетрясений используется программа HYPO71 [11] с заданной скоростной моделью земной коры для Западного Кавказа по [5], волновые формы в формате CSS 3.0, а файлы с АЧХ аппаратуры в SAC.

Для конвертации данных из формата, используемого в ФИЦ ЕГС РАН в Nordic совместно с профессором Хавсковым (Prof. Havskov) была создана программа GSRNOR для SEISAN [12]. Программа использует три входных файла:

1. Выходной файл бюллетеня события из программы HYPO71 в формате bin, включающий в себе: время прихода волн с весом фазы, локация, магнитуду MPVA, номер используемой скоростной модели, полярность и ошибки локации.

2. Выходной файл из программы WSG со списком фаз в формате arr: этот файл имеет амплитуды P и S волн и AML для расчета локальной магнитуды M_L в единицах μkm^*100 , ML для каждой станции (используется для расчета среднего значения M_L) и коды компонент. Замер амплитуд AML в программе WSG проводится на записях с фильтрацией подобной частотному отклику стандартного сейсмографа Вуда–Андерсона.

3. Файл filenr.lis со списком названий соответствующих файлов волновых форм. Файл должен иметь названия волновых форм в формате SEISAN, которые используются для сравнения времени начала файла со временем начала события. Он также должен содержать правильные названия кодов компонент. Это можно сделать с помощью программы WAVFIX, также входящий в SEISAN. Два первых входных файла должны быть в хронологическом порядке и содержать одни и те же события, иначе программа остановится. Это проверяется путем сравнения времени вступления P-волн в двух файлах, и если есть различия, то программа останавливается с сообщением об ошибке. Программа сначала читает файл из HYPO, а затем arr и объединяет их, затем записывается название волновых форм. Название вставляется если время начала имени файла волновых форм находится в пределах xx секунд от времени в очаге. По умолчанию время xx задано 600 с, но пользователь может выбрать любое значение.

Если событие имеет нулевую глубину, оно считается взрывом и помечается буквой E в столбце 23 в строке заголовка. Номер скоростной модели, если он имеется в файле HYPO, указывается в столбце 21 в строке заголовка. Энергетический класс K_p (по Раутиан) указан в строке комментария. В качестве названия агентства значится GS (Geophysical Survey – Геофизическая служба), и запрашивается имя оператора. Пример выходного файла представлен на рисунке 1.

С помощью программы GSRNOR в базу SEISAN были занесены данные 6210 землетрясений Северного Кавказа с 2013 по 2022 гг. параметры гипоцентров которых были определены по данным сетей региональных сейсмических станций ФИЦ ЕГС РАН: Северо-Осетинского филиала (NOGSR), Дагестанского филиала (DAGSR) и Центрального отделения (OBGSR) [2]. Для каждого из событий, занесенных в базу, были записаны файлы с волновыми формами в формате miniSEED. Калибровочные файлы с АЧХ сейсмических станций были приведены в соответствие с требованиями SEISAN и записаны в соответствующую директорию.

Создание единой базы данных в ФИЦ ЕГС РАН, позволило применить программу CodaQ для получения интегральных оценок частотно-зависимой добротности в целом для всего региона. В основе программы лежит метод огибающих кода-волн, где оценивается уменьшение их амплитуды на записях локальных и региональных землетрясений [7, 6], а полученная добротность имеет название добротность по коде волны Q_c (Coda Q).

Программа вычисляет добротность по коду Q_c для ряда событий и станций на заданных значениях центральной частоты. По завершении рассчитываются средние значения на основании частотно-зависимой степенной функцией $Q_c(f)$. Расчет является стандартным для метода огибающих, при котором выбранное окно код-волн фильтруется в заданной полосой пропускания (рис 2), строится огибающая и вычисляется Q_c на соответствующей частоте. Подробная методика вычисления Q_c в SEISAN представлена в работе [9].

```

2020 9 1 1738 58.26L 44.010 39.302 10.5 GS 4 .33 2.1LGS 2.1 GS 2.1LGS 1
GAP=237 2.6 2.6 1.1 E
2020 9 1 1738 58.2 L 44.010 39.302 10.5 ORG 4 .33 2.1LORG 2.1 ORG 1
2020-09-01-1736-59M.TEST_.012 6
Magnitude Mp: 2.1 3
Energy class: 5.3 3
ACTION:H71 20-11-09 18:57 OP:jh STATUS: ID:20200901173858 I
STAT SP IPHASW D HRMM SECON CODA AMPLIT PERI AZIMU VELO AIN AR TRES W DIS CAZ7
GOYR EZ EP 3 1739 4.38 0.830 26.9 13
GOYR EN IS 1 1739 7.22 -.220 26.9 13
GUZR SZ IP 0 1739 10.43 0.250 65.6 91
GUZR SN IS 1 1739 18.83 -.080 65.6 91
VSLR EZ IP 1 1739 13.12 -.420 84.9 136
VSLR EN ES 2 1739 24.98 0.250 84.9 136
GRYR EZ IP 1 1739 22.90 -.020 144 85
GRYR EN IS 1 1739 40.52 -.430 144 85
GOYR EZ AMP-P 1739 6.38 40.0 0.72 26.9 13
GOYR EN IAML 1739 6.57 150.0 0.92 26.9 13
GOYR EE AMP-S 1739 9.22 160.0 0.62 26.9 13
GUZR SZ AMP-P 1739 12.44 10.0 0.20 65.6 91
VSLR EZ AMP-P 1739 15.13 30.0 0.78 84.9 136
GUZR SN IAML 1739 18.19 50.0 0.32 65.6 91
GUZR SN AMP-S 1739 20.83 50.0 0.48 65.6 91
GRYR EZ AMP-P 1739 24.91 10.0 0.30 144 85
VSLR EE AMP-S 1739 26.98 80.0 0.44 84.9 136
VSLR EE IAML 1739 26.20 90.0 0.36 84.9 136
GRYR EE IAML 1739 39.66 40.0 0.28 144 85
GRYR EE AMP-S 1739 42.53 40.0 0.30 144 85

```

Рис. 1. Пример выходного S-файла после работы программы GSRNOR

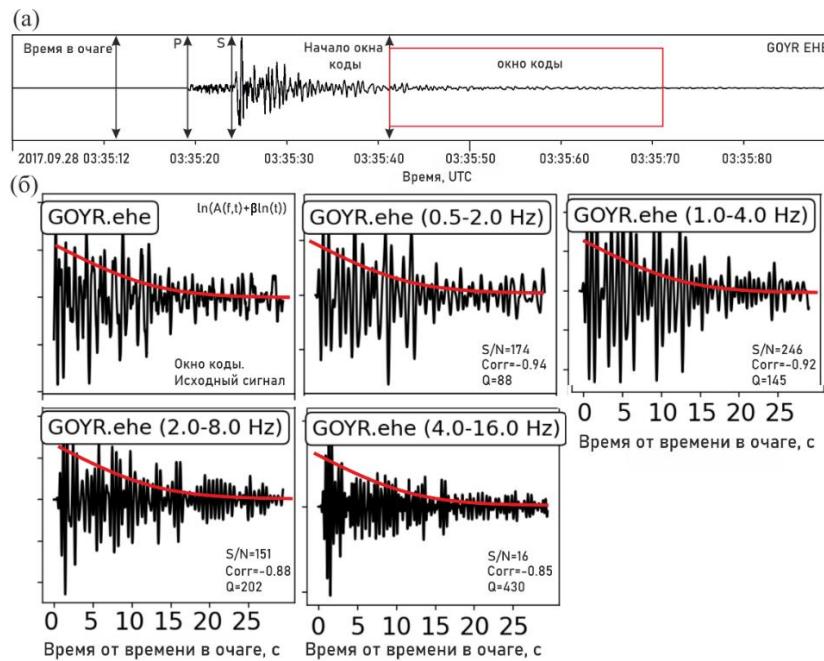


Рис. 2. Пример процесса обработки данных для расчета Q_c :

- а) – Волновые формы исходного нефильтрованного сигнала с указанием времен прихода Р и S волн, времени в очаге и начала окна коды;
- б) – Выбранное окно уменьшения амплитуды кода-волн исходного сигнала и в различных фильтрах, с построенными огибающими и рассчитанными значениями отношения сигнала к шуму (S/N), коэффициента корреляции (Corr) и собственно добротности (Q).

На рисунке 3 представлен пример файла codaq.par с оптимальным набором параметров для расчета [9, 12]:

start in s-times – время начала окна коды относительно времени вступления S-волны. Обычно считается, что окно коды начинается не раньше, чем двойное время прихода S-волны от времени в очаге [6];

absolute start time (sec) – время начала окна коды относительно времени в очаге в секундах. Если абсолютное время начала меньше, чем время, определяемое параметром Start in s-times, то данная станция не будет использована в расчете;

window length (sec) – длина окна коды в секундах;

spreading parameter – геометрическое расхождение;

constant v in $Q=Q_0 \cdot f^{\alpha} \cdot v$ – Для всех значений $Q(f)$, Q_0 рассчитывается с использованием фиксированного значения v . Этот параметр не влияет на индивидуальные расчеты Q ;

minimum signal to noise ratio – минимальное отношение сигнала к шуму;

Noise window in front of signal and length of RMS noise window – первое число – это количество секунд шума, отображаемых перед сигналом, второе число это длительность окна шума, используемого для расчета отношения сигнал/шум;

minimum correlation coefficient – для расчета Q коэффициент корреляции наклона огибающей с прямой должен быть равен или быть больше заданного значения. Значения корреляции в действительности отрицательны, но на практике упоминаются как положительные;

maximum counts to use – отсчетов в окне с кода-волной выше заданного то окно не используется. Цель состоит в том, чтобы избежать использования обрезанных значений;

number of frequencies and number of octaves (optional) – количество используемых частот, максимум 10. Также можно задать количество октав для фильтра, тогда все фильтры будут иметь одинаковую полосу пропускания;

frequencies and bands (optional if octave given) – соответствующие центральные частоты и полосы частот;

station(1.line), 50a5, blank line is no default, 2.line is components, 50(a4,1x) – если не заданы значения, то по умолчанию используются все события и компоненты из файла codaq.inp. В первой строке можно задать необходимые коды сейсмических станций, а во второй коды компонент.

В результате работы программы CodaQ рассчитываются значения Q_c для каждой сейсмостанции и центральной частоты, используя частотно-зависимую степенную аппроксимацию $Q_c = Q_0 \cdot f^{\alpha}$. Первый опыт успешного применения программы был проведен для территории Северо-Западного Кавказа [14] где по 267 землетрясениям и 17 станциям из сети ФИЦ ЕГС РАН было получено среднее частотно-зависимое отношение $Q_c = 90 \pm 21 \cdot f^{1.02 \pm 0.11}$. Это первое исследование Q_c для региона с использованием такого большого набора данных.

Полученное значение добротности $Q(f)$ позволило корректно рассчитать очаговые спектры, таким образом, впервые для территории Северо-Западного Кавказа был выполнен расчет спектральных и динамических параметров очагов региональных сейсмических событий [4]. Полученные в результате этого значения сейсмических моментов M_0 позволили рассчитать моментные магнитуды M_w для 40 землетрясений.

В настоящее время продолжается процесс пополнения базы данных SEISAN текущими событиями. В перспективе планируется проведение полной рутинной обработки событий непосредственно в SEISAN, пользуясь утилитами локации, построением механизма очага, спектров и расчета спектральных параметров и магнитуд ML и Mw. Поскольку использование данной программы дало успешный результат для территории

Западного Кавказа, то было принято решение о продолжении внедрения данного комплекса для исследований в других зонах Северного Кавказа и при подготовке ежегодной статьи «Спектральные и очаговые параметры землетрясений Северного Кавказа» в журнале «Землетрясения Северной Евразии».

```

start in s-times and Vp/Vs ratio (optionally)
2.0
absolute start time (sec)
30
window length (sec)
30
spreading parameter
1.0
constant v in q = q0*f**v
1.0
minimum signal to noise ratio
3
noise window in front of signal and length of RMS window
15.5
minimum correlation coefficient
0.60
maximum counts to use
2000000
number of frequencies and number of octaves (optional)
5 2.0
frequencies and bands (optional if octave given)
1
2
4
8
16
station(1.line), 50a5, blank line is no default, 2.line is components, 50(a4,1x)

```

```

1 C:\Seismo\REA\wcou_\2013\03\13-2013-22L.S201303
NVNR NVNR NVNR AHMR AHMR AHMR
Z N E Z N E
2 C:\Seismo\REA\wcou_\2013\03\13-2134-49L.S201303
NVNR NVNR NVNR AHMR AHMR AHMR
Z N E Z N E
3 C:\Seismo\REA\wcou_\2013\03\14-1116-29L.S201303
GUZR GUZR LZRR LZRR LZRR
Z N E Z N E
4 C:\Seismo\REA\wcou_\2013\03\14-1354-22L.S201303
DOMR DOMR DOMR
Z N E
5 C:\Seismo\REA\wcou_\2013\03\15-0015-42L.S201303
DOMR DOMR DOMR
Z N E
6 C:\Seismo\REA\wcou_\2013\03\15-0416-17L.S201303
DOMR DOMR DOMR
Z N E
7 C:\Seismo\REA\wcou_\2013\03\18-1320-02L.S201303
DOMR DOMR DOMR
Z N E

```

a)

a)

Рис. 3. Пример входных файлов для расчета Q_c в программе CodaQ:

a) – codaq.par с заданным оптимальным набором параметров для расчета [9]; б) – codaq.inp

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Акимов А.П., Красилов С.А. Программный комплекс WSG «Система обработки сейсмических данных» / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020664678 от 16.11.2020 г. – EDN: IJOVUE
- Габсатарова И.П., Мехрюшев Д.Ю., Королецки Л.Н., Адилов А.З., Магомедов Х.Д., Саяпина А.А., Багаева С.С., Янков А.Ю., Иванова Л.Е. Северный Кавказ // Землетрясения России в 2020 году. Ежегодник. Обнинск, 2022. – С. 17-24
- Добрынина А. А., Саньков В. А., Чечельницкий В. В. Новые данные о затухании сейсмических волн в литосфере и верхней мантии северо-восточного фланга Байкальской рифтовой системы //Доклады академии наук. – Федеральное государственное бюджетное учреждение" Российская академия наук", 2016. – Т. 468. – №. 1. – С. 88-88
- Зверева А. С., Собисевич А. Л., Лиходеев Д.В. к вопросу о взаимосвязи моментных и локальных магнитуд землетрясений Северо-Западного Кавказа. Доклады Российской Академии Наук. Науки о Земле, 2023, Т. 508, № 1, – С. 98–107
- Краснопевцева Г.В. Глубинное строение Кавказского сейсмоактивного региона. – М.: Наука, 1984. – 109 с.
- Раутиан Т.Г., Халтурин В.И., Закиров М.С., Земцова А.Г., Проксурин А.П., Пустовитенко Б.Г., Пустовитенко А.Н., Синельникова Л.Г., Филина А.Г.1, Шенгелия И.С. Экспериментальные исследования сейсмической коды. – М.: Наука, 1981. – 143 с. EDN: TQPOBT
- Aki K, Chouet B (1975) Origin of coda waves: source, attenuation, and scattering effects. J. Geophys Res 80 (23):3322–3342. DOI: 10.1029/JB080i023p03322
- Havskov J, Sørensen MB, Vales D, Özyazıcıoğlu M, Sánchez G, Li B (2016). Coda Q in different tectonic areas, influence of processing parameters. Bulletin of the Seismological Society of America, 106(3), 956-970. DOI: 10.1785/0120150359
- Havskov J, Voss PH, Ottemöller L (2020). Seismological observatory software: 30 Yr of SEISAN. Seismological Research Letters, 91(3), 1846-1852. DOI: 10.1785/0220190313

10. Lee W.H.K., Lahr J.C. HYP071 (Revised): A computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquakes // U.S. Geological Survey. Open File Report. – 1975. – V. 75, N 311. – P. 1–116
11. Ottemoller, L., Voss, P.H. and Havskov J. (2021). SEISAN Earthquake Analysis Software for Windows, Solaris, Linux and Macosx, Version 12.0. 607 pp. University of Bergen. ISBN 978-82-8088-501-2, URL <http://seisan.info>.
12. Vales D, Havskov J, Matias L, Silva S. (2020) Evidence of high lateral variations of coda Q from local earthquakes in Western Iberia and its SW offshore area. Tectonophysics V. 791, 228564
13. Zvereva A.S., Havskov J, Gabsatarova I.P. (2022) Regional variation of coda Q in Northwest Caucasus. (Preprint). DOI: 10.21203/rs.3.rs-1935783/v1

USING THE SEISAN SOFTWARE COMPLEX FOR CODAQ CALCULATION OF THE LITHOSPHERE OF THE NORTHERN CAUCASUS

*Zvereva Anastasia Sergeevna
FRC GS RAS, Perm
zvereva.as59@gmail.com*

Abstract. The process of introducing the SEISAN software package into the practice of processing seismological data of the North Caucasus has begun under the leadership of Professor Havskov. using the GSRNOR program, data of 6210 earthquakes in the North Caucasus from 2013 to 2022 were entered into the SEISAN database. The creation of a unified database at the GS RAS made it possible to apply the CodaQ program to obtain integral estimates of the frequency-dependent quality factor for the whole region.

Keywords: North Caucasus, CodaQ, attenuation, SEISAN.

УДК 550.837.6

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ГРУППОВЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КАРСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕРРИТОРИИ ПЕРМСКОГО КРАЯ

*Зубриков Александр Андреевич
ИП Зубриков А.А., г. Пермь
zubrikoff92@gmail.com*

Аннотация. В публикации затрагивается тема применения методов электrorазведки при исследовании закарстованного района, с целью определения наличия негативных факторов для строительства на примере сопоставления классического метода вертикального электрического зондирования и метода групповых зондирований, являющихся модификацией классического метода. Метод групповых зондирований является альтернативой методу электрофотографии и имеет ряд определенных отличий. Рассмотрены результаты интерпретации полученных данных.

Ключевые слова: многоэлектродная установка, электrorазведка, карст, инженерные изыскания, групповые зондирования.

В современном мире существует необходимость проведения геофизических изысканий при проведении реконструкций и нового строительства на предмет наличия карстовых процессов, с целью обеспечения безопасности объекта. В связи с этим встает вопрос выбора метода проведения изысканий, отвечающего целям работ.

Важным фактором для подтверждения результативности применения методом электrorазведки является сравнение результатов разных методов электrorазведки и геологической обстановкой по данным бурения.

Целью данной работы являлось создание и совершенствование методики работ группового зондирования, реализованного на основе аппаратурно-программного комплекса АМС-1 [2], в целях решения вопросов, связанных с автоматизацией измерительно-интерпретационного процесса, повышением информативности и расширением функциональных его возможностей.

Методы электрического зондирования широко используются при решении многих геологоразведочных, инженерно-геологических [4], экологических и других задач. При работах на объектах реконструкции часто используют метод вертикального электрического зондирования, как наиболее информативный при сопоставимых трудозатратах. Перспективным направлением его развития является разработка новых технологий, нацеленных на повышение оперативности и экономической эффективности ведения работ. Основное внимание при этом уделяется применению многоэлектродных установок с элементами электротомографии [1], обеспечивающих возможность значительного ускорения процесса полевой съемки. Это ускорение процесса достигается в основном за счет использования системы равномерно расположенных (с постоянным арифметическим шагом, либо приближенному к геометрическому) электродов, выполняющих в заданной последовательности функцию питающих и приемных электродов, обеспечивая единообразие выполнения зондирований для разных пикетов измерительной установки.

Многоэлектродная установка представляет собой набор электродов фиксированного расположения, обеспечивающую возможность зондирования как линейной, так и площадной территории. Данная модификация является частным случаем классического метода вертикального электрического зондирования (ВЭЗ), при этом обладает расширенными возможностями при выполнении исследований в сложных условиях

(повышенная закарстованность, наличие леса, наличие мерзлых грунтов, асфальтовых покрытий и мн. др.), особенно при исследовании геоэлектрического разреза до первых сотен метров.

Методика групповых зондирований (ГЗ) используется за основу многоэлектродные установки (косы) (рис.1) с системой как парных, так и равномерно расположенных электродов, которые в процессе зондирования выполняют как функцию приемных, так и функцию питающих электродов зависимо от программы измерений. А также возможно использовать принцип электротомографии. На сегодняшний день реализована возможность использовать любые установки ВЭЗ и электропрофилирования [2].

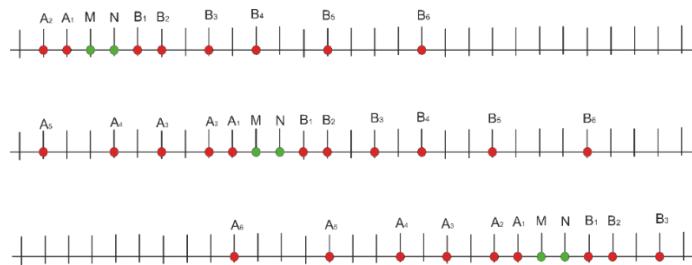


Рис. 1. Схема установки ГЗ

Интерпретация [4] полученных результатов производилась в автоматическом комплексе «ЗОНД», позволяющий получать как качественную, так и количественную интерпретацию полученных результатов.

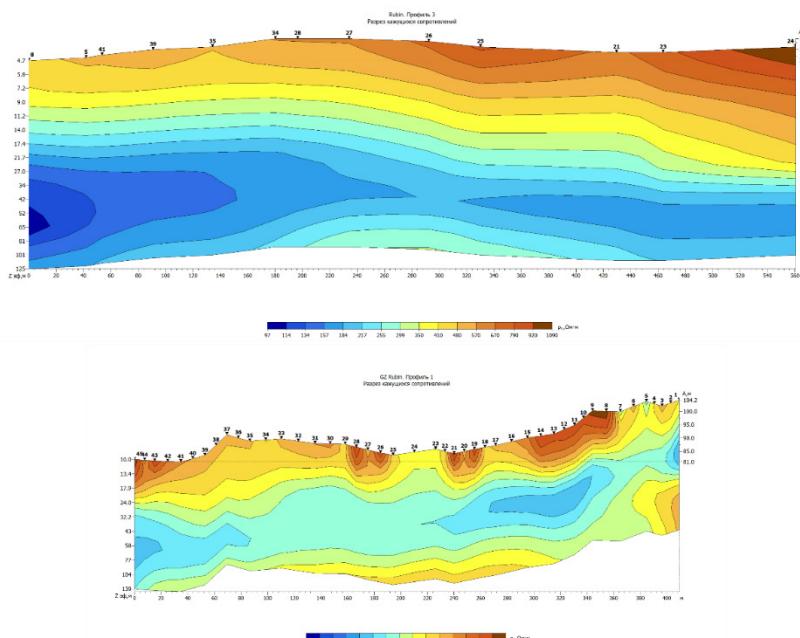


Рис. 2. Результат качественной интерпретации методов ВЭЗ и ГЗ

Качественная интерпретации результатов использования методов ВЭЗ и ГЗ, выполненных, в пределах одной исследуемой площади (рис. 2) показывает на расширение детализации разреза при использовании метода ГЗ относительно результатов метода ВЭЗ, что говорит о рациональности использования именно метода ГЗ для обследования участков закарстованности при инженерных изысканиях.

При обследовании участков закарстованности, как показывает опыт, необходим небольшой шаг по профилю, для обеспечения достаточной информативности.

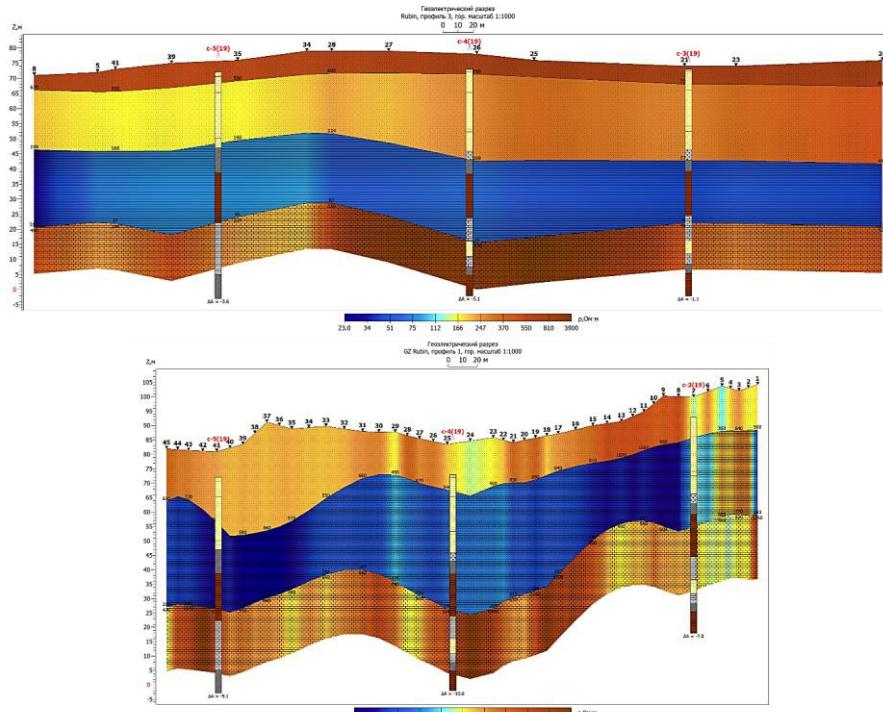


Рис. 3. Результат количественной интерпретации методов ВЭЗ и ГЗ

Для определения количественных параметров – мощностей и удельных электрических сопротивлений выполняется этап количественной интерпретации данных ВЭЗ и ГЗ. Результатом являются геоэлектрические разрезы, полученные с помощью подбора теоретических кривых и данных бурения. Результаты количественной интерпретации по разным методам показывают схожие результаты, при этом по результатам количественной интерпретации групповых зондирований отмечается более высокая детализация разреза.

По результатам работ отмечается, что характеристики полей при работах ВЭЗ и ГЗ (рис. 3) имеют общие закономерности, как при качественной, так и при количественной интерпретации, а также, что групповые зондирования – это инструмент для частных случаев, позволяющие получать результаты с необходимой точностью с достаточной глубиной и низкими трудозатратами. При этом отмечается большая экономическая обоснованность именно метода ГЗ.

Для получения информации об изучаемом разрезе до необходимой глубины, определяемой максимальным разносом установки, применяется методика измерений с использованием встречных трех-электродных установок Шлюмберже. В соответствии с данной методикой при выполнении зондирований в пределах первой половины длины измерительной установки используется прямая трех-электродная установка MNA, а после достижения последним питающим электродом А границы измерительной линии – обратная трех-электродная установка A'MN при тех же ее параметрах, что и для MNA. При этом в определенной области, ввиду использования прямой и встречной установок, получаются двойные измерения, суммарная величина значений разности потенциала которых соответствует результатам измерений с четырех-электродной установкой A'MNA. В итоге групповой съемки, при заданном числе разносов n_1 и четном его значении регистрируется $2n_1$ зондирование, при нечетном – $2n_1+1$. Значения разносов r зондирующей установки могут задаваться с их приращением $\Delta r = \Delta x - MN/2$ либо $\Delta r = \Delta x + MN/2$. Максимальный разнос зондирующей установки, равный $n_1 \cdot \Delta r$, обеспечивает одинаковую эффективную глубину зондирования на всех пикетах исследуемого разреза.

В отличие от традиционной многоэлектродной установки, в данной модификации использована независимость размера приемной линии MN от расстояния между пикетами Δx , направленная на возможность варьирования, в определенной мере, шага приращения разносов установки и информативности получаемых материалов. Последний фактор объясняется тем, что параметры Δx и размер MN несколько отличаются по информативности. Первый из них, Δx , отражает детальность съемки, а второй, MN, — степень интегральности и, соответственно, контрастности проявления исследуемой части пород в наблюдаемом поле.

Выполнение съемки с использованием методики групповых зондирований позволяет в автоматическом режиме с помощью коммутатора получать произвольный набор кривых зондирования с визуальным либо численным их контролем. При необходимости возможны повторные замеры на любом пикете из всей совокупности.

Резюмируя все выше сказанное, можно отметить информативность метода групповых зондирований и перспективность его использования с целью определения зон карстопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобачев А.А., Марченко М.Н., Модин И.Н., Перваго Е.В., Урусова А.В., Шевнин В.А. Новые подходы к электрическим зондированиям горизонтально-неоднородных сред // Физика Земли. 1995. № 12. С. 79–90.
2. Зубриков А.А., Карпов С.Б., Колесников В.П. О совершенствовании метода группового зондирования на основе физического моделирования // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2021. № 4 (41). С. 177-183.
3. Зубрикова Е.С., Тайницкий А.А. Оценка результатов электроразведочных мониторинговых наблюдений // Горное эхо. 2021. № 4 (85). С. 56-60. Москва, 2021. С. 75.
4. Tainickiy A.A., Stepanov Ju.I., Luchnikov M.S., Bushueva E.S. Inspection of the sludge tank dam using electrical exploration // В сборнике: 17th Conference and Exhibition Engineering and Mining Geophysics 2021. 17. 2021.

USING THE METHOD OF GROUP SOUNDING TO STUDY KARST PROCESSES IN THE TERRITORY OF PERM REGION

*Zubrikov Alexander Alexandrovich
IP Zubrikov A.A., Perm
zubrikoff92@gmail.com*

Summary. The publication touches upon the topic of using electrical exploration methods in the study of a karst area in order to determine the presence of negative factors for construction, using the example of comparing the classical method of vertical electrical sounding and the method of group sounding, which are a modification of the classical method. The group sounding method is an alternative to the electrophotography method and has a number of specific differences. The results of interpretation of the received data are considered.

Key words: multi-electrode installation, electrical prospecting, karst, engineering surveys, group soundings.

УДК 552.52

СОСТОЯНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ПЛОТИНЫ АХАНГАРАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

¹*Иброгимов Фахриёр Ислом угли, ^{1,2}Мухаммадқұлов Нурали Муродалиевич,
¹Хамидов Хайрулла Лутфуллаевич*

¹*Институт сейсмологии АН РУз, г. Ташкент, Республика Узбекистан*

²*Национальный университет Узбекистана, г. Ташкент, Республика Узбекистан*

¹*fakhriyoribrogimov@gmail.com, ^{1,2}nuralimuhammadqulov@gmail.com,*

¹*hayrulla_classic@mail.ru*

Аннотация. На основании данных проведенных сейсмометрических исследований выявлены точки воздействия гидростатического давления на плотину Ахангаранского водохранилища, расположенного в Восточном Узбекистане. Деформация тела плотины под действием гидростатического давления определялась различными параметрами. Представлены возможности оценки динамического поведения плотины по ее специфическим колебаниям.

Ключевые слова: плотина, гидростатическое давление, деформация, частота, амплитуда, модуль упругости, сжимаемость, плотность, скорость.

Ахангаранскоe водохранилище, расположеннoe на востоке Узбекистана, предстavляет собой гидротехническое сооружение на реке Ахангаран, служащее для орошения земель Ахангаранского, Урта-Чирчикского, Пскентского и Букинского районов. Общий объем Ахангаранского водохранилища составляет 260 млн. м³, максимальная высота плотины 100 м, пропускная способность 480 м³/с.

Изучение изменений естественных колебаний крупных гидротехнических сооружений позволяет изучать физические изменения их конструктивной структуры. Из-за значительного влияния уровня воды в водохранилище в теле плотины образуются сильные участки воздействия гидростатического давления. Неравномерность динамического движения в теле плотины, в свою очередь, зависит от условий ее географического положения. Водохранилище Ахангаран расположено в предгорной долине. Неравномерный гипсометрический рельеф подводной части приводит к неравномерному распределению давления, действующего на плотину. Эта ситуация особенно важна в связи с высоким уровнем воды в стародолинной части реки, примыкающей к плотине.

На основании сейсмометрических измерений проведены исследования мест сильного воздействия воды по телу плотины. Нестационарные замеры проводились в разных участках плотины (рис. 1). Для определения естественных колебаний плотины были произведены замеры за разные периоды времени. Производство качественных измерения являются одним из важнейших условий для корректной интерпретации сейсмических записей. Устранение различных уровней сейсмического шума, действующего на плотину, позволяет графически описать основные закономерности вибрации плотины [1].

При анализе конструктивного состояния большинства приподнятых скально-грунтовых плотин учитывают влажность материалов плотины и деформационные характеристики породы в условиях силы тяжести и влажности. Для оценки деформированного состояния и прочности плотины Ахангаранского водохранилища под давлением необходимо решить ряд задач.



Рис. 1. Точки сейсмических измерений, проведенные в разных частях плотины

В ходе исследований были проведены экспериментальные измерения на плотине Ахангаранского водохранилища. Полученные результаты были проанализированы и использованы для изучения структурного состояния плотины. При интерпретации сейсмограмм построены графики связи частоты и амплитуды колебаний (рис. 2). Исследования основаны на методах цифровой регистрации сейсмических волн. В результате интерпретации полученных данных построены частотно-амплитудные графики, в результате которых определены значения скорости и плотности горных пород по глубине. Параметры деформации рассчитывались по значениям скорости и плотности [2].

Эти графики извлекаются из различных сейсмических шумов и отражают естественные колебания плотины. Значения скорости и плотности были рассчитаны с помощью графиков, представляющих удельную вибрацию в плотине Ахангаранского водохранилища (рис. 3). Известно, что высокое гидростатическое давление, действующее на скально-земляную плотину, оказывает существенное влияние на акустическую жесткость. В результате изменяются и характеристики деформации (растяжение, сжатие, расширение) [3].

Как известно, расчет параметров деформации важен в инженерных работах, а все модули упругости дают информацию о пределе прочности конструкции. Как физический параметр, характеризующий сжимающую силу, в основном влияющую на конструктивное состояние плотины, модуль Юнга дает качественный результат.

Модуль Юнга или модуль упругости используется для изучения изменений, происходящих в горных породах под действием силы тяжести или сжатия. Внешние силы, присутствующие в гидравлических объектах, могут не только изменять их естественное состояние движения, но и изменять их форму [5]. Известно, что объемная плотность – это масса горных пород в единице объема, отличная от плотности химических элементов, увеличивается в условиях высокого давления [1,2]. В результате интерпретации сейсмометрических данных от плотины Ахангаранского водохранилища через скорости продольных и поперечных волн, а также объемные плотности горных пород определены коэффициент отношения скоростей K , модуль сдвига μ , постоянная упругости Ламе λ , коэффициент Пуассона ν , модуль Юнга E .

Эти параметры обладают следующими свойствами. Отношение скоростей – K . Коэффициент $K = V_p/V_s$ используется для определения соотношения скоростей продольной и поперечной волны. Среднее значение K принято равным $1/73$ при сильных землетрясениях. Поскольку волновые параметры микросейсмических колебаний малы, этот коэффициент может принимать большое значение.

Модуль сдвига определяется по следующей формуле:

$$\mu = V_S^2 \cdot \rho \quad (1)$$

где ρ ($\text{г}/\text{см}^3$) – объемная плотность породы.

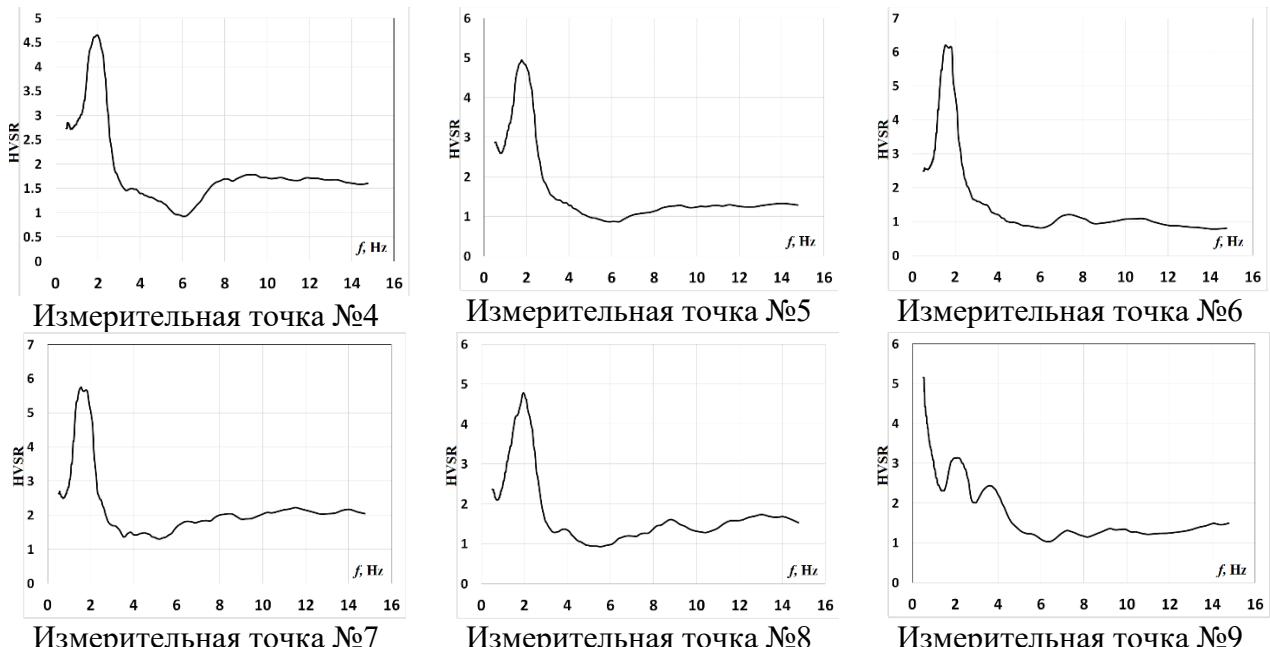


Рис. 2. Изменение усиления сигнала по точкам в теле плотины Ахангаранского водохранилища

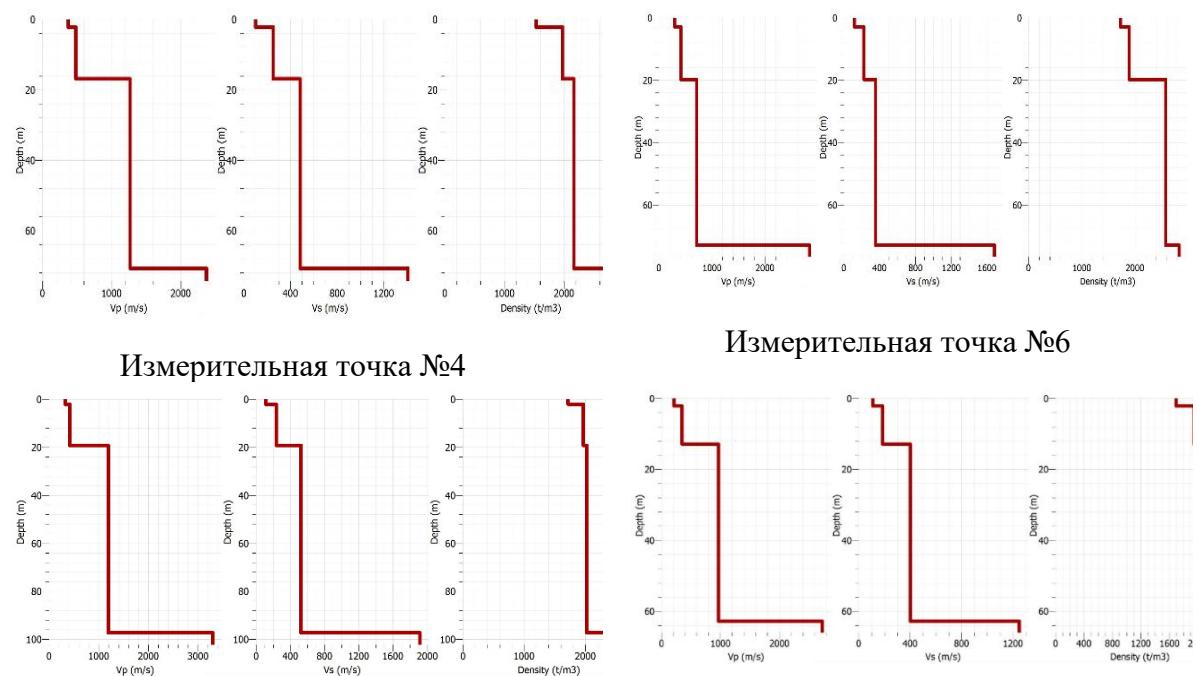


Рис. 3. График изменения поперечных (V_s) и продольных (V_p) волн и объемной плотности (ρ) с глубиной на теле плотины водохранилища (согласно расчетами в среде [4])

Константы упругости Ламе λ и μ , это величины, связывающие компоненты упругой волны в некоторой точке линейно-упругой или жестко деформируемой изотропной среды с компонентами деформации в этой точке. Корреляция констант упругости Ламе – λ ; т.е. $\lambda = q\mu$. Отношение констант упругости Ламе- q , выражается как

$q = \frac{\lambda}{\mu} = \left(\frac{V_p^2}{V_s^2}\right) - 2$. Коэффициент Пуассона – ν . Коэффициент упругости рассчитывается как мера изменения геометрической формы горных пород в упругой среде $\nu=0.18-0.5$ в породах, $\nu=0.5$ в воде и $\nu = \frac{1}{2+2\frac{\mu}{\lambda}}$. Модуль Юнга – E . Это модуль упругости, который указывает на сопротивление горных пород в окружающей среде растяжению или продольному сжатию. В водохранилищах он используется как параметр, показывающий сопротивление продольному сжатию тела плотины гидростатическому давлению и $E = 2V_s^2\rho(1+\nu)$.

Для оценки склонности стальной плотины водохранилища к растрескиванию под действием гидростатического давления были рассчитаны значения изменения модуля упругости с глубиной по приведенным выше графикам (табл.1). Модуль сжатия вдоль тела плотины аппроксимируется отдельно изолиниями и цветами. Параметры деформации отличаются высоким итоговым значением каждой точки измерения. Распределение модуля сжатия по телу плотины имеет высокое (10-11 ГПа) значение в основном в основании (зона течения реки). При анализе полученных данных по плотине было замечено, что модуль сдвига увеличился в четыре раза (2,5-10 ГПа) к центральной части плотины.

Таблица 1

Параметры деформации, рассчитанные в плотине.

Номера точек измерения	H (м)	V _p	V _s	ρ (кг/м ³)	K	q	μ , (ГПа)	λ , (ГПа)	ν	E, (ГПа)
		м/с								
4	2.1	365	104	1538	3.51	10.32	0.02	0.17	0.46	0.05
	16.5	474	245	1961	1.93	1.74	0.12	0.21	0.32	0.31
	71.1	1252	490	2187	2.56	4.53	0.53	2.38	0.41	1.48
	100	2371	1405	2752	1.69	0.85	5.43	4.61	0.23	13.36
5	2.2	342	108	1708	3.17	8.03	0.02	0.16	0.44	0.06
	17.3	408	221	1964	1.85	1.41	0.10	0.14	0.29	0.25
	97.2	1201	533	2034	2.25	3.08	0.58	1.78	0.38	1.59
	100	3305	1923	2684	1.72	0.95	9.93	9.47	0.24	24.70
6	2.1	276	130	1713	2.12	2.51	0.03	0.07	0.36	0.08
	20.3	422	216	1887	1.95	1.82	0.09	0.16	0.32	0.23
	73.3	712	362	2570	1.97	1.87	0.34	0.63	0.33	0.89
	100	2822	1672	2816	1.69	0.85	7.87	6.68	0.23	19.36
9 – на расстоянии 1 км от плотины	2.3	195	102	1700	1.91	1.65	0.02	0.03	0.31	0.05
	12.8	335	180	1955	1.86	1.46	0.06	0.09	0.30	0.16
	62.9	951	396	2209	2.40	3.77	0.35	1.31	0.40	0.97
		2712	1247	2267	2.17	2.73	3.53	9.62	0.37	9.63

Эта ситуация означает низкие значения глубины воды и давления в северо-западной части плотины. При измерениях в качестве параметра, характеризующего сопротивление плотины продольному сжатию за счет гидростатического давления, использовался модуль Юнга (E – модуль продольного сжатия) и строилась схема распределения тела плотины (рис. 4).

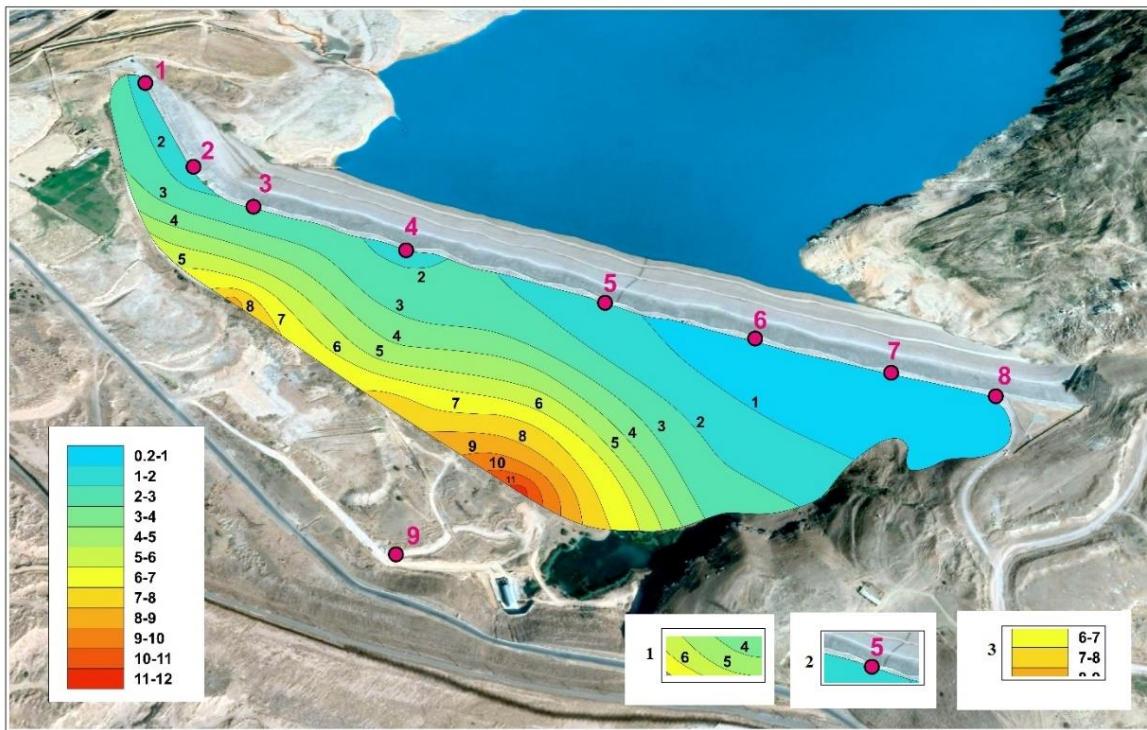


Рис. 4. Продольное сжатие по телу плотины схема распространения модуля
Условные обозначения: 1-вариация по плотине; 2- точки измерения; 3-я градация уровней

Более высокий модуль сжатия в центральной части плотины (№5, №6) означает, что сильное влияние оказывает напор воды.

На основании данных, полученных исследуя состояние плотины Ахангаронского водохранилища, было установлено, что она имеет высокий модуль сжатия. Распределение параметров деформации плотины водохранилища показало, что тело плотины находится в нормальном состоянии. Гидростатическое давление оказывает значительное влияние на состояние верхней части плотины. В результате сила реакции от него оказывает давление на базовую часть. Эта ситуация затрагивает грунты в фундаментной части плотины (№5, №6). При землетрясении или при подъеме уровня воды выше нормы грунт этой части может подвергаться значительным деформациям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Хамидов Л.А., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л., Ганиева Б.Р., Анварова С.Г., Иброгимов Ф.И. Инструментальные сейсмические наблюдения в зонах крупных водохранилищ Узбекистана // Российский сейсмологический журнал. – 2022. – Т. 4, № 3. – С. 52–67.
- Атабаев Д.Х., Атабаева Н.Э., Геофизика ва геокимё асослари: ўкув қўлланма. Тошкент: ЎзМУ, 2017. 44, 46-бетлар.
- Nakamura Y. (2000), Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications, Proc. of the 12th World Congress on Earthquake Engineering, Auckland.
- Использованная программная среда: GEOPSY, (H/V Nakamura's ratio), Waves. [<https://www.geopsy.org/documentation/geopsy/hv.html>].
- Хамидов Х.Л., Иброгимов Ф.И. Колебания массивов горных пород в зонах Чарвакского и Ахангаранского водохранилищ Узбекистана // Международной конференции «Интеграция науки, образования и производства – залог прогресса и процветания», 30-31 мая 2022 год, Навои. - том.1. – С. 368-371.

THE STATE OF DEFORMATION OF THE DAM OF THE AKHANGARAN RESERVOIR

¹*Ibrogimov Fakhriyor, ^{1,2}Muhammadqulov Nurali Murodalievich,
¹Khamidov Khayrulla Lutfullaevich*

¹*Institute of Seismology, Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan*

²*National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan*

¹*fakhriyoriibrogimov@gmail.com, ^{1,2}nuralimuhammadqulov@gmail.com,*

¹*hayrulla_classic@mail.ru*

Summary. Based on the data of the conducted seismometric studies, the points of influence of hydrostatic pressure on the dam of the Akhangaran reservoir located in Eastern Uzbekistan are expressed. The deformation of the dam body under the action of hydrostatic pressure was determined by various parameters. The possibilities of assessing the dynamic behavior of the dam by its specific oscillations are presented.

Key words: dam, hydrostatic pressure, deformation, frequency, amplitude, elastic modulus, compressibility, density, speed.

УДК 550.34

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГЛОБАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 25 ЛЕТ

*Иванков Олег Евгеньевич
ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск
Воронежский Государственный Университет, г. Воронеж
e-mail: ivankov@math.vsu.ru*

Аннотация. На основе данных за 25 лет показано, что 10-15 % всех землетрясений происходили на глубинах более 150 км. В верней мантии на глубине 500-600 км. выделяется максимум. Показано, что характер проявления сейсмичности на больших глубинах коррелируется с характером процессов, происходящих в верхней мантии. Данные сейсмологических наблюдений являются надежным источником знаний об интенсивности процессов, происходящих в недрах Земли.

Ключевые слова: Глобальная сейсмичность, гипоцентр землетрясений, сейсмическая энергия, неоднородность верхней мантии.

Самым ярким свидетельством существования напряжений на больших глубинах являются землетрясения. Ниже дан анализ глобальной сейсмичности Земли на последние 25 лет, с 1996 по 2021 год. Ежегодно на Земле происходит порядка 10000 землетрясений согласно каталогу NEIC [1], это наиболее полный каталог из существующих в настоящее время, так как он, помимо своих записей, объединяет в себя данные из многих других исследовательских центров. Анализ распределения количества землетрясений от магнитуды за последние 25 лет показал, что примерно 10-15% всех землетрясений в разные годы происходят на глубине более 150 км. На рисунке 1. представлены распределения по магнитуде коровых и мантийных землетрясений.

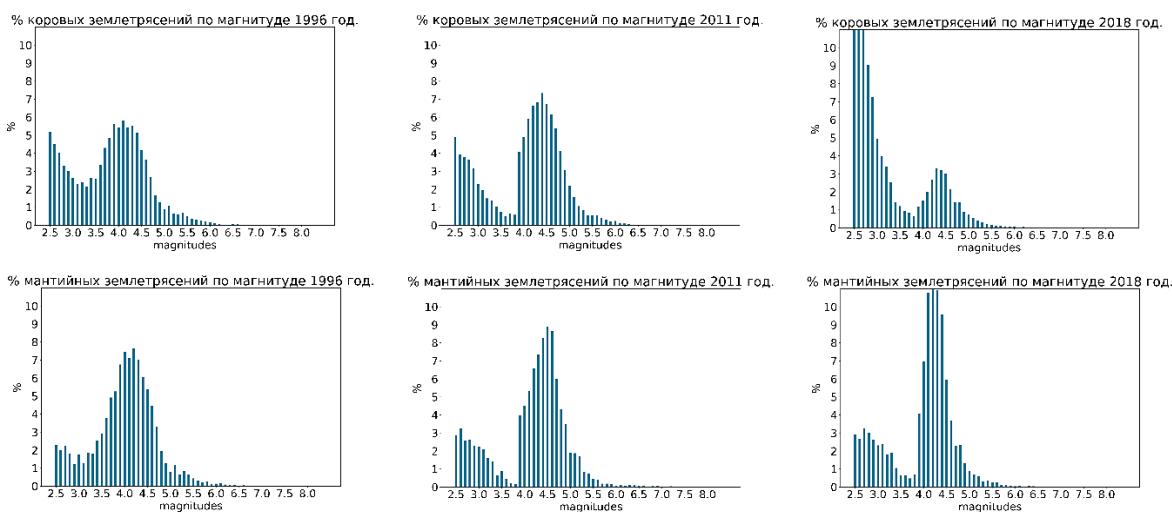


Рис. 1. Сравнение распределений количеств в процентах коровых и мантийных землетрясений в некоторые годы выбранного промежутка

Исследование распределений гипоцентров землетрясений по глубине и выделившимся при этом сейсмической энергии показало, максимальное количество сейсмической энергии, как и количество отмечается до глубины порядка 150 км. (рис. 2б, в). Следующий максимум наблюдается на глубине порядка 500-600 км. Интервал глубин от 150

до 500 км характеризуется относительно небольшим количеством землетрясений и максимумом сейсмической энергии (рис. 2б, в).

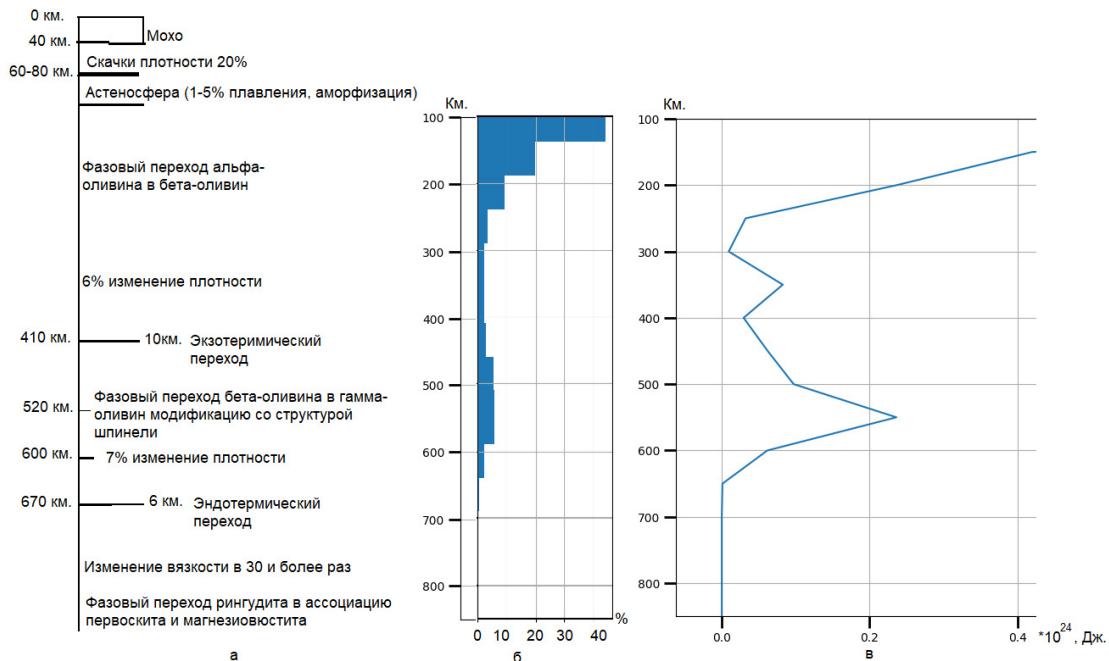


Рис. 2. а) – Строение литосферы и верхов мантии [2], б) – Количество землетрясений в процентах в зависимости от глубины, в) – выделившаяся сейсмическая энергия в зависимости от глубины

Сопоставляя полученные распределения с глубинным строением Земли можно предположить, что особенности строения и состояния земной коры отражается в характере сейсмичности.

Из сказанного и рисунка 2. следует, что земная кора и верхняя мантия неоднородны по строению и состоянию недр. Если землетрясения, которые происходят в земной коре обусловлены, в основном, движением плит, то землетрясения, которые происходят на значительных глубинах, по-видимому, связаны с процессами, происходящими при высоких давлениях и температуре. Если следовать работе [2], то наблюдаемый максимум количества произошедших землетрясений и выделившейся при этом сейсмической энергии на глубинах 500-600 км., является следствием фазового перехода бета-оливина в оливин со структурой шпинели. При этом процессе изменяются свойства вещества, в частности, плотность, появляются очаги дополнительного к существующему листатическому давлению, что может приводить к землетрясениям.

В настоящее время можно считать установленными основные черты внутреннего строения Земли: наиболее мощный слой в структуре Земли — это мантия. Её подразделяют на нижнюю (~660-2890 км) среднюю (~100-660 км) и верхнюю (~100-200 км). Между земной корой и мантией существует астеносферный слой, который в разных геологических структурах находится на разной глубине и имеет разную мощность.

Земная кора — наиболее хорошо изученная оболочка Земли, не только с помощью анализа глобальной сейсмичности, но и прямыми геофизическими методами. Ее деление на главные слои выполняется на основе анализа записей сильных землетрясений.

По результатам сейсмических наблюдений на длинных и сверхдлинных профилях, выделены на глубине порядка ~100 км – граница №1. Она фиксируется на всех континентах. Иногда ее называют 8* границей [8]. Граница №2 выделяется на глубине порядка 150 км, граница L- на глубине около 200 км и H на глубине порядка 300 км.

В переходной зоне верхняя мантия – нижняя мантия по сейсмическим данным выделены три границы раздела на глубинах 420-430 км, 500-520 км и 660 км. Кровля и подошва переходной зоны выделены во всех регионах мира. Предполагается, что это фазовые границы [8].

Верхняя мантия сложена ультраосновными породами перидотитами, состоящими в основном из оливина. Они отличаются по составу пироксенов: только с ортопироксеном (гарцбургиты) или с орто- и клинопироксеном (лерцолиты). Самая верхняя часть мантии вместе с корой образует литосферу, которая реологически слагает наиболее хрупкую и холодную оболочку Земли. Литосфера имеет максимальную мощность под континентами 200 км и более. Под океанами она не превышает 100 км, сокращаясь под средино-океаническими хребтами до нескольких километров. Астеносфера (ослабленная оболочка) подстилает литосферу и отличается от нее пониженнной (в 100 раз) вязкостью и способностью к течению. Эти свойства обусловлены частичным (1-5%) плавлением вещества или его амортизацией под древними частями континентов. Плавление приводит к возникновению магматических очагов с базальтовой и ультраосновной магмой. Подошва литосферы примерно соответствует изотерме 1200-1300°C. Нижняя граница астеносферы устанавливается с меньшей определенностью. Мощность астеносферы под океанами не более 50-80 км, под континентами до 100-120 км, а под щитами кратонов астеносфера может захватывать верхи переходного слоя к нижней мантии. Между подошвой астеносферы и границей на глубине 410 км выделяют зону повышенной вязкости — мезосферу. Переходный слой от верхней мантии к нижней обособлен в интервале глубин 410-670 км. На глубине 410 км скорость упругих волн возрастает на 10%, и это связывают с переходом оливина в бета-оливин, возможно, с некоторым изменением химического состава. Недавно обнаружена сейсмическая граница на глубине 520 км, расположенная только под континентами. Ее объясняют потоком холодного вещества и фазовым переходом оливина в еще более плотную разновидность — рингвудит. Фазовый переход на границе 670 км. носит эндотермический характер и может изменять свое положение.

Таким образом, распределение гипоцентров землетрясений и выделившейся при них энергии является ярким свидетельством степени активности различных процессов на разных глубинных уровнях Земли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. National Earthquake Information Center (NEIC) [Электронный ресурс] / URL: <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/national-earthquake-information-center-neic> / (Дата обращения: 30.01.2023)
2. Введение в тектонофизику: Учебное пособие // М.А. Гончаров, В.А. Талицкий, Н.С. Фролова - М.: КДУ, 2005. – 496 с.
3. Уломов В.И., Волны сейсмогеодинамической активизации и долгосрочный прогноз землетрясений // Физика Земли. 1993а №4. – С. 43-53.
4. Уломов В.И. О глобальных изменениях сейсмического режима Земли в период 1965 - 2005 гг. // Доклады академии наук. Геофизика 2007 т 414 №3. – С. 398-401.
5. Уломов В.И. К вопросу о планетарной сейсмической активности. Геориск
6. Лутиков А.И., Рогожин Е.А., Вариации интенсивности глобального сейсмического процесса в течение XX начала XXI века. Физика Земли 2014 №4. – С. 25-42
7. Тянкин К.Ф., Физика Земли // Высшая школа, 1998. – 312 с.
8. Егорова Т.П., Павленкова Г.А. // Сейсмо-плотностные модели земной коры верхней мантии Северной Евразии по сверхдлинным сейсмическим профилям «Кварц», «Кратон» и «Кимберлит» // Физика Земли, 2015, № 2, – С. 98–115

SOME FEATURES OF GLOBAL SEISMICITY OVER THE PAST 25 YEARS

*Ivankov Oleg Evgenievich
FRC GS RAS, Obninsk
Voronezh State University, Voronezh
ivankov@math.vsu.ru*

Summary. Based on 25 years of data, it is shown that 10-15 % of all earthquakes occurred at depths greater than 150 km. A maximum in the upper mantle at a depth of 500-600 km is identified. It is shown that the character of seismicity at great depth correlates with the character of processes occurring in the upper mantle. Data of seismological observations are a reliable source of knowledge about the intensity of processes occurring in the Earth interior,

Key words: Global seismicity, earthquake hypocenter, seismic energy, upper mantle inhomogeneity.

УДК 552.08

ПЕТРОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГРАНИТОИДОВ ПАВЛОВСКОГО КОМПЛЕКСА И АССОЦИИРУЮЩИХ С НИМИ ПОРОД (ВОРОНЕЖСКИЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ МАССИВ)

Ильин Виталий Викторович
Воронежский Государственный Университет, г. Воронеж
vitaliy.ilin.2000@bk.ru

Аннотация. Приведены новые сведения о петроплотностных и петромагнитных свойствах гранитоидов павловского комплекса и генетически связанных с ними пород.

Ключевые слова: гранитоиды, павловский комплекс, плотность, магнитная восприимчивость.

Несмотря на длительную историю исследования докембрийских гранитоидных комплексов, в том числе и павловского, на территории Воронежского кристаллического массива (ВКМ), данные образования не теряют своей актуальности в качестве объекта изучения. Это обусловлено тем, что последние фактические данные об их физических свойствах были получены в начале 90-х годов прошлого века, после чего бурением они вскрывались лишь эпизодически. Все последующие аналитические работы основывались только на этой ретроспективной информации [1, 4, 10]. Современные подходы к геолого-геофизическому моделированию [3, 7 и др.], возросшие аппаратурно-методические возможности лабораторных исследований физических свойств, а также наличие нового каменного материала требуют с одной стороны актуализировать старые данные, а с другой – получить новые сведения.

Павловский мигматит-гранит-граносиенитовый комплекс наиболее широко распространен в юго-восточной части Воронежского кристаллического массива (ВКМ). Основной ареал его развития ограничен Лосевской шовной зоной за пределами которой встречается лишь эпизодически. Гранитоиды комплекса секут и мигматизируют породы донского типа обоянского комплекса. Возраст гранитоидов, по данным изотопного датирования акцессорных цирконов уран-свинцовыми методом, составляет 2078 ± 4 млн лет. Наиболее обширная зона развития гранитоидов – Павловско-Воронежское гранитоидное поле (рис. 1). В пределах этого поля выделяется ряд крупных мигматит-гранитных куполов и более мелких интрузивных тел [6].

Образования комплекса представлены породами двух фаз внедрения. Первая фаза – средне-крупнозернистые существенно микроклиновые гранитоиды (граниты, граносиениты, гнейсограниты, гнейсо-граносиениты). Ко второй фазе отнесены лейкократовые среднезернистые и аплитовидные граниты, пегматиты, секущие граниты первой фазы и супракrustальные породы в виде малых тел и жил [8]. Так же с породами обеих фаз ассоциируют амфиболиты (в разной степени гранитизированные и неизмененные) и метапесчаники [9].

Изучение геологических объектов с долгой структурно-метаморфической эволюцией требует привлечения широкого комплекса данных и петрофизические исследования в данном случае позволяют не только подготовить основу для применения геофизических методов, но и подчеркнуть особенности строения и состава, не выделяемые другими методами изучения вещества. Использование совокупности минералогических, химических и петрофизических данных позволяет комплексно осветить изучаемый объект,

а также с высокой долей объективности произвести разграничение таксономически соподчиненных горных пород.

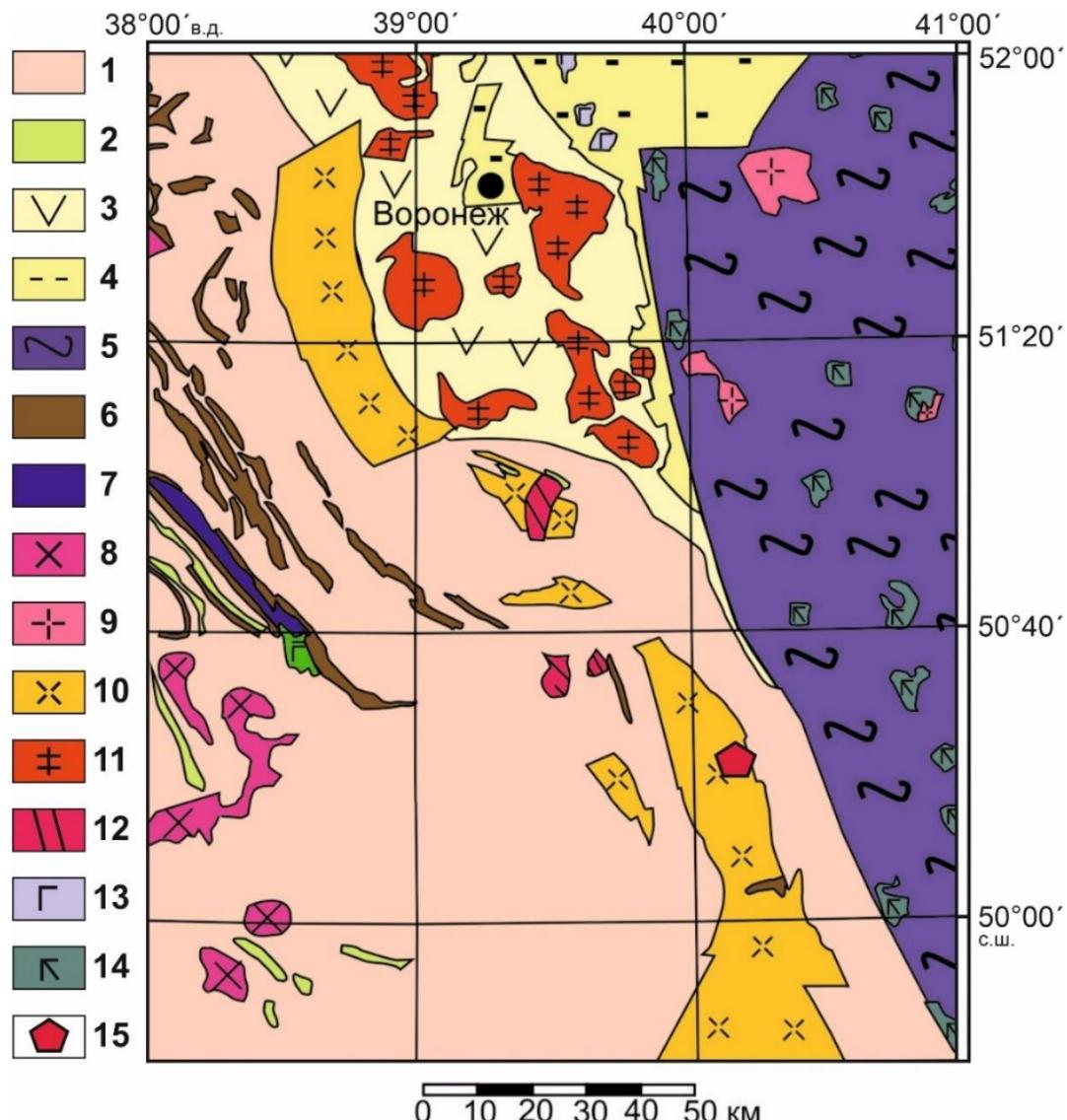


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Павловско-Воронежского гранитоидного поля (Фрагмент карты из [2])

1 – обоянский комплекс; 2 – михайловская серия; 3 – лосевская серия; 4 – воронежская свита; 5 – воронцовская серия; 6 – курская серия; 7 – тимская свита; 8 – атаманский комплекс; 10 – павловский комплекс; 11 – усманский комплекс; 12 – лискинский комплекс; 13 – ольховский комплекс; 14 – мамонский комплекс; 15 – местоположение Павловского карьера

С целью изучения петрофизических характеристик гранитоидов павловского комплекса и ассоциирующих с ними пород было отобрано 132 максимально свежих образца из Павловского гранитного карьера (рис. 1). Определение петрофизических характеристик собранной коллекции производилось в петрофизической лаборатории кафедры геофизики Воронежского госуниверситета по принятой методике [5]. Результаты лабораторных измерений сведены в таблицу 1. Полученные данные прошли стандартную статистическую обработку с построением вариационных кривых распределения параметров.

На рисунках 2 и 3 приведены вариационные кривые изученных петрофизических параметров. Характер распределения плотности и магнитной восприимчивости

указывает на сложное полихронное и полигенное образование пород исследуемой выборки, допускающее при этом достаточно достоверное выделение петрофизических групп.

Таблица 1
Петрофизические свойства гранитоидов павловского комплекса и ассоциирующих с ними пород

ПЕТРОПЛОТНОСТНЫЕ ГРУППЫ (σ , г/см ³)			ПЕТРОМАГНИТНЫЕ ГРУППЫ ($k \times 10^{-3}$ ед. СИ)		
№ петро-типа	<u>min</u> max	среднее	№ петро-типа	<u>min</u> max	среднее
1	<u>2.61</u> 2.65	2.63	1	<u>0.1</u> 1.5	0,6
2	<u>2.65</u> 2.67	2.66	2	<u>1.8</u> 13	7
3	<u>2.67</u> 2.70	2.68	3	<u>13</u> 21	17
4	<u>2.72</u> 2.73	2.73	4	<u>22</u> 29	25
5	<u>2.75</u> 2.79	2.76	5	<u>30</u> 36	33
6	<u>2.82</u> 2.84	2.83	6	<u>37</u> 51	43
7	—	2.89			

Полимодальное распределение плотности пород комплекса и ассоциирующих с ними образований можно разделить на две больших группы. Первая группа пород, развитая в пределах 2,61-2,70 г/см³, главным образом включает в себя гранитоиды двух фаз генерации и макроскопически неотличимые от них метапесчаники. Полученное распределение для гранитоидов соотносится с результатами работ предшественников по изучению гранитных комплексов ВКМ [1, 4, 10].

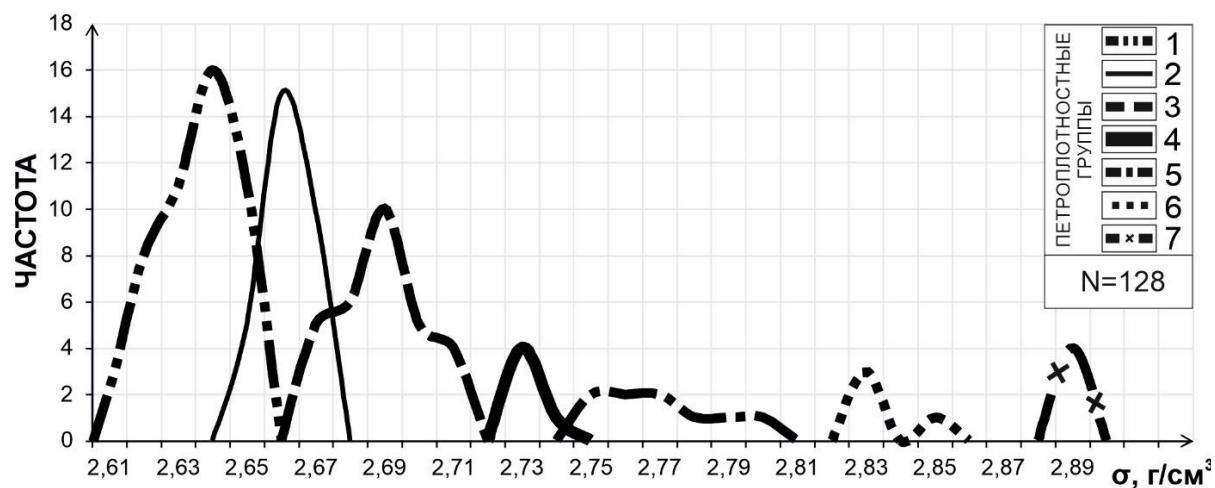


Рис. 2. Вариационные кривые распределения плотности:

Петроплотностные группы: 1-3 – гранитоиды; 4-5 – гранитизированные амфиболиты; 6-7 – амфиболиты

Однако, при более детальном рассмотрении, дополнительно выделяются три петроплотностных подтипа гранитоидов: первая группа, со средним значением $2.63 \text{ г}/\text{см}^3$, включает в себя гранитоиды поздних стадий генерации (лейкократовые граниты, гранит-аплиты) и метапесчаники; гранитоиды ранних стадий генерации (порфировидные амфибол-биотитовые граниты и граносиениты) приурочены ко второй и третьей петроплотностным группам, средние значения которых равны 2.66 и $2.68 \text{ г}/\text{см}^3$ соответственно. Характер распределения плотности для гранитоидной группы свидетельствует о многоэтапной эволюции вещества с близким составом в различных термодинамических условиях.

Вторая группа пород, представленная в разной степени гранитизированными амфиболитами, в свою очередь подразделяется на две подгруппы. На вариационной кривой первая подгруппа включает в себя третий и четвертый петрофизические типы, размах дисперсии последнего обусловлен интенсивностью процессов гранитизации, выражавшихся в изменении содержания темноцветных минералов. Вторая подгруппа представлена двумя подтипами амфиболитов: первый тип со средним значением $2.83 \text{ г}/\text{см}^3$ и второй тип, среднее значение плотности которого составляет $2.89 \text{ г}/\text{см}^3$. Причина неоднородности распределения плотности среди амфиболитов, по всей видимости, кроется в различном процентном содержании плагиоклаза.

Магнитная восприимчивость пород изучаемого комплекса так же отображает длительную историю формирования и последующего метаморфизма докембрийских образований, что выражается в полимодальном распределении указанного параметра (рис. 3).

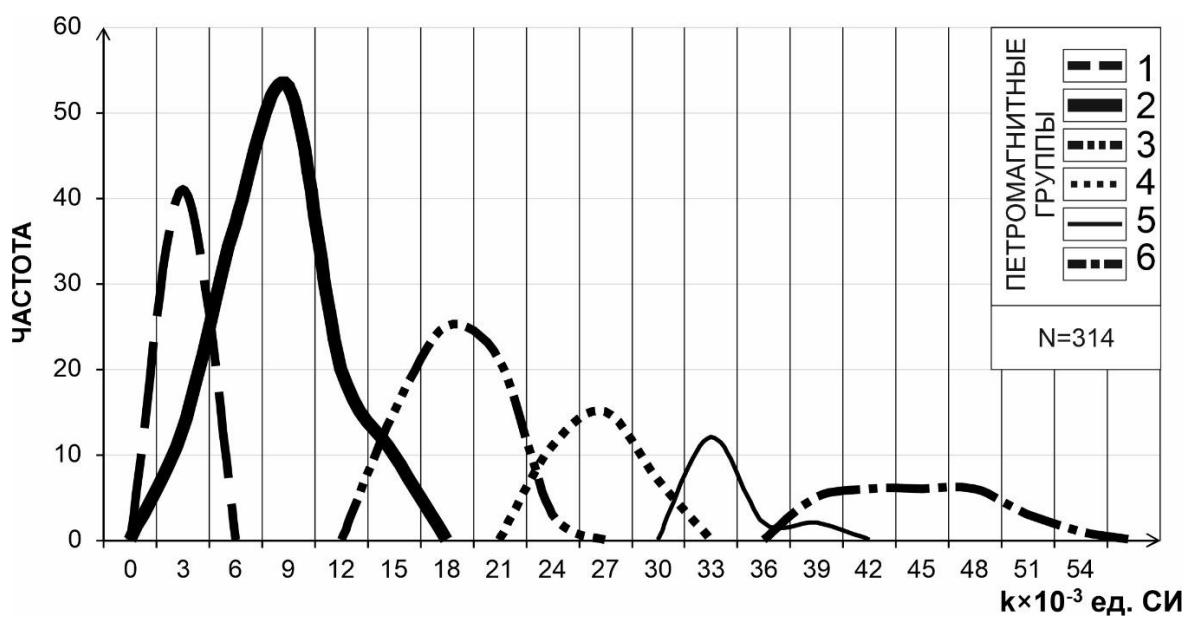


Рис. 3. Вариационные кривые распределения магнитной восприимчивости:
Петромагнитные группы: 1 – гранитоиды второй фазы генерации, амфиболиты, метапесчаники; 2-6 – гранитоиды первой фазы генерации, интенсивно гранитизированные амфиболиты

Магнитная восприимчивость не является настолько линейно увязанной с вещественным составом, как плотность, что делает необходимым привлечение минералогических и геохимических исследований для расшифровки структурно-вещественных особенностей, продуцирующих наблюдаемое распределение параметра. Однако, некоторые закономерности могут быть намечены.

Наиболее неоднозначным в вещественном выражении является первый петромагнитный тип в диапазоне $0.1\text{--}1.5 \text{ k}\times 10^{-3}$ ед. СИ, включающий в себя гранитоиды поздних фаз генерации, метапесчаники и амфиболиты (гранитизированные и неизмененные). Все прочие группы в интервале от 1.5 до $51 \text{ k}\times 10^{-3}$ ед. СИ представлены порфировидными амфибол-биотитовыми и биотитовыми гранитоидами, а также интенсивно гранитизированными амфиболитами. Стоит так же отметить присутствие в выделенном интервале гранитоидов второй фазы генерации с несвойственно высокими значениями магнитной восприимчивости. Столь широкий размах значений магнитной восприимчивости может быть обусловлен различными условиями кристаллизации ферромагнитных минералов, входящих в состав описываемых пород.

Автор благодарит своего научного руководителя к.г.-м.н. В. И. Жаворонкина за постановку задачи и помочь в её решении, д.г.-м.н. В. М. Ненахова за многочисленные консультации, а также Кирилла Гросса за предоставленный каменный материал.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев Н. С. Петрофизика земной коры ВКМ // Литосфера Воронежского кристаллического массива по геофизическим и петрофизическим данным. – Воронеж: Научная книга, 2012. – С. 21-88.
2. Геохронология ТТГ ассоциации в мезоархее Курского блока Восточной Сарматии / Савко К. А. [и др] // Вестн. Воронеж. ун-та. сер. геол., 2019. № 2. – С. 70-80.
3. Глазнев, В.Н. Строение верхней коры Елецкого участка Лосевского террейна (Воронежский кристаллический массив) по данным плотностного моделирования / В.Н. Глазнев, В.И. Жаворонкин, О.М. Муравина и др. // Вестник Воронежского госуниверситета. Серия Геология. -2019.- № 4. – С. 74-83.
4. Гросс К. А. Порофизические характеристики павловского гранитоидного комплекса (Воронежский кристаллический массив) // Геофизические и порофизические исследования: методика и интерпретация данных. Матер. молодежной научн. конф. Воронежского государственного университета. - Воронеж: ИПЦ Научная книга, 2022. – С. 32-36.
5. Жаворонкин В. И., Ильин В. В. Порофизический облик гранитоидов Даховского кристаллического массива (Северо-Западный Кавказ). XXI Междунар. конф. «Физико-химические и порофизические исследования в науках о Земле». Материалы конференции. - М.: ИГЕМ РАН, 2020. – С. 83-86.
6. Минерагенические исследования территорий с двухъярусным строением (на примере Воронежского кристаллического массива) / Ненахов В. М. [и др] // М.: ГЕОКАРТ, ГЕОС, 2007. – 284 с.
7. Муравина, О.М. Идентификационный анализ ультрамафит-мафитовых интрузий мамонского комплекса Воронежского кристаллического массива / Муравина О.М., Чернышова М.Н., Жаворонкин В.И. // Вестник Камчатской региональной организации. Серия: Науки о Земле. - 2019. - № 3 (43). – С. 88-98.
8. Ненахов В. М., Бондаренко С. В. Тектоническая эволюция Лосевской шовной зоны Воронежского кристаллического массива в палеопротерозое // Геотектоника. – 2011. - №4. – С. 43-59
9. Никитин А. В., Ненахов В. М. О происхождении гранитоидов павловского комплекса и их структурных преобразованиях на стадии консолидации коры // Вестн. Воронеж. ун-та. сер. геол. 2017. №3. – С. 46-60.
10. Петроплотностная карта докембрийского фундамента Воронежского кристаллического массива / Глазнев В. Н. [и др] // Воронеж: ИПЦ Научная книга, 2020. – 101 с.

PETROPHYSICAL CHARACTERISTICS OF PAVLOVSKY COMPLEX GRANITOIDS AND ROCKS ASSOCIATED WITH THEM (VORONEZH CRYSTALLINE MASSIF)

Vitalii Ilin
Voronezh State University, Voronezh
vitaliy.ilin.2000@bk.ru

Summary. New information about petrodensity and petromagnetic properties of granitoids of the pavlovsk complex and rocks genetically related to them is presented.

Key words: granitoids, pavlovsk complex, density, magnetic susceptibility, correlation.

УДК 550.837

БУРОВЫЕ РАСТВОРЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ДАННЫЕ КАРОТАЖА МЕТОДОМ СПОНТАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

*Исламгалиев Дмитрий Владимирович
УГГУ, г. Екатеринбург
Dmitriy.Islamgaliev@m.ursmu.ru*

Аннотация. В настоящее время существует большое количество разно-видностей буровых растворов, которые помогают облегчить бурение скважин. При этом работа над эффективностью бурового раствора требует достаточно больших денежных вложений, так как раствор должен сохранять свои характеристики при бурении, охаживать бурильные инструменты, предотвращать обвал скважин. Кроме этого, наносить как можно меньший вред экологии окружающей среды. Но есть и обратная сторона в том, что компоненты бурового раствора усложняют обработку результатов геофизических исследований скважин методами электроразведки, что может привести к неправильной интерпретации данных каротажа, искажающей определение залегания горных пород, завышенной или заниженной оценке водных, газовых или нефтяных запасов исследуемых пластов-коллекторов или других требуемого для добычи минерального сырья. В данной статье рассмотрено влияние бурового раствора на величину электрического потенциала при каротаже методом спонтанной поляризации, учитывающей такие параметры как кинематическая вязкость, динамическая вязкость, плотность, удельное электрическое сопротивление бурового раствора, диаметр скважины, подвижность и радиус ионов растворов, адсорбция двойного электрического слоя, создаваемая на границе пласт–скважина.

Ключевые слова: буровой раствор, геологоразведочная скважина, адсорбционный потенциал, вязкость.

Исследуем влияния буровых растворов (таблица 1) и оценим величину адсорбционного потенциала по данным, приведенным Булатовым А.И. в [1]. В таблице 1 представлен переход условной вязкости к $^{\circ}BV$ и кинематической вязкости.

Таблица 1

Исходные характеристики буровых растворов [2]

Буровой раствор	Условная вязкость, с	Плотность, г/см ³	$^{\circ}BV$	Кинематическая вязкость, 10^{-6} м ² /с
техническая вода	15	1	1	1
нестабилизированные суспензии	25–50	1.05–1.24	1.67–3.33	8.39–22.47
гуматные	20–60	1.03–2.2	1.33–4	5–27.6
лигносульфатные	18–40	1.06–2.2	1.2–2.67	3.5–17.1
полимерные недиспергирующие	20–60	1.03–2	1.33–4	5–27.6
известковые с высоким pH	18–30	1.08–2.2	1.2–2	3.5–11.5
известковые с низким pH	25–40	1.04–2.2	1.67–2.67	8.4–17.1
безглинистые солестойкие	20–60	1.1–1.12	1.33–4	5–27.7
гипсоизвестковые	25–40	1.04–2.2	1.67–2.67	8.4–17.1

силикатные	20–40	1,05–2	1,33–2,67	5–17,1
гидрофобизирующие	18–20	1,06–1,18	1,2–1,33	3,5–5
необработанные глинистые супензии	20–40	1,2–2	1,33–2,67	5–17,1
стабилизированные соленостойкие	20–60	1,2–2	1,33–4	5–27,7
раствор на основе гидрогеля магния	20–40	1,2–2	1,33–2,67	5–17,1
ЭК–1	150–200	1,03–2,1	10–13,33	72,5–97

Используя данные таблицы 1, в таблице 2 получены динамическая вязкость и удельная поверхность.

Таблица 2
Полученные характеристики буровых растворов [2]

Буровой раствор	Динамическая вязкость, 10^{-3} кг/(м·с)	Удельная поверхность, 10^3 м ² /кг
техническая вода	1	20
нестабилизированные супензии	8.9–26.5	16.1–19
гуматные	5.1–60.9	9–19.4
лигносульфатные	3.7–37.7	16.1–18.9
полимерные недиспергирующие	5.1–55.3	10–19.4
известковые с высоким pH	4.2–23	9–18.5
известковые с низким pH	8.7–37.7	9–19.2
безглинистые соленостойкие	5.5–31	17.8–18.2
гипсоизвестковые	8.7–37.7	9–19.2
силикатные	5.2–34.3	10–19
гидрофобизирующие	3.7–6	16.9–18.9
необработанные глинистые супензии	6–34.3	10–16.7
стабилизированные соленостойкие	6–55.3	10–16.7
раствор на основе гидрогеля магния	6–34.3	10–16.7
ЭК–1	79.7–109	9.5–19.4

В таблице 3 приведены результаты расчетов величин адсорбции и потенциалов, создаваемых на границах бурового раствора с глинами и продуктивными породами-коллекторами углеводородов (песчаниками или алевролитами) при различных числах [2] переносов (0,6 и 0,4).

Таблица 3
Адсорбция и потенциал, вызванные буровым раствором [2]

Буровой раствор	УЭС, Ом·м	Адсорбция, 10^{-6} моль/кг	Потенциал, мВ	Адсорбция, 10^{-6} моль/кг	Потенциал, мВ
Разность чисел переноса	0.6		0.4		
техническая вода	1	0.16	0.01	0.1	0.04
нестабилизированные супензии	2	0.26–0.3	0.27–0.94	0.82–0.97	0.56–2
гуматные	2	0.15–0.31	0.09–2.2	0.46–0.99	0.18–4.6
лигносульфатные	2	0.26–0.3	0.11–1.3	0.82–0.96	0.23–2.8

полимерные недиспергирующие	2	0.16–0.31	0.1–2	0.5–0.99	0.2–4.2
известковые с высоким pH	2	0.15–0.3	0.07–0.8	0.46–0.94	0.15–1.7
известковые с низким pH	2	0.15–0.31	0.15–1.35	0.46–0.98	0.31–2.8
безглинистые солестойкие	2	0.29–0.3	0.18–1	0.9–0.93	0.38–2.2
гипсоизвестковые	2	0.15–0.31	0.15–1.35	0.46–0.98	0.31–2.8
силикатные	2	0.16–0.31	0.1–1.2	0.51–0.97	0.2–2.6
гидрофобизирующие	2	0.27–0.3	0.12–0.13	0.86–0.96	0.25–0.27
необработанные глинистые суспензии	4	0.16–0.27	0.22–2.2	0.51–0.85	0.47–4.5
стабилизированные соленостойкие	4	0.16–0.27	0.22–3.5	0.51–0.85	0.47–7.2
раствор на основе гидрогеля магния	4	0.16–0.27	0.22–2.2	0.51–0.85	0.47–4.5
ЭК-1	6	0.15–0.31	4.2–12	0.48–0.99	9–25

При применении растворов на пресной и морской воде [3] потенциал уменьшается до 4 мВ, на полимерных растворах – до 6 мВ, на соленасыщенных растворах – до 10 мВ, на углеводородной основе – до 40 мВ. Существенное влияние на потенциал растворов обусловлено значительным вкладом вязкости применяемой жидкости. Эти величины являются достаточно существенными при интерпретации данных каротажа методом спонтанной поляризации (ПС) при определении фильтрационно-емкостных параметров продуктивных пластов и требуют учета [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Булатов А. И., Проселков Ю. М., Шаманов С. А. Техника и технология бурения нефтяных скважин. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр». – 2003. – 1007 с.
- Исламгалиев Д. В., Ратушняк А. Н. Влияние бурового раствора на величину потенциала спонтанной поляризации при каротаже скважин // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 11-1. — С. 46—54. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_111_0_46.
- ИТС 28-2017 «Добыча нефти»: приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 декабря 2017 г. № 2838 (введен с 1 июля 2018 года). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

DRILLING FLUIDS AND THEIR INFLUENCE ON THE POTENTIAL OF SPONTANEOUS POLARIZATION OF WELL LOGGING

*Islamgaliev Dmitriy Vladimirovich
UrSMU, Ekaterinburg
Dmitriy.Islamgaliev@m.ursmu.ru*

Summary. There are a larger number of types of drilling fluids that help facilitate well drilling currently. At the same time, the work on the effectiveness of the drilling fluid requires a sufficiently large investment, since the drilling fluid

must maintain its characteristics, cool the drilling tools, prevent wells from collapsing and cause as little harm to the environment as possible. But there is also a downside, in that the components of the drilling fluids shall complicating the processing of the results of geophysical learning of wells using electrical exploration methods, which can lead to incorrect interpretation of logging data, distorting the determination of the occurrence of rocks, overestimating or underestimating the water, gas or oil reserves of the learned reservoirs or others required for the extraction of mineral raw materials. This article considers the influence of the drilling fluid on the electric potential during logging by the spontaneous polarization method, taking into account such parameters as kinematic viscosity, dynamic viscosity, density, specific electrical resistance of the drilling fluid, borehole diameter, mobility and ionic radius, adsorption of an electric double layer created at the reservoir boundary–well.

Key words: drilling mud, expendable well, adsorption potential, viscosity.

УДК 550.8

ПОДХОДЫ К АВТОМАТИЗАЦИИ ПОИСКА ИНТЕРВАЛОВ РАЗРУШЕННОГО СТВОЛА СКВАЖИНЫ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ИНТЕРПРЕТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПО ДАННЫМ ГИС

^{1,2}*Казарян Анжела Арменовна, ¹Лубянская Евгения Александровна*

¹*ООО «РН-БашНИПИнефть», г. Уфа*

²*Уфимский Университет Науки и Технологий, г. Уфа*

^{1,2}*AA_Kazarian@bnipi.rosneft.ru*

Аннотация. Работа посвящена подходам к поиску интервалов разрушенного ствола скважины при построении интерпретационной модели по данным геофизических исследований скважин. Целью исследования является автоматизация поиска интервалов разрушенного ствола по кривой каверномера. Показана необходимость определения участков разрушенного ствола по кривой каверномера для корректной интерпретации геофизических исследований скважин ГИС. Рассмотрены существующие классические подходы и разработан новый автоматизированный метод определения интервалов разрушения ствола скважины.

Ключевые слова: интерпретационная модель, разрушенный ствол, геофизические исследования скважин, автоматизация, дерево решений.

Процесс интерпретации данных ГИС включает в себя несколько этапов, одним из важнейших является этап предобработки исходных данных геофизических исследований скважин (ГИС). На данном этапе происходит сбор и систематизация данных, увязка, калибровка, сшивка кривых ГИС, нормализация с последующей стандартизацией кривых ГИС (гамма-каротаж (ГК), нейтронный каротаж (НК)), восстановление показаний плотностного (ГГКп) и акустического (АК) каротажей в интервалах разрушенного ствола скважины.

Для корректного восстановления ГГКп и АК необходимо учитывать интервалы разрушенного и неразрушенного ствола, так как существенное влияние на результаты измерений ГГКп и АК оказывает изменение диаметра скважины. При диаметре каверн 200-250 мм и более, рассеяние гамма-квантов происходит в промывочной жидкости и этим интервалам соответствуют аномальные значения кривой ГГКп [1].

Обширные зоны размывов и каверн, которые отмечаются по кривой каверномера (ДС), влияют также и на показания акустического метода. Акустический каротаж в основном варианте сводится к определению скорости распространения упругих колебаний в горных породах (АК по скорости); могут также определяться поглощающие свойства горных пород (АК по затуханию) [2]. Скорость распространения упругих волн в горных породах зависит от их минералогического состава, пористости и формы порового пространства и, следовательно, тесно связана с их литологическими и петрографическими свойствами [2, 3]. Сильное влияние на акустические волны оказывает также глинистость пород. По этой причине в процессе интерпретации плотностной и акустический каротажи следует комплексировать с кавернometрией и другими методами ГИС для исключения влияния размытых глин и разрушенных слабосцепментированных песчаников. В связи с этим определение разрушенных/неразрушенных участков ствола скважины по диаметру скважины ДС является актуальной задачей для дальнейшей корректной интерпретации данных ГИС.

В рамках традиционного метода интервалы разрушения определяются по фактическому номинальному диаметру породоразрушающего инструмента. Фактический

диаметр скважины становится больше номинального диаметра долота за счет разрушения стенок скважины. Достоинством данного метода считается достоверность информации. Недостатками являются отсутствие информации в официальных базах данных в виде las-файлов и трудоемкий процесс сбора информации о номинальном диаметре/размерах долот в отчетах по большому объему скважин.

Предложенная автоматизированная методика определения интервалов разрушенного ствола по ДС заключается в использовании дерева решений. Алгоритм автоматизированного расчета номинального диаметра скважины представлен в виде блок-схемы на рисунке (рис. 1). В качестве входных параметров задаются каротажная кривая ДС, число уровней дерева решений и процент содержания глинистой корки.

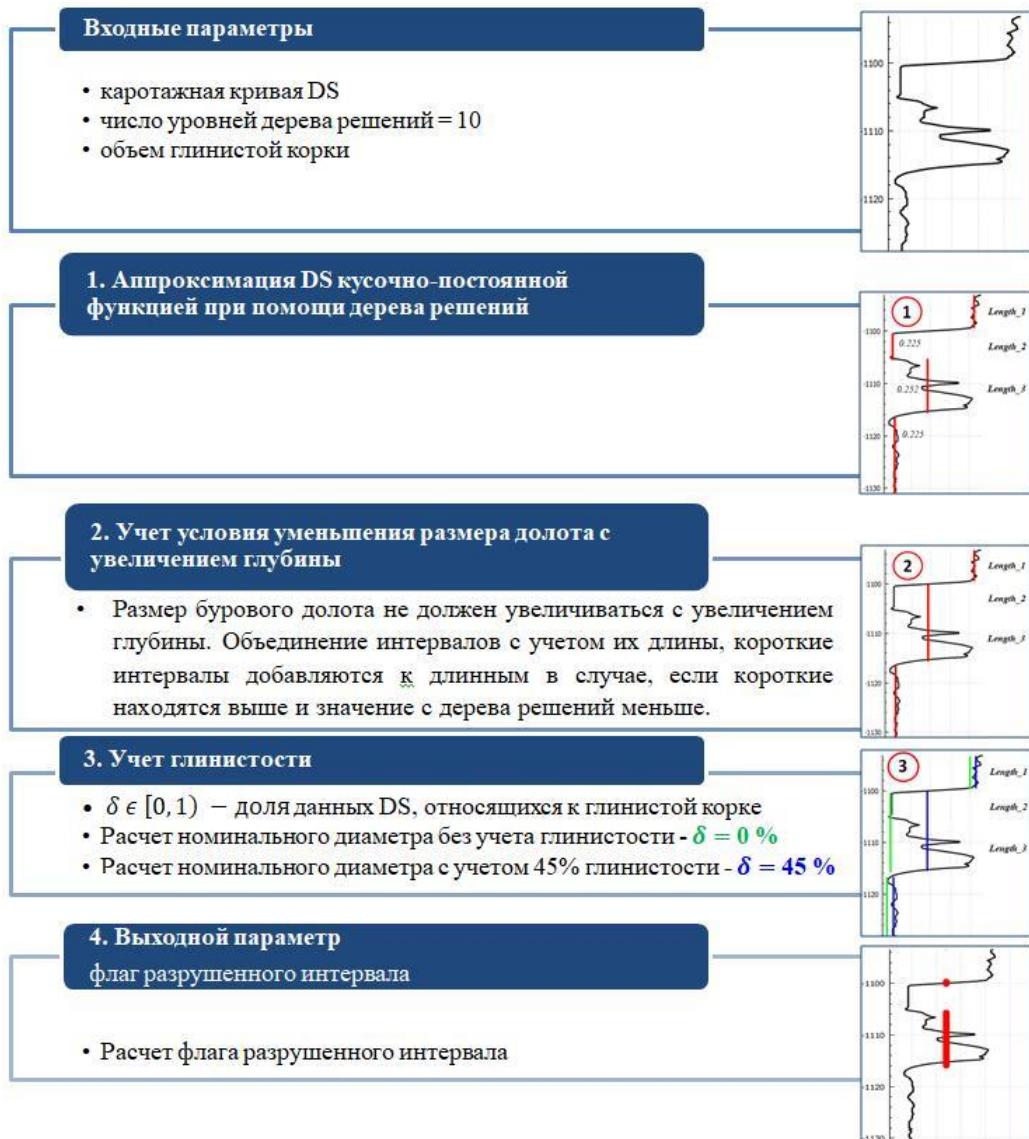


Рис. 1. Алгоритм расчета флага разрушенного интервала

На рисунке 2 представлены случаи учета глинистой корки и разрушенного интервала. В случае 1 размер интервала $length_2$ меньше, чем $length_3$, поэтому алгоритм считает интервал за глинистую корку. В случае 2 интервал $length_2$ меньше, чем интервал $length_1$, в таком случае алгоритм считает его за разрушение ствола.

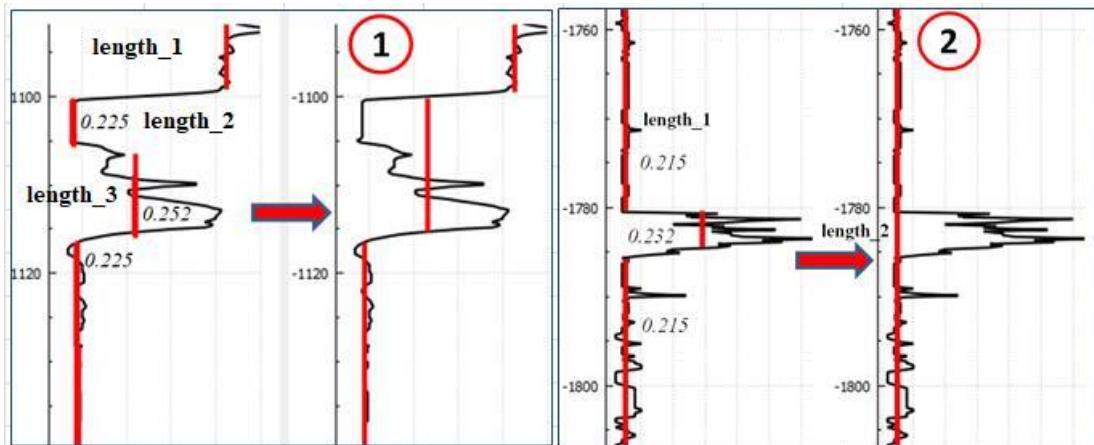


Рис. 2. Пример учета условия уменьшения размера долота

На рисунке 3 представлен случай аппроксимации ДС, используя дерево решения. Красная линия описывает случай $\delta = 0\%$ – то есть считается, что глинистая корка в данном случае отсутствует. Зеленая кривая смещена влево за счет влияния глинистости $\delta = 45\%$.

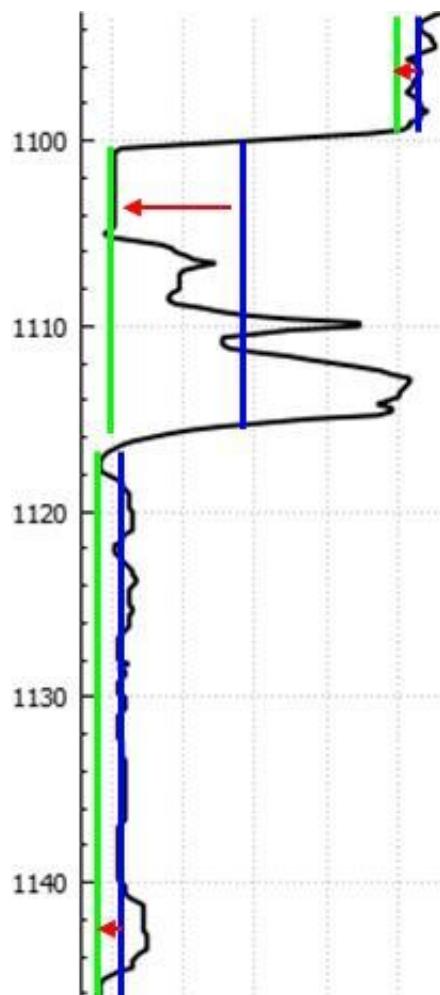


Рис. 3. Пример учета глинистости

На рисунке 4 представлен результат аппроксимации кривой ДС при помощи дерева решений и расчета интервалов разрушенного ствола скважины.

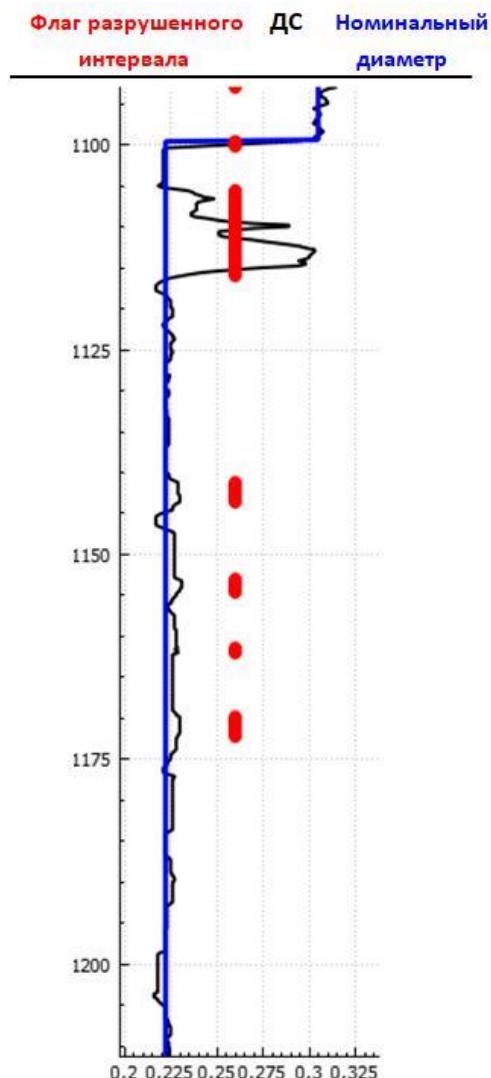


Рис. 4. Расчет флага разрушенного интервала

Предложенная в ходе исследования методика, позволила с использованием данных кавернometрии определить в автоматизированном режиме участки разрушенного ствола в скважинах. Полученные результаты в дальнейшем будут применены для корректного восстановления кривых акустического и плотностного каротажей в разрушенных интервалах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акиньшин А. В., Кантемиров Ю. Д. Практическое руководство по интерпретации геофизических исследований скважин: монография. – ООО “Тюменский нефтяной научный центр”, 2021. – 122 с.
2. Залиев Н.З. Методика автоматизированной интерпретации геофизических исследований скважин. – Мин.: Университетское, 1990. – 144 с.
3. Туренко С. К. Адаптивный подход к обработке данных геофизических исследований скважин при построении сейсмогеологических моделей нефтегазовых объектов. Нефтяное хозяйство. - № 5. - 2016. – С. 34–37.

APPROACHES TO AUTOMATING THE SEARCH FOR INTERVALS OF A DESTROYED WELLBORE WHEN BUILDING AN INTERPRETIVE MODEL BASED ON WELL LOGGING DATA

^{1,2}*Angela Armenovna Kazaryan, ¹Lubyanskaya Evgenia Aleksandrovna*

¹*RN-BashNIPIneft LLC, Ufa*

²*Ufa University of Science and Technology, Ufa*

^{1,2}*AA_Kazarian@bnipi.rosneft.ru*

Summary. The work is devoted to approaches to searching for intervals of a destroyed wellbore for an interpretation modeling based on well logging data. The purpose of the study is to automation of the search for the intervals of the destroyed wellbore according to the caliper curve (DS). It is shown that it is necessary to determine the intervals of the destroyed wellbore according to the caliper curve for the correct interpretation of well logging. Existing classical approaches are considered and a new automated method for determining wellbore failure intervals is developed.

Key words: interpretation model, destroyed wellbore, well logging, automation, decision tree.

УДК 550.31

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ПОИСКА ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ПРЕДЕЛАХ КАРЕЛЬСКИХ ЗЕЛЕНОКАМЕННЫХ ПОЯСОВ

¹*Кириллов Виктор Станиславович*, ²*Келарев Дмитрий Александрович*,

²*Мирошниченко Юлия Владимировна*

¹*ООО «СЗГГК «Геокомплекс», г. Санкт-Петербург*

²*Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург*

¹*vikkirkirillov@yandex.ru*, ²*kelarevdmitry06@yandex.ru*

Аннотация. Объектом исследования является Пертинъярвинская площадь, совпадающая по своему пространственному положению с центральной частью Ялонвара-Хатту-Лендерского зеленокаменного пояса. В данной работе рассматриваются данные комплексных геофизических работ, проведенных в летний сезон 2022 г. сотрудниками компании СЗГГК “Геокомплекс” и студентами Санкт-Петербургского Горного Университета. Далее дается описание алгоритма комплексной обработки и интерпретации собранных данных. И на основе данных обработки и интерпретации формулируются геофизические критерии рудоносности рассматриваемой площади.

Ключевые слова: геофизические критерии, электроразведка, магниторазведка, Карелия, Зеленокаменный пояс, золото.

Краткий геологический очерк.

Исследуемая площадь, расположена в пределах Ялонвара-Хатту-Лендерского архейского зеленокаменного пояса (ЗКП), входящего в состав региональной зеленокаменной структуры Хатту-Иломантси, северная часть которой располагается на территории Финляндии. Рассматриваемому ЗКП присущи преимущественно субмеридиональное простижение и сложное внутреннее строение, характеризующееся чередованием фрагментов существенно зеленокаменного разреза и блоков гранитоидов.

Вдоль осевой части комплекса расположена региональная линейная тектоническая область, выполненная серией разломов сонаправленных разрывных нарушений, сопряженных с главной структурой.

Стратифицированные отложения площади представлены ниже- и средне- лопийскими осадочно-вулканогенными комплексами ялонварской свиты, имеющими вид серии вытянутых, простирающихся субмеридионально, структур.

Часть интрузивных комплексов, обрамляющих стратифицированные толщи ялонварской свиты, относится к среднему лопию, то есть сопоставимы по своему возрасту с породами ялонварской свиты и предположительно синорогенны с ними. Более молодые гранитоиды (верхний лопий) распространены преимущественно на периферии ЗКП представлены более крупными интрузивами [1].

Материалы для исследования собирались в период август-октябрь 2022 г. сотрудниками компании ООО СЗГГК “Геокомплекс” и включали в себя съемки методами магниторазведки и электроразведки ВП в модификации срединного градиента в масштабе 1:5000, по сети 50x5 и 50x10 соответственно. Съемка велась с целью выявления и прослеживания рудных тел и определение границ рудовмещающей зоны.

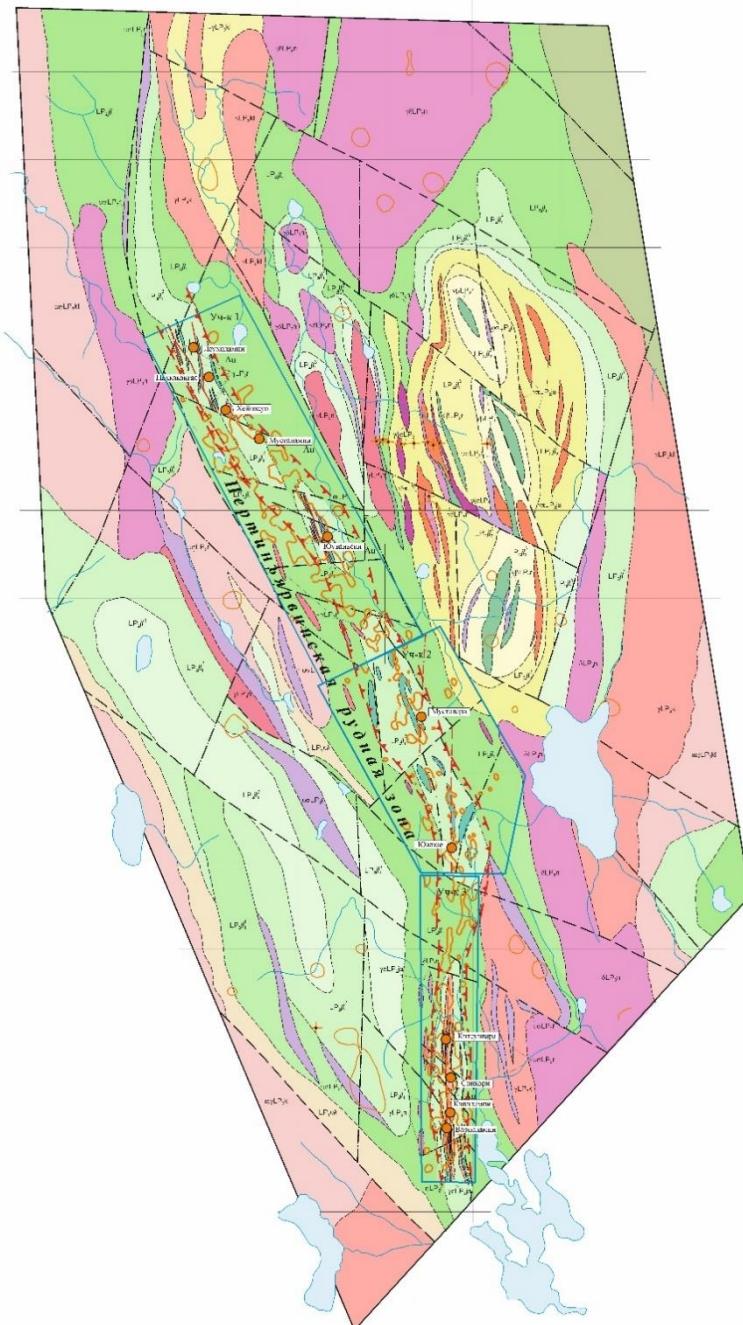


Рис. 1. Геологическая схема исследуемой площади

Магниторазведка.

Съемка велась протонными магнитометрами (на эффекте Оверхаузера) MiniMag, производства ООО "Геодевайс".

Для участка характерны целом спокойные значения аномального магнитного поля (при средних значениях порядка -150 нТл) с линейными локальными положительными высокоамплитудными аномалиями (до 8500 нТл).

Исследуемую площадь можно формально разделить на три части, по характеру и морфологии аномалий.

В юго-восточной части аномалии имеют субмеридиональное направление. Область осложнена разноамплитудной аномалией, дискретное строение которой, вероятнее всего, связано с рядом тектонических нарушений

Для юго-западной части участка присуще преимущественно северо-западное простирание аномалий. В том числе на западе выделяется локальная невыдержанная по амплитуде аномалия, также предположительно связанная с разрывными нарушениями.

На северной части участка получили распространение субмеридиональные линейно-вытянутые аномалии с низкой амплитудой, а также ряд высокоамплитудных изометрических аномалий

Электроразведка

Съемка велась в частотной области установкой срединного градиента, шаг MN 20 м, разнос АВ порядка 8000 м. Были использованы измерители SGD-EEM "MEDUSA-B2" и генератор SKAT-2000 производства ООО НПК «СибГеофизПрибор».

Основываясь на первичном анализе распределения удельного электрического сопротивления (УЭС), можно сделать вывод о том, что основная площадь участка работ сложена преимущественно высокоомными комплексами ($r_k > 14000 \text{ Ом} \cdot \text{м}$), внутри которых расположены линейные области пониженного сопротивления. В целом простирание аномалий выдержано в СЗ направлении (по азимуту 330^0), за исключением центральной части в которой прослеживается аномалия субмеридионального простирания.

Значения поляризуемости изменяются в диапазоне от 0.4 до 9%, при фоновом значении порядка 1.8%.

Аномалии поляризуемости пространственно коррелируют с тектоническими нарушениями и представляют собой линейные, узкие (100-200 м в поперечнике) области СЗ (редко субмеридионального) простирания. Для аномалий характерны высокие амплитуды и градиенты, что косвенно указывает на близкие к вертикальным углам падения аномальнообразующих тел.

Обработка и интерпретация.

Первым этапом обработки и интерпретации стали расчеты трансформант геофизических полей и линеаментный анализ.

Для контрастирования отображения границ СВК и разрывных нарушений в геофизических полях был рассчитан ряд трансформант и фильтраций, таких как: вертикальный и полный горизонтальный градиенты, фильтр “аналитический сигнал”, Tilt.

На основе исходных и полученных в ходе расчетов матриц, был произведен линеаментный анализ геофизических полей. Линеаментный анализ позволяет выявить линейные структуры в геологическом строении исследуемой площади, отождествляемые с контактами СВК контрастных по своим петрофизическим свойствам, проявлением разрывной тектоники, линейными геологическими телами (жилы, дайки, линзы) [2].

В результате проведения линеаментного анализа было выявлен СЗ и субмеридиональный тренд простирания основных структур и разрывных нарушений. Данная информация необходима для дальнейшего определения критериев рудоностности, так как для рассматриваемых рудопроявлений предполагается структурно-тектонический контроль оруденения.

Следующим шагом в обработке было проведение кластерного анализа при помощи многомерного статистического анализа данных геофизики, при помощи модуля cluster, в программном обеспечении statistica. Данное ПО использует алгоритм К-средних (K-means), суть действия которого заключается в построении строит ровно K различных кластеров, расположенных на возможно больших расстояниях друг от друга. В кластеризации методом К средних программа перемещает объекты т.е. наблюдения из одних групп (кластеров) в другие для того, чтобы получить наиболее значимый результат при проведении дисперсионного анализа [3].

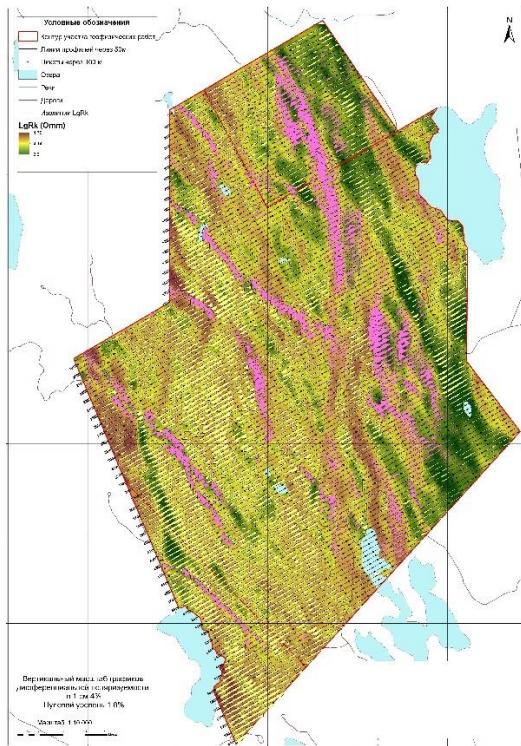


Рис. 2а. Карта графиков дифференциальной поляризуемости (η) на изолиниях удельного электрического сопротивления (УЭС, ρ_k)

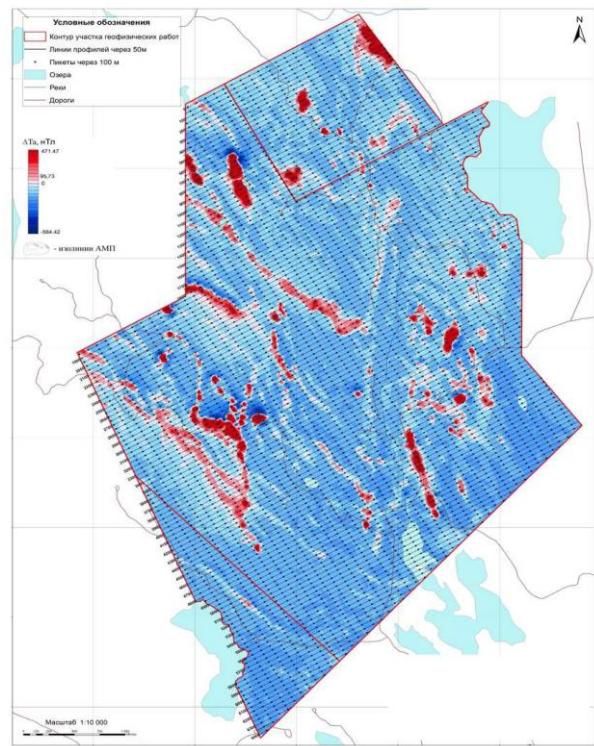


Рис. 2б. Карта изолиний аномального магнитного поля

Результаты кластерного анализа представлены в виде карты классов. В каждый класс помещены значения дифференциальной поляризуемости далее – поляризуемость или η , кажущегося удельного сопротивления (ρ_k) и аномального магнитного поля (ΔT_a), которые коррелируют с друг другом определенным образом в пределах кластера. В таблицах классов указаны средние значения параметров для каждого кластера.

В дальнейшем карта классов используется для построения геолого-геофизической структурной схемы.

В конечном итоге интерпретация заканчивается геологическим истолкованием аномалий и построением согласованной по всем полям комплексной геолого-геофизической структурной схемой.

Также в ходе исследования были рассмотрены возможности нейросетевых алгоритмов геологического прогноза. Расчеты проводились при помощи алгоритма на основе нейросетевых технологий, независимо от результатов комплексной интерпретации геофизических данных с целью выделения перспективных площадей по совокупному результату комплексной интерпретации и формализованного прогноза.

Алгоритм формализованного геологического прогноза методом машинного обучения с использованием свёрточных нейронных сетей за авторством Григорьева Г.К.

Поисковые критерии.

В качестве вмещающих пород на рассматриваемом участке выступают преимущественно метавулканиты и туфогенные образования среднего и средне–кислого состава. Для данных комплексов характерны аномалии субмеридионального направления, за исключением северной части. Они отличаются дискретными менее интенсивными аномалиями ΔT_a от -400 до +2000 нТл при фоновых значениях -200-0 нТл, довольно высокими значениями $\eta > 1.8\%$ почти на всей площади комплекса и широким диапазоном значений ρ_k от 5000-60000 Ом*м.

По результатам линеаметного анализа было определено, что структурный контроль осуществляется серией субпараллельных разрывных нарушений СЗ и субмеридионального простирания, входящих в состав региональной сдвиговой зоны, приуроченной к Ялонвара-Хатту-Лендерскому ЗКП. Большинство этих нарушений выражены зонами рассланцевания, дробления и метасоматического изменения пород.

Локализуется руда в зонах гидротермально-метасоматической проработки пород, рядом с жилами кварца в зонах интенсивного тонкого прожилкового окварцевания. По итогам анализа данных на участке прослеживается устойчивая корреляция закономерностей размещения оруденения с положением линейной зоны субмеридионального простирания. Также в центральной части участка с уже известными рудопроявлениями выделяется ряд перспективных зон по своим геофизическим параметрам схожих с центральной. Для них характерны высокие значения корреляции локальных повышений аномального магнитного поля и поляризации с градиентными или зонами локальных понижений r_k . Они проходят вдоль северо-западных тектонических нарушений, ограниченных центральной тектонической зоной с востока. В центральной зоне замечено некоторое снижение интенсивности аномалий ΔT_a и η , а также снижение степени корреляции этих аномалий, зачастую максимумы аномалий ΔT_a смешены относительно максимумов η .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вороняева Л.В., Координация, оценка качества и результативности поисково-оценочных работ по Пертиньярвинскому и Соанварскому участкам недр в Суоярвском районе Республики Карелия, СПБ, 2014.
2. Шереметьева, Е. В. Изучение скрытых тектонических нарушений и глубинных неотектонических процессов Московской синеклизы при помощи линеаментного анализа земной коры / Е. В. Шереметьева // Разведка и охрана недр. – 2014. – № 7. – С. 3-6. EDN: SIAOKT.
3. Hartigan, J.A. Clustering Algorithms// Probability & Mathematical Statistics/ Jhon Wiley& Sons Inc, 1975. – 351 p.

GEOPHYSICAL CRITERIA OF THE SEARCH FOR GOLD DEPOSITS WITHIN THE KARELIAN GREENSTONE BELTS

¹Kirillov Viktor, ²Kelarev Dmitriy, ²Miroshnichenko Yulia
¹NWGGC «Geocomplex», ²Saint Petersburg mining university, Saint Petersburg
¹vikkirkirillov@yandex.ru, ²kelarevdmitry06@yandex.ru

Abstract. The object of the study is the Pertinyarva square, which coincides in its spatial position with the central part of the Yalonvar-Hattu-Lender green belt. This paper examines the data of complex geophysical works carried out in the summer season of 2022 by the company NWGGC "Geocomplex". The following is a description of the algorithm for complex processing and interpretation of the collected data. And based on the processing and interpretation data, geophysical criteria for the ore content of the area under consideration are formulated.

Keywords: geophysical criteria, electrical exploration, magnetic exploration, Karelia, Greenstone belt, gold.

УДК 550.838

ГИДРОМАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ НА АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ

*Кочетов Михаил Владимирович
АО «МАГЭ», г. Москва
kochetov.mv@mage.ru*

Аннотация. В статье рассмотрены возможности применения гидромагнитной съёмки в комплексе с высокоразрешающей сейсморазведкой при инженерно-геологических изысканиях на арктическом шельфе с целью выявления потенциально опасных зон для постановки плавучей буровой установки. В результате комплексной интерпретации гидромагнитных и сейсмоакустических данных выявлены площади распространения палеоврезов. Проведено 2D геомагнитное моделирование по профилю, пересекающему потенциально опасные структуры в районе работ, по результатам которого получены значения магнитной восприимчивости пород разреза.

Ключевые слова: гидромагнитная съёмка, сейсмоакустические исследования, инженерно-геологические изыскания, палеоврезы, геомагнитное 2D моделирование.

Главная задача инженерно-геологических исследований на шельфе заключается: в комплексном изучении особенностей строения верхней преимущественно горизонтально-слоистой части разреза до глубины одного километра, определении инженерно-геологических и инженерно-геокриологических условий района работ, а также поиске потенциально опасных объектов и неблагоприятных явлений для строительства морской нефтегазовой инфраструктуры. Конечной целью исследований является определение возможности размещения полупогруженых и плавучих буровых установок в проектной точке.

В июле 2022 года специалисты АО «МАГЭ» на ИС «Аквамарин» выполнили гидромагнитные наблюдения в комплексе с высокоразрешающей сейсморазведкой в южной части шельфа Карского моря на участке инженерно-геологических изысканий площадью 25 км². Измерения проведены на 51 меридиональном и 26 широтных профилях. Расстояние между меридиональными профилями – 100 м, широтными – 200 м. Длина каждого профиля 5 км. Всего на объекте выполнено 385 пог. км комплексных наблюдений.

Гидромагнитная съемка (ГМС) входит в стандартный комплекс геофизических методов при инженерно-геологических изысканиях и выполняется с целью обнаружения и картирования магнитоактивных неоднородностей на морском дне и в верхней части осадочного чехла, как техногенного характера, так и геологической природы.

Измерения модуля полного вектора индукции магнитного поля (МП) T проводились магнитометром SeaSPY2 с точностью измерительного датчика 0,1 нТл. Для определения высоты прибора над дном (альтитуды) в магнитометре установлен альтиметр — высокоточный эхолот, а также датчик давления. Пространственная привязка съемочных галсов осуществлялась системой подводного гидроакустического позиционирования Sonardyne Ranger 2 USBL с точностью $\pm 0,5$ м. Регистрация данных осуществлялась с частотой дискретизации 1 с. Обработка материалов проводилась в программном комплексе Geosoft Oasis montaj.

ГМС выполнена с огибанием рельефа морского дна. Глубина моря на участке исследований варьирует от 69 до 87 метров. На протяжении всех работ магнитометр

удерживался в коридоре глубин 10-20 метров от донной поверхности и буксировался на расстоянии от судна равном трём его длинам. Данный методический подход позволил регистрировать сигнал от самых незначительных по размерам магнитоактивных неоднородностей и минимизировать девиационную помеху в наблюдениях. Оставшаяся девиационная составляющая компенсировалась на стадии уравнивания съёмки. Для учета вариаций МП использовалась донная магнитовариационная станция Sentinel, установленная непосредственно в районе работ.

Чтобы не потерять возможные низкоамплитудные аномалии, фильтрация наблюденных значений МП была минимальной – применялся фильтр Баттерворта шириной 15 метров. Аномальное магнитное поле (АМП) рассчитывалось по формуле (1), где T — измеряемая величина (полный вектор индукции) МП, T_n — нормальное МП Земли, δT — вариации МП. По вычисленным значениям АМП в точках пересечения меридиональных и широтных профилей по формуле (2) рассчитывалась средняя квадратичная погрешность (СКП) σ съёмки, где n – количество повторных измерений, δ_i – разность значений поля в точках пересечения профилей.

$$\Delta T_a = T - T_n - \delta T \quad (1)$$

$$\sigma = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n \delta_i^2 / 2n} \quad (2)$$

После вычисления невязок АМП в точках пересечения профилей выполнялось уравнивание измерений итеративным способом. При количестве точек пересечений профилей $n=1326$ СКП съемки до уравнивания составила: $\pm 2,76$ нТл, после уравнивания по постоянной составляющей $\pm 2,05$ нТл, после уравнивания полиномами $\pm 1,2$ нТл. По уравненным значениям поля рассчитывалась цифровая модель (ЦМ) АМП с ячейкой интерполяции 25 метров (рис.1).

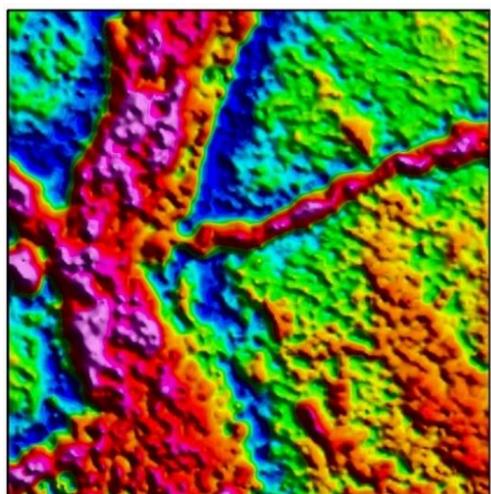


Рис. 1. ЦМ АМП

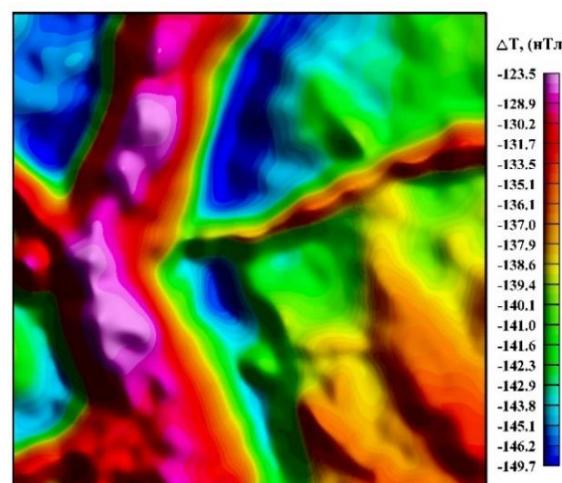


Рис. 2. ЦМ региональных АМП

К наиболее распространённым опасным геологическим объектам можно отнести: области развития предположительно мерзлых грунтов, палеоврезы и палеодепрессии, а также интервалы разреза с повышенной газонасыщенностью. Исследуемые объекты поисков проявляются в высокочастотной составляющей МП, и для их выделения использовалась локальная составляющая АМП, которая рассчитывалась методом пересчёта исходного поля (рис.1) в верхнее полупространство на высоту 150 м (рис. 2) и дальнейшего

вычитания результатов пересчёта из исходных данных (рис. 3).

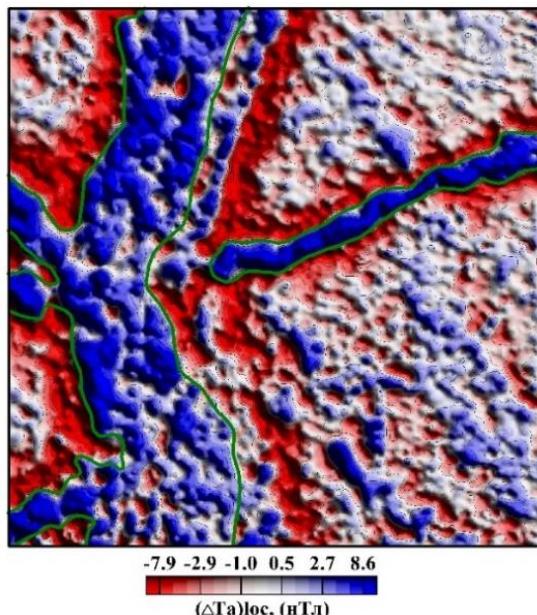


Рис. 3. Карта локальной составляющей АМП исследуемого участка. Зеленым цветом обозначены границы площадных аномалий МП

Площадь исследований расположена в пределах высокоградиентной зоны АМП с основным меридиональным и субширотным направлением изоаномал (рис. 2). Поле локальных магнитных аномалий имеет сложную конфигурацию. Практически всю западную часть района работ занимает интенсивная до 15,5 нТл положительная региональная аномалия, пересекающая площадь с юга на север и ярко проявляется во всех трансформантах АМП (рис 2, 3). По сейсмоакустическим данным выяснено, что аномалия имеет геологическую природу и приурочена к палеоврезу (рис. 4). В восточной части площади с ней сочленяется линейная зона положительных аномалий интенсивностью от 8 до 16 нТл (макс до 19 нТл) субширотного простириания. Структура имеет ширину порядка 200 м и трассируется на всех профилях в восточной части района работ. Примечательно, что выделенная линейная зона положительных амплитуд не проявляется в данных сейсмоакустических исследований. В юго-восточном углу наблюдается региональная положительная аномалия С-3 простириания конусовидной формы с закрытием на север. Неоднородность протягивается на 3,5 км до субширотной линейной зоны, и рассекается ей. Продолжение «вершины» конусовидной аномалии картируется за пределами линейной сектущей аномалии в региональном и локальном АМП. Все выделенные магнитоактивные неоднородности отражают геологические особенности и процессы в осадочном чехле.

Палеоврезы и палеодолины — геологические опасности, представляющие большую угрозу для строительства нефтегазовой инфраструктуры. Природа палеодепрессий в изучаемом районе может быть различной — они могут представлять собой эрозионные врезы, выработанные палеореками во время наиболее крупных регрессий (в позднем миоцене, в среднем плиоцене, в среднем и позднем неоплейстоцене), структуры проседания, образовавшиеся при развитии подрусловых таликов, крупные посткриогенные деформации и др. По сейсмическим данным не всегда возможно достоверно идентифицировать эти образования и определить их генезис [1].

В результате анализа сейсмоакустических данных до глубины 500 метров, было выделено 3 сейсмокомплекса (СК), границами которых являются 4 опорных отражающих горизонта: Н0 (морское дно), Н1, Н2, Н3 (рис. 4). По результатам сопоставления

отражающий горизонт Н2 приурочен к границе верхнего мела – нижнего палеогена, отражающий горизонт Н3 к кровле кампана. Границы Н3.1 и Н3.2 были выделены внутри сейсмического комплекса Н3 по априорным скважинным данным. По полученным значениям АМП и сейсмоакустическим горизонтам через всю площадь был построен геомагнитный разрез до глубины 500 м направления 3-В (рис. 4).

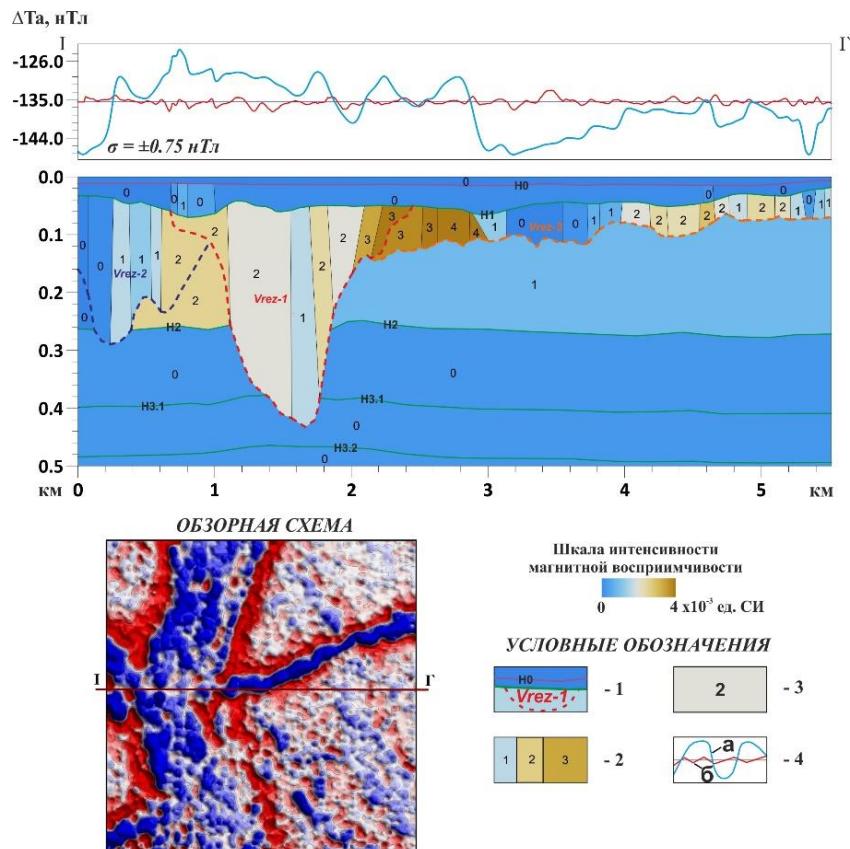


Рис. 4. Геомагнитный разрез по результатам 2D моделирования. 1 – отражающие горизонты и границы палеоврезов по сейсмоакустическим данным, 2 – границы блоков по результатам моделирования, 3 – модельные значения магнитной восприимчивости, 4 – (а) – ΔTa , нТл: наблюденный и вычисленный графики АМП, (б) – σ , нТл: график разности наблюдённых и вычисленных значений ΔTa

Моделирование проводилось до получения сходимости графиков измеренного и расчётного поля с точностью не хуже погрешности съёмки $\pm 1,2$ нТл. По результатам моделирования установлено, что магнитоактивные массы тяготеют к палеоврезам, а именно к их границам и бортовым частям и фокусируются в диапазоне глубин 50-400 м для палеовреза 1, 40-300 м для палеовреза 2 и 40-100 м для палеовреза 3, выделяющегося размытой отражающей границей на всей восточной части площади исследования вдоль рассматриваемого профиля (рис. 4). По результатам моделирования вмещающие породы практически не магнитны, значения магнитной восприимчивости соответствуют осадочным породам: песчаникам и глинам, что согласуется с геологическим представлением о строении бассейна Карского моря. Примечательно, что увеличение значений магнитной восприимчивости наблюдается при переходе к бортовым частям палеоврезов и достигает максимумов в областях сочленения их границ. Максимальные значения магнитной восприимчивости фиксируются в центральной части профиля на отметке 2,9 км в области сочленения Vrez-1 и Vrez-3 и достигают до 4×10^{-3} ед. СИ, что может объясняться присутствием гидроокислов железа и сульфидов железа в песчаных отложениях. Результаты геомагнитного моделирования дополняют сейсмоакустические данные и дают

количественное представление о распределении магнитной восприимчивости разреза.

Главным фактором эффективного решения геолого-геофизических задач при выполнении инженерно-геологических изысканий на арктическом шельфе является комплексный подход к интерпретации материалов сейсморазведки и потенциальных методов геофизики. Приведенные в статье результаты комплексной интерпретации гидромагнитных исследований с данными сейсморазведки показали высокую эффективность методов при локализации палеоврезов и трассировании их границ, а также выделении неоднородностей в разрезе.

Комплексная интерпретация потенциальных полей с данными сейсморазведки позволяет получить достоверную картину о распространении палеоврезов, тектонических нарушениях и других потенциально опасных геологических и техногенных структурах. Как показывает практика, результаты методов хорошо подтверждают и дополняют друг друга. Результаты интерпретации и моделирования гидромагнитных данных подтверждают высокую чувствительность метода и его продуктивность при морских инженерных изысканиях. Высокоточная аппаратура позволяет изучать тонкую структуру геофизических полей, повышает требовательность к обработке и интерпретации наблюдений, тем самым ставит новые задачи перед геофизиками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колюбакин А.А., Миронюк С.Г., Росляков А.Г. и др. Применение комплекса геофизических методов для выявления опасных геологических процессов и явлений на шельфе моря Лаптевых // Инженерные изыскания. 2016. № 10-11. С. 38–51.
2. Кочетов М.В., Журавлëв В.А. Оптимизация методики дифференциальной гидромагнитной съемки // Вестник Воронеж гос. ун-та. Сер: Геология. 2018. № 2. С. 127–131.

HYDROMAGNETIC INVESTIGATIONS IN SOLVING ENGINEERING AND GEOLOGICAL PROBLEMS ON THE ARCTIC SHELF

*Kochetov Mikhail Vladimirovich
JSC MAGE, Moscow
kochetov.mv@mage.ru*

Summary. The article considers the possibilities of using hydromagnetic surveys in combination with high-resolution seismic surveys in engineering and geological surveys on the Arctic shelf in order to identify potentially hazardous areas for setting up a floating drilling rig. As a result of the complex interpretation of hydromagnetic and seismoacoustic data, the distribution areas of paleoincisions were revealed. A 2D geomagnetic modeling was carried out along a profile crossing potentially dangerous structures in the area of work, which results were used to obtain the values of the magnetic susceptibility of the rocks in the section.

Key words: hydromagnetic survey, seismoacoustic surveys, geotechnical surveys, paleoincisions, geomagnetic 2D modeling.

УДК 550.836

ВЫЯВЛЕНИЕ СВЯЗИ ГРАДИЕНТНЫХ ЗОН ТЕПЛОВОГО ПОТОКА С НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬЮ ЗАПАДА ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Крученко Даниил Сергеевич

Томский Политехнический Университет, г. Томск

dskrutenko@gmail.com

Аннотация. Впервые построена карта горизонтального градиента теплового потока для западной части Томской области. Проведена качественная корреляция градиентных зон теплового потока с локализацией месторождений углеводородов. Большинство месторождений расположены в областях с величиной градиента теплового потока выше среднего.

Ключевые слова: тепловой поток, градиентные зоны, нефтегазоносность, западная часть Томской области.

Тезис о том, что месторождения углеводородов тяготеют к аномальным особенностям теплового поля, высказывался неоднократно. Залежи нефти и газа находятся преимущественно в зонах значительных неоднородностей глубинного теплового потока, частным случаем которых являются положительные геотемпературные аномалии [4].

Томская группа геотермиков в результате изучения поля теплового потока для запада Томской области и полуострова Ямал подтвердила, что месторождения углеводородов тяготеют к высокоградиентным зонам теплового потока [3, 6]. Однако эти результаты требуют более детальной аргументации. Для того, чтобы проверить наличие связи неоднородностей теплового поля с нефтегазоносностью, проведем расчет горизонтального градиента теплового потока.

Целью настоящей работы является определение на качественном уровне взаимосвязи градиентных зон теплового потока с локализацией месторождений углеводородов на территории западной части Томской области.

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 структур первого порядка: Нюрольской и Усть-Тымской мегавпадин, Средневасюганского мегавала, Парабельского мегавыступа, Александровского, Нижневартовского и Каймысовского сводов. 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 [1].

Ранее была построена карта теплового потока на основе моделирования теплового потока в 433 скважинах на территории исследования [2].

Исследуемую территорию разделили на единичные участки (ячейки) 20x20 км. Для достижения оптимальной детализации исследования шаг расчетов выбрали 10 км. Таким образом, сетка расчетов выполнена с перекрытием (рис. 1). В результате центру каждой ячейки было присвоено значение теплового потока.

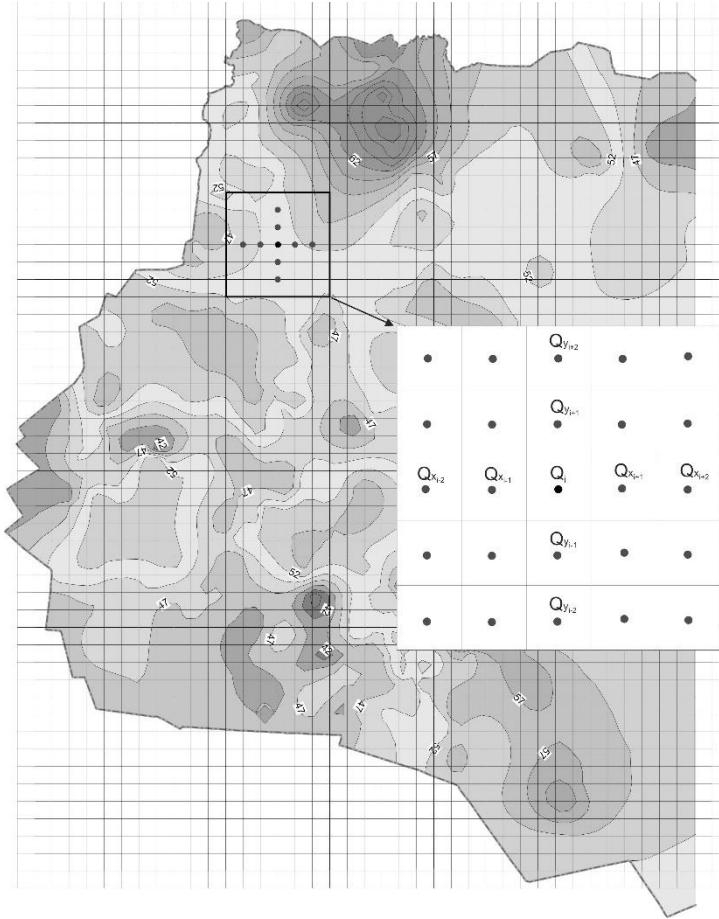


Рис. 1. Иллюстрация расчета горизонтального градиента теплового потока по карте теплового потока [2]

Для расчета горизонтального градиента теплового потока [5] по пяти точкам использовали формулу (1, 2, 3), где Q_i – значение теплового потока в каждой ячейке сетки, $\text{мВт}/\text{м}^2$, q – шаг сетки, км , Q'_i – горизонтальный градиент теплового потока в каждой ячейке сетки, $(\text{мВт}/\text{м}^2)/\text{км}$. Иллюстрация расчетов представлена на рисунке 1.

$$Q'_i = \sqrt{Q'_{x_i}^2 + Q'_{y_i}^2} \quad (1)$$

$$Q'_{x_i} = \frac{\frac{2}{3} \cdot (Q_{x_{i+1}} - Q_{x_{i-1}}) - \frac{1}{12} (Q_{x_{i+2}} - Q_{x_{i-2}})}{q} \quad (2)$$

$$Q'_{y_i} = \frac{\frac{2}{3} \cdot (Q_{y_{i+1}} - Q_{y_{i-1}}) - \frac{1}{12} (Q_{y_{i+2}} - Q_{y_{i-2}})}{q} \quad (3)$$

По результатам расчета построили схематическую карту горизонтального градиента теплового потока (рис. 2). На карте затемненными областями выделены значения градиента выше среднего значения на территории исследования $0,2 (\text{мВт}/\text{м}^2)/\text{км}$.

Анализируя карту, можно прийти к следующим выводам: большинство месторождений углеводородов расположено в областях с величиной градиента $0,2\text{-}0,4 (\text{мВт}/\text{м}^2)/\text{км}$; в областях высоких значений градиента теплового потока $>0,5 (\text{мВт}/\text{м}^2)/\text{км}$ крупные месторождения отсутствуют; в областях минимальных значений градиента $<0,2 (\text{мВт}/\text{м}^2)/\text{км}$ крупные скопления месторождений отсутствуют за

исключением районов Первомайского (западная часть карты) и Игольско-Талового месторождений (юго-западная часть карты).

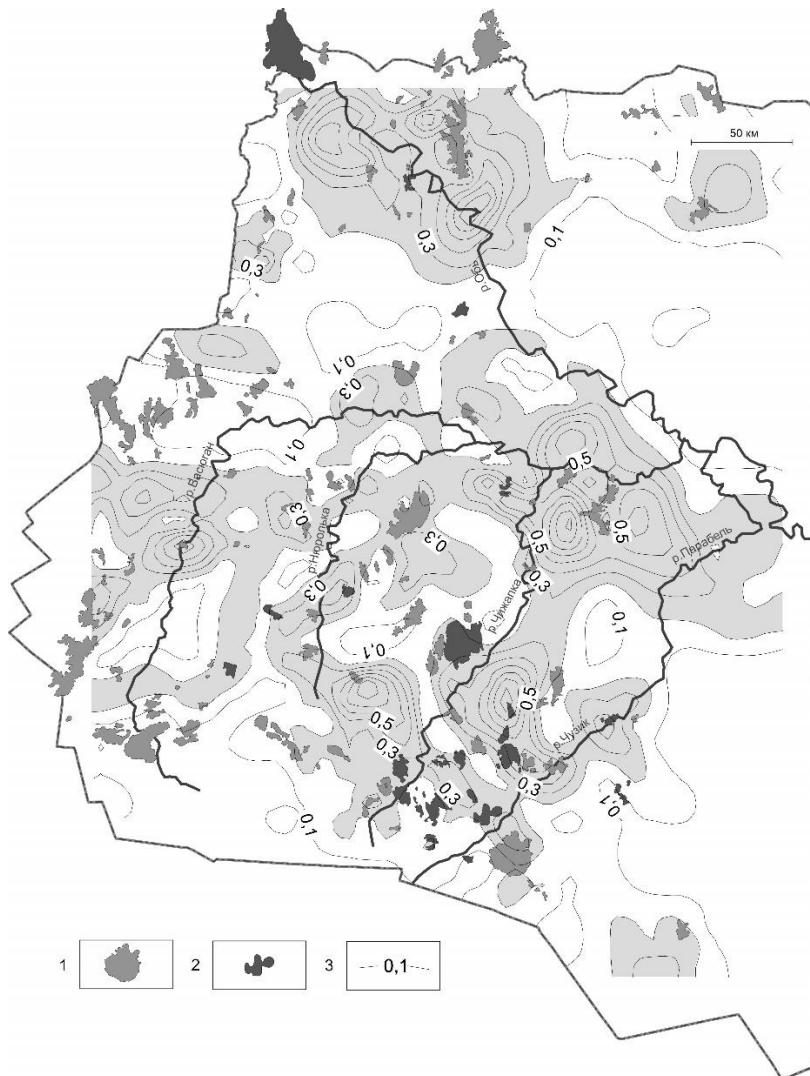


Рис. 2. Схематическая карта горизонтального градиента теплового потока по пятиточечной формуле: 1 – месторождения с залежами в осадочном чехле; 2 – месторождения с залежами в доюрском основании; 3 – изолинии горизонтального градиента теплового потока, ($\text{мВт}/\text{м}^2/\text{км}$)

Таким образом, в результате анализа карты градиента теплового потока было подтверждено, что месторождения УВ тяготеют к зонам неоднородности теплового потока. Вместе с тем было получено, что большинство месторождений УВ локализованы в зонах со значениями градиента выше среднего, при этом в областях очень высоких значений градиентов месторождения представлены в малом количестве.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Крутенко Д.С. Тепловой поток и вещественный состав палеозойского фундамента (юго-восток Западной Сибири) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2022. – Т. 17. – № 4. – http://www.ngtp.ru/rub/2022/32_2022.html
3. 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 // Двадцать вторая Уральская молодежная научная школа по геофизике. Сборник науч. Материалов. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2021. – С. 53-57.
4. Курчиков А.Р. Гидрогеотермические критерии нефтегазоносности. М.: Недра, 1992. – 231 с.
5. Маловичко А.К. Основной курс гравиразведки. Пермь: Перм. гос. ун-т им. А.М. Горького, 1966. – 326 с.
6. Galieva Margarita F., Krutenko Daniil S., Lobova Galina A. The Correlation Between Earth Heat Flow and Oil and Gas Potential // Fundamental Pattern of Western Siberia Heat-Mass Transfer and Geodynamics of the Lithosphere - New York: Springer Nature, 2021. – pp. 179-190. doi: 10.1007/978-3-030-63571-8.

DISCOVERY OF THE CORRELATION BETWEEN THE DEEP HEAT FLOW GRADIENT ZONES AND OIL AND GAS FIELDS IN THE WEST OF TOMSK REGION

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

Summary. This paper shows for the first time the map of the deep heat flow horizontal gradient in the west of Tomsk Region. The qualitative correlation between the heat flow gradient zones and localization of hydrocarbon fields was performed. Majority of hydrocarbon fields are located in the areas with an above average heat flow gradient.

Key words: deep heat flow, gradient zones, oil and gas potential, the west of Tomsk Region, southeast of Western Siberia.

УДК 550.836

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАНЕРОЗОЙСКИХ ОЧАГОВ ГЕНЕРАЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ НА УРМАНСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Крученко Маргарита Фаритовна
Томский Политехнический Университет, г. Томск
mfg2@tpu.ru

Аннотация. В настоящей работе выполнено палеотемпературное моделирование палеозойских (девонских, силурийских) и юрских очагов генерации углеводородов на примере скважин Урманского месторождения Томской области. Установлено, что доюрские залежи могут содержать нефть, генерированную двумя источниками: предположительно юрской нефтематеринской породой континентального генезиса – тогурской и/или тюменской свитами и юрской нефтематеринской породой морского генезиса – баженовской свитой. Источником газа в залежи в районе скважины Урманская 5, вероятно, является палеозойская лугинецкая свита.

Ключевые слова: палеотемпературное моделирование, очаг генерации, доюрские залежи, Томская область.

Ввиду истощения залежей нефти и газа в молодых отложениях, поиски и разведка становятся все более глубокими, ориентированными на бассейны более древнего возраста. Существуют сведения, что ~40% всех доказанных запасов нефти и газа в мире сосредоточены в сверхглубоких пластах [4]. Большие перспективы нефтегазоносности многие ученые связывают и с палеозоем юго-восточной части Западно-Сибирской плиты. Большой интерес в смысле перспектив нефтегазоносности вызывает Нюрольский палеозойский осадочный бассейн, представляющий собой впадину в пределах Межовского срединного массива.

Целью данной работы является моделирование термической истории потенциально нефтематеринских отложений Нюрольского бассейна и оценка их возможности генерировать углеводороды, аккумулированные в доюрских ловушках.

Анализируется геотермический режим фанерозойских отложений в соответствии с концепцией о геотермическом режиме недр как о ведущем факторе реализации генерационного потенциала материнских отложений. Концептуально принята как возможность восходящей, так и нисходящей миграции УВ-флюидов.

В качестве территории исследования была выбрана Чузикско-Чижапская группа месторождений (рис. 1). Ранее авторы уже выполняли подобное исследование на Останинской группе месторождений [1]. Обе группы месторождений приурочены к Нюрольскому осадочному бассейну. Однако геологические условия Чузикско-Чижапской группы месторождений значительно отличаются от Останинской группы. Основное отличие заключается в том, что на территории Чузикско-Чижапской группы неповсеместно развита потенциально нефтематеринская тогурская свита. Выбор Чузикско-Чижапской группы месторождений вместе с тем связан с очень высокой концентрацией месторождений с промышленными залежами в доюрском нефтегазоносном комплексе, среди них Урманское, Арчинское, Нижнетабаганское, Калиновое, Кулгинское, Северо-Калиновое, Южно-Тамбаевское, Южно-Табаганское.

Для выполнения палеотемпературного моделирования выбраны скважины Урманская 5 и Южно-Урманская 1 Урманского нефтегазоконденсатного месторождения.

Выбор скважин обусловлен наличием измеренных температур в юрских и доюрских интервалах разреза, а также притоков в скважину УВ-флюидов из доюрских горизонтов.

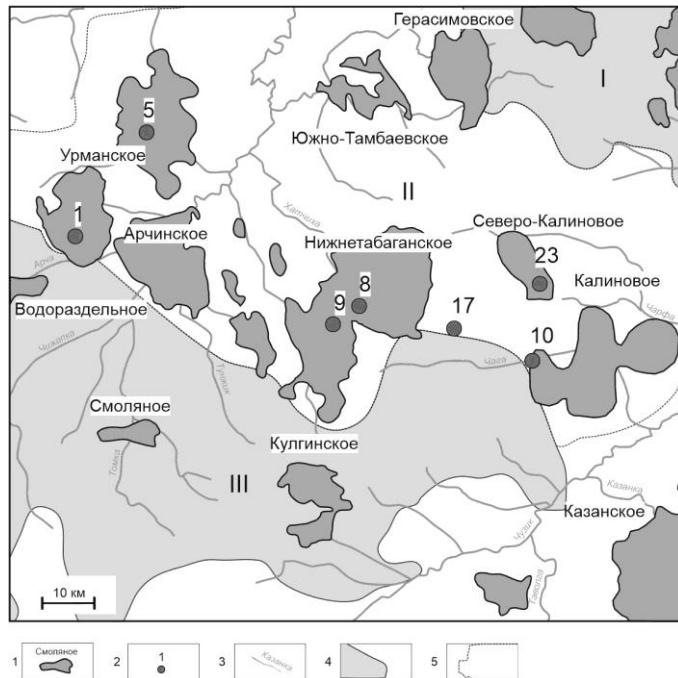


Рис. 1. Обзорная карта территории исследования: 1 – месторождение УВ; 2 – скважина палеотемпературного моделирования; 3 – речная сеть; 4 – положительные структуры II порядка: I – Пудинское мезоподнятие, III – Лавровский мезовыступ; 5 – промежуточные структуры II порядка: II – Чузикско-Чижапская мезоседловина

На первом этапе решается обратная задача геотермии – определяется плотность глубинного теплового потока из основания осадочного разреза, характеризующаяся квазистационарным значением с юрского времени. Для определения теплового потока из основания осадочного разреза используются в качестве «наблюдаемых» 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 измерений ОСВ из палеозойских отложений (табл. 1). Стратиграфическая разбивка дополняется реконструкцией стратиграфического разреза, не вскрытого скважиной, с начала силурийского и до конца триасового периодов, согласно [2]. Динамика теплового потока во времени связана с тектоническим развитием территории исследования. Принято, что тепловой поток в доюрский период накопления осадков квазистационарный и превышает современный в 2 раза. Максимальный тепловой поток связан с активизацией мантийного суперплюма 250 млн. лет назад. Тепловой поток в периоды становления и угасания мантийного плюма описан с помощью математической функции, обладающей максимальной скоростью увеличения / уменьшения значения – уравнением четверти окружности. Динамика теплового потока в скважинах представлена на рисунках 2А и 2Б.

Решением прямых задач геотермии с заданным тепловым потоком восстановили структурно-тектоническую и термическую историю палеозойских потенциально нефтегазоносных свит: лугинецкой (D_{3lg}) (сохранилась только в разрезе скважины Урманской 5), кыштовской (D_{1ks}) и ларинской (S_{1lr}), а также юрских – баженовской (J_{3bg}), тюменской (J_{2tm}) и тогурской (J_{1tg}) (рис. 2А и 2Б).

Таблица 1

Сопоставление измеренных и расчетных геотемператур в скважинах Урманская 5 и Южно-Урманская 1

Приуроченность/ глубина, м	Температура, °C				Тепловой поток, мВт/м ² /динамическая характеристика (глубина, м)
	Пласто- вая из- мерен- ная	По ОСВ* (R_{vt}^0)	Модель- ная (рас- чётная)	Разница расчётовой и измерен- ной	
Урманская 5					
J _{1-2sl} /3044	99	-	98	-1	42
J _{1tg} /3080	99	-	100	+1	/ квазистационарный, начиная с юры до современного, из основания доюрского осадочного разреза (7012 м)
D _{3lg} /3117	-	163 (1.12)	163	0	227 / пермо-триасовый скачок 250 млн лет назад (4912 м)
Южно-Урманская 1					
J _{1-2sl} /3090	-	111 (0.73)	113	+2	44
J _{1ur} /3138	99	-	97	-2	/ квазистационарный, начиная с юры до современного, из основания доюрского осадочного разреза (4627 м)
D _{1rm} /3181	-	143 (0.97)	144	+1	196 / пермо-триасовый скачок 250
D _{1rm} /3203	-	147 (1)	146	-1	млн лет назад (2480 м)

Результаты палеотемпературного моделирования в скважине Урманская 5 показывают, что ларинская (*S_{1lr}*) и кыштовская (*D_{1ks}*) свиты 359-183 млн лет назад подверглись воздействию колоссальных температур, значительно превышающих температуру, начала деструкции (190°C). Ввиду этого, свиты не могут рассматриваться в качестве возможных источников генерации углеводородов, заполняющих ловушки в доюрских отложениях.

Лугинецкая (*D_{3lg}*) свита 320 млн лет назад входит в главную фазу нефтеобразования (ГФН 90-130°C) и находится в ней 35 млн лет. 252 млн лет назад свита входит в главную фазу газообразования (ГФГ 130-190°C). 250 млн лет назад в центре свиты температура достигала 191°C. Следовательно, нижняя часть лугинецкой свиты (мощностью 750 м) была подвергнута действию деструктивных температур и бесперспективна в отношении генерации углеводородов. Верхняя часть лугинецкой свиты 252 млн лет назад вошла в ГФГ и находилась в ней до 217 млн лет назад – 35 млн лет.

Тогурская (*J_{1tg}*) свита 92 млн лет назад входит в ГФН и находится в ней до настоящего времени. Тюменская (*J_{2tm}*) свита 90 млн лет назад входит в ГФН и находится в ней до настоящего времени. Баженовская (*J_{3bg}*) свита впервые входит в ГФН 62 млн лет назад на 20 млн лет. Во второй раз свита входит в ГФН 32 млн лет назад на 27 млн лет. Таким образом, баженовская свита суммарно находилась в ГФН 47 млн лет. Отложения юрских свит не подвергались воздействию деструктивных температур. Все это время юрские свиты могут являться источниками нефти для залежей в доюрском комплексе.

Результаты палеотемпературного моделирования в скважине Южно-Урманская 1 показывают, что ларинская (*S_{1lr}*) и кыштовская (*D_{1ks}*) свиты 359-277 и 250-216 млн лет назад подвергались воздействию деструктивных для углеводородов температур. Следовательно, свиты не могут рассматриваться как возможные источники генерации углеводородов.

Тогурская (J_{1tg}) свита 92 млн лет назад входит в ГФН и находится в ней до настоящего времени. *Тюменская (J_{2tm})* свита 87 млн лет назад входит в ГФН и находится в ней до настоящего времени. *Баженовская (J_{3bg})* свита впервые входит в ГФН 62 млн лет назад на 20 млн лет. Во второй раз – 32 млн лет назад на 27 млн лет. Таким образом, баженовская свита суммарно находилась ГФН 47 млн лет. Отложения юрских свит не подвергались воздействию деструктивных температур. Все это время юрские свиты могут являться источниками нефти для залежей в доюрском комплексе.

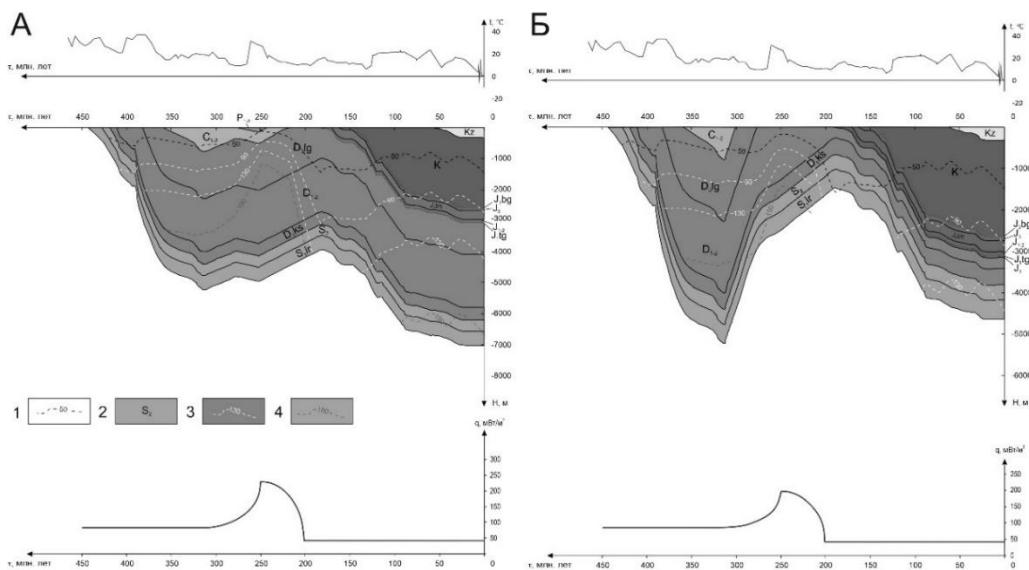


Рис. 2. Палеореконструкции тектонической и термической истории в районе скважин: А – Урманская 5; Б – Южно-Урманская 1

Условные обозначения: 1 – изотерма; 2 – стратиграфическая приуроченность отложений; 3 – изотерма граничной температуры ГФН; 4 – изотерма начала деструкции УВ. В верхней части рисунка – график палеоклиматического векового хода температур на земной поверхности, в нижней – график изменения расчетной плотности теплового потока во времени

Термическая история потенциально нефтематеринских свит в скважине Урманская 5 иллюстрирует, что резервуары палеозоя могли заполнять юрские источники тогурской, тюменской и баженовской нефти, а также источник палеозойского лугинецкого газа. Результаты испытаний этих интервалов показывают, что углеводороды залежей представлены свободным газом и нефтью. Поэтому, с наибольшей вероятностью доюрские резервуары являются аккумуляторами палеозойского лугинецкого газа и юрской нефти.

По результатам моделирования в скважине Южно-Урманская 1 получено, что что резервуары палеозоя могли заполнять только юрские источники тогурской, тюменской и баженовской нефти. Результаты испытаний этих интервалов показывают, что углеводороды залежей представлены незначительным газопроявлением и нефтью. Поэтому, с наибольшей вероятностью можно говорить о сохранности в доюрских резервуарах юрской нефти.

Эти заключения не противоречат результатам геохимических исследований. Так авторами [3] было получено, что исследованные образцы нефти горизонта М+М₁ из соседней скважины Урманская 2 являются смесью нефтей из двух источников со значительным вкладом континентальной органики в исходное органическое вещество.

Таким образом, нефти из доюрских резервуаров Урманского месторождения, возможно, представляют собой смесь флюидов из 2-х источников: предположительно юрской нефтематеринской породы континентального генезиса – тогурской и/или

тиюменской свиты и юрской нефтематеринской породы морского генезиса – баженовской свиты. Источником газа доюрских залежей могут быть только палеозойские нефтематеринские отложения, в частности лугинецкая свита в скважине Урманская 5. Сохранность газа в доюрских резервуарах возможна при благоприятном температурном режиме палеозойских нефтематеринских отложений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галиева М.Ф. Геотемпературные модели фанерозойских очагов генерации углеводородов и их роль в формировании залежей «палеозойской нефти» (Герасимовское месторождение, Томская область) // Двадцать вторая Уральская молодежная научная школа по геофизике. Сборник науч. Материалов. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2021. – С. 22-26.
2. Решения совещания по рассмотрению и принятию региональной стратиграфической схемы палеозойских образований Западно-Сибирской равнины / Под ред. В.И. Краснова. – Новосибирск, 1999. – 80 с.
3. Ступакова А.В., Соколов А.В., Соболева Е.В., Кирюхина Т.А., Курасов И.А., Бордюг Е.В. Геологическое изучение и нефтегазоносность палеозойских отложений Западной Сибири // Георесурсы. – 2015. – Т. 61. – № 2. – С. 63-76.
4. Li D., Chang J., Qiu N., Wang J., Zhang M., Wu X., Han J., Li H., Ma, A. The thermal history in sedimentary basins: A case study of the central Tarim Basin, Western China // Journal of Asian Earth Sciences. – 2022. – Т. 229. – С. 1-17. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2022.105149> (дата обращения 04.06.2022).

MODELLING OF THE PHANEROZOIC FOCI OF HYDROCARBON GENERATION IN THE URMAN FIELD (TOMSK REGION)

*Margarita Krutenko
Tomsk Polytechnic University, Tomsk
mfg2@tpu.ru*

Summary. This paper performs paleotemperature modelling of the Paleozoic (Devonian, Silurian) and the Jurassic foci of hydrocarbon generation on the example of the Urman field wells in Tomsk Region. It was stated that the pre-Jurassic deposits may contain oil, which was generated by two sources: presumably, the Jurassic terrigenous oil-source rock – Togur and/or Tumen suites and the Jurassic marine oil-source rock – Bazhenov suite. The gas source for the deposit in the area of the well Urman 5 is, probably, the Luginetsk suite.

Keywords: paleotemperature modelling, foci of generation, the pre-Jurassic deposits, Tomsk Region.

УДК 550.343.62

ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ГРУППИРОВАНИЯ СЕЙСМИЧНОСТИ ПЕРЕД СИЛЬНЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ

Крушельницкий Кирилл Валерьевич
ИТПЗ РАН, г. Москва
kirillkrush@mail.ru

Аннотация. Полученные ранее качественные результаты, выявляющие наличие связи между сильными землетрясениями и вариациями средней продуктивности, требуют проверки. Нужно установить, являются ли они статистически значимыми или это лишь совпадение. С этой целью был написан алгоритм прогноза землетрясений, основанный на обнаруженных закономерностях. Первые результаты теста показывают неплохие результаты и дают основания полагать, что действительно имеет место указанная закономерность.

Ключевые слова: землетрясение, продуктивность, сейсмичность, метод ближайшего соседа, алгоритм прогноза.

Используется метод ближайшего соседа [2], позволяющий однозначно установить, связаны ли 2 землетрясения друг с другом. В пространстве-времени-магнитуде вводится мера связи между землетрясениями, называемая функцией близости (1), где t_{12} – время между землетрясениями, r_{12} – расстояние между ними, df – фрактальная размерность, b – наклон графика повторяемости, m_1 – магнитуда первого землетрясения.

$$\eta_{ij} = \begin{cases} C t_{ij} r_{ij}^{df} 10^{-b(m-m_0)}, & t_{ij} > 0 \\ \infty, & t_{ij} \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

Метод позволяет разделить все землетрясения на фоновые и связанные, то есть однозначно определяется причинно-следственная связь между землетрясениями (инициирующее называем «родитель», инициированное – «потомок»).

Продуктивность землетрясения – это количество его потомков, рассчитанное в фиксированном интервале магнитуд, удовлетворяющем неравенству $M_{\text{потомка}} > M_{\text{родителя}} - \Delta M$ [1].

Было обнаружено, что в течение относительно небольшого периода времени (порядка года) перед сильными землетрясениями вблизи их очага возникают повышенные значения продуктивности.

Алгоритм прогноза. Строится равномерная по пространству сетка, покрывающая всю исследуемую область. В каждом узле сетки производится расчет средней продуктивности, усредненной в круге радиуса r с центром в узле сетки за длительный период времени (1980-2020 гг.) – эта величина показывает, как в среднем ведет себя величина средней продуктивности на большом временном интервале. Обозначим эту величину $(\bar{\Lambda}_i)$. Также будем считать среднюю продуктивность, усредняя ее за более короткий интервал времени в таком же круге. Обозначаем эту величину $\Lambda_i(t)$. Далее сравниваем $\Lambda_i(t)$ и $(\bar{\Lambda}_i)$. Критерий объявления тревоги: если $\Lambda_i(t) > n^*(\bar{\Lambda}_i)$, то объявляется тревога в круге радиуса R с центром в том же узле сетки на период времени $(t; t+T)$. То есть тревога объявляется, если средняя продуктивность превышает среднюю продуктивность за длительный интервал времени, умноженную на коэффициент n , который будем называть порогом продуктивности.

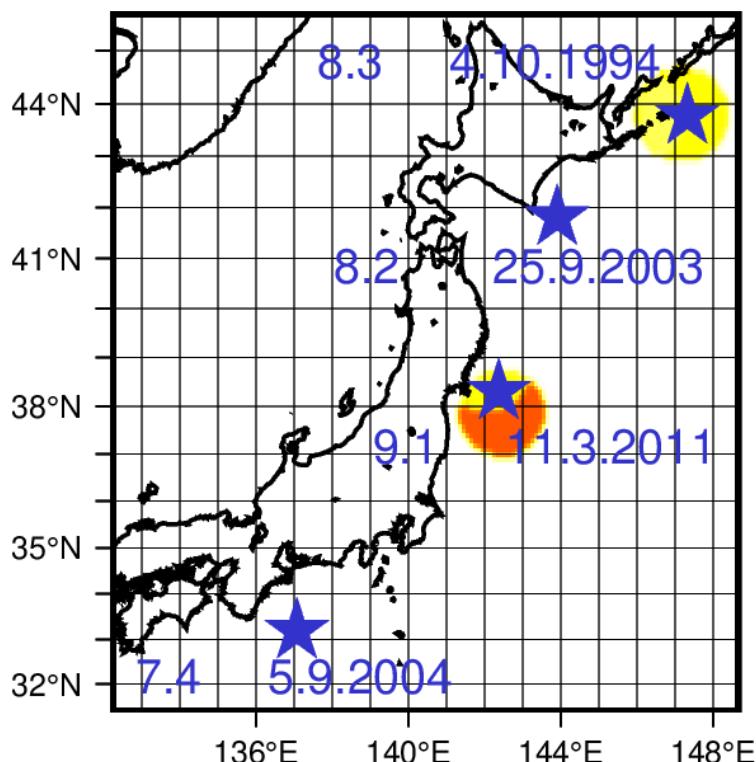


Рис. 1. Карта средней продуктивности, усредненной за год перед землетрясением Тохоку M9.1 11.03.2011

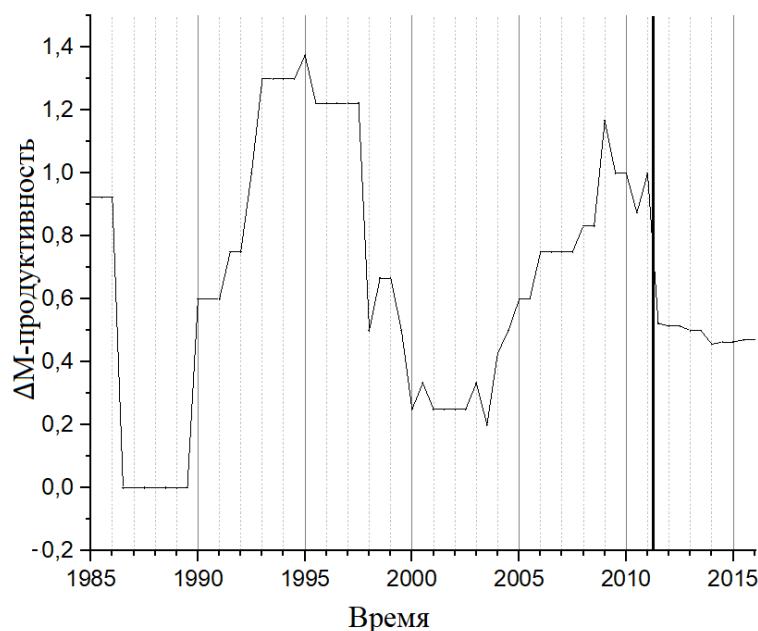


Рис. 2. График зависимость средней продуктивности от времени вблизи очага землетрясения Тохоку M9.1 11.03.2011

В алгоритме есть несколько варьируемых параметров: 1) радиус круга, в котором объявляется тревога R ; 2) период тревоги T ; 3) минимальная магнитуда землетрясений-целей прогноза; 4) порог продуктивности n .

Алгоритм был протестирован на территории Японии для землетрясений магнитудой 7,5 и выше. Была построена диаграмма ошибок. Каждая точка на диаграмме соответствует определенному набору варьируемых параметров.

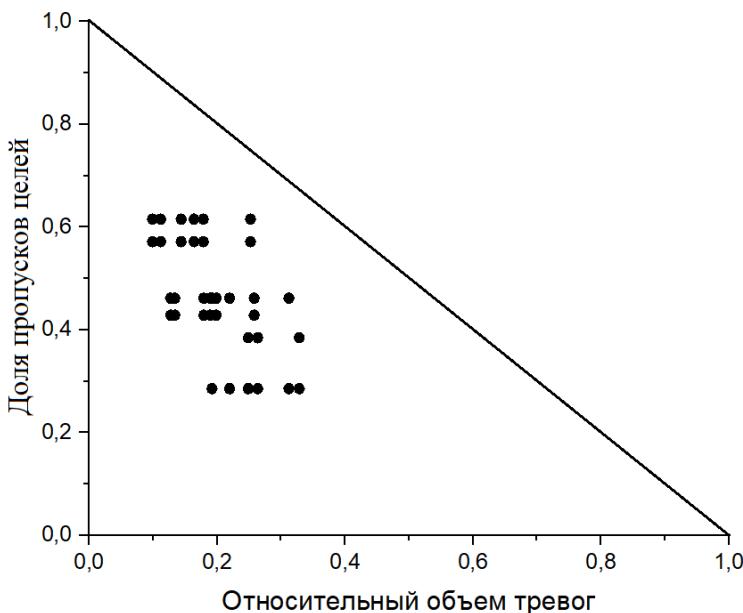


Рис. 3. Диаграмма ошибок

Видим, что выявленная связь сильных землетрясений и повышенных значений продуктивности не является случайным совпадением, а наоборот есть устойчивая закономерность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shebalin, P.N., Narteau, C., Baranov, S.V. (2020). Earthquake productivity law, *Geophysical Journal International*, P. 1264–1269.
2. Zaliapin, I. & Ben-Zion, Y. (2013). Earthquake clusters in Southern California. I: Identification and stability, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 118(6): P. 2847–2864.

VARIATIONS OF THE CLUSTERING PARAMETERS OF SEISMICITY BEFORE STRONG EARTHQUAKES

Kirill Krushelnitskii
IEPT RAS, Moscow
kirillkrush@mail.ru

Summary. The qualitative results obtained earlier, revealing the presence of a connection between strong earthquakes and variations in average productivity, require verification. It is necessary to establish whether they are statistically significant or it is just a coincidence. For this purpose, an earthquake prediction algorithm was written based on the discovered patterns. The first test results show good results and give reason to believe that this pattern really takes place.
Key words: earthquake, productivity, seismicity, nearest neighbor method, prediction algorithm.

УДК 551.83

ПРИВЛЕЧЕНИЕ МЕТОДОВ МАГНИТОМИНЕРОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ НЕМОРСКИХ МИКРОБИАЛЬНЫХ ИЗВЕСТНЯКОВ КРАСНОЦВЕТНОЙ ФОРМАЦИИ КАЗАНСКОГО ЯРУСА НА ТЕРРИТОРИИ НИЖНЕЙ КАМЫ

Латифуллина Миляуша Фаритовна
КФУ ИГиНГТ, г. Казань
latifullina1997@mail.ru

Аннотация. В статье излагаются результаты моделирования возможных условий формирования и выделения литотипов известняков красноцветной формации казанского яруса (средняя пермь) на территории нижней Камы. В процессе исследований, для изучения образцов геологического разреза Сентяк вблизи города Елабуга, использованы, наряду с биостратиграфическим подходом, данные методов магнитоминералогического анализа. Магнитоминералогический анализ рассматривается в качестве инструмента получения более достоверной информации для построения седиментологической модели изучаемого геологического объекта.

Ключевые слова: магнитные методы, неморские микробиальные известняки, седиментологическая модель, литотипы, казанский ярус.

Объектом исследования являются известняки казанского яруса пермского (P2kz) возраста. Изучаемый геологический разрез Сентяк расположен в пределах Северо-татарского свода Волго-Уральской антеклизы, являющейся структурой нулевого порядка Русской плиты Восточно-Европейской платформы. Геологический разрез Сентяк представлен семью обнажениями, расположенными на правом берегу реки Кама в 0,5–2,0 км выше по течению от села Сентяк. Нижние слои казанского яруса залегают глубже ватерлинии реки Кама. Они были изучены по образцам из скважины №1, пробуренной в 1995 году, в 3 км к северо-востоку от с. Сентяк [2].

Формирование осадочного чехла Северо-татарского свода Волго-Уральской антеклизы в пермский период происходило на фоне активных тектонических процессов и изменений климата. С этим связаны особенности палеогеографических и физико-химических условий в бассейне осадконакопления, выразившиеся в пестроте фациального и литологического состава пермских отложений. Показателями физико-химических условий среды осадконакопления (температуры, солености бассейновых вод и др.) являются кристаллохимические особенности аутигенных кальцита и доломита, слагающих пластины карбонатных пород [4].

Детально было использовано 44 образца, преимущественно карбонатного типа, для которых были выполнены биостратиграфические и магнитоминералогические исследования, послужившие основой для выделения литотипов и создания валидной седиментологической модели изучаемого геологического объекта.

Магнитная восприимчивость осадочных пород характеризуется значениями от $-1,42 \times 10^{-6}$ ед. СИ (диамагнетики) до $7,20 \times 10^{-8}$ ед. СИ. У глин, аргиллитов, песчаников и алевролитов преобладают разности с низкой магнитной восприимчивостью – в пределах $(12 - 125) \times 10^{-5}$ ед. СИ, а у известняков, доломитов и мергелей $(1 - 30) \times 10^{-5}$ ед. СИ. У осадочных пород обнаружена очень слабая, но весьма стабильная естественная остаточная намагниченность. Магнитная восприимчивость в горной породе не всегда

одинакова по всем направлениям, наблюдается слабая анизотропия. Все значения находятся в средних пределах для осадочных пород.

Результатом измерения в коэрцитивном спектрометре являются петли гистерезиса как по индуктивной, так и по остаточной намагниченности. Изученные образцы попадают в область псевдооднодоменных (PSD) частиц. Данная группа подразумевает переходное состояние магнитных свойств в широком диапазоне размеров зерен между однодоменными (SD) и истинно многодоменными (MD). Другими словами, PSD — это переходное состояние от однодоменного состава к монодоменному. В данном случае, образцы относятся, скорее всего, к магнитомягким материалам, так как являются осадочными, и величина содержания акцессорных магнитных минералов невелика (рис. 1).

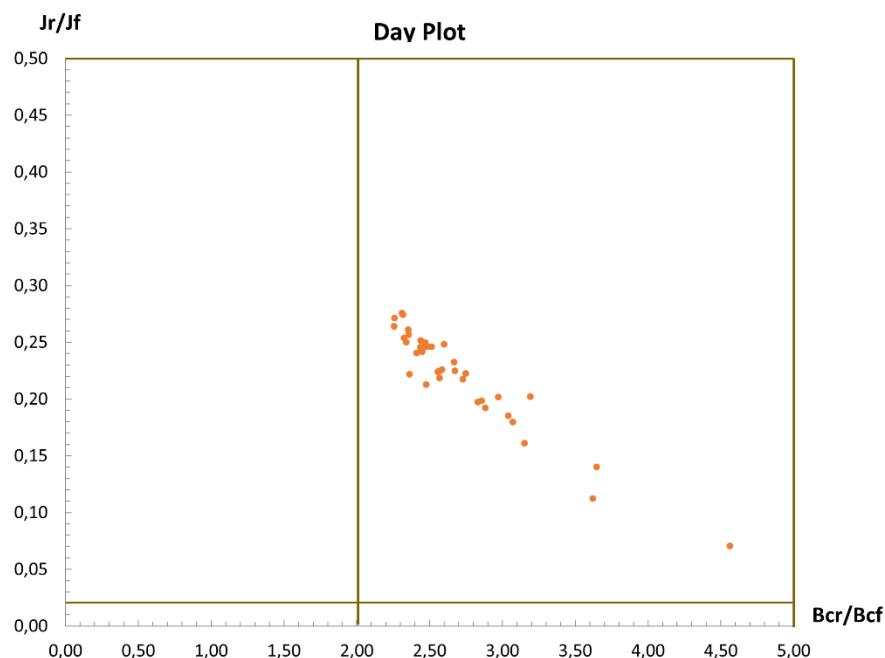


Рис. 1. Коэрцитивные характеристики исследованных образцов (Day Plot)

Интерпретация полученных данных позволила выделить в геологическом разрезе Сентяк 16 литотипов (ЛТ), соответствующих различным фациальным условиям формирования карбонатных пород в изученных отложениях (рис. 2), которые впоследствии разделены на фациальные зоны.

Среди литотипов выделяются: отложения явно красноцветной толщи (ЛТ 16, ЛТ 11, ЛТ 8, ЛТ 7, ЛТ 5, ЛТ 3), образованные на равнине в области воздействия атмосферы, отложившиеся в очень мелководном и пресноводном бассейне; отложения опресненных лагун или прибрежных озер (ЛТ 15, ЛТ 6, ЛТ 4, ЛТ 2), образованные в застойных условиях в период низкого положения уровня моря; отложения переходной фации (ЛТ 12) от ограниченного шельфа к литоральной зоне; отложения открытого морского (сублиторальной зоны) (ЛТ 14, ЛТ 13, ЛТ 10, ЛТ 9, ЛТ 1), большое количество остатков остракод и органического вещества в этих карбонатах может указывать на низкую скорость осаждения, высокую степень биотурбации, и относительно постоянную среду осаждения. Границы выделенных ЛТ не являются резкими. Отложения глубинных фаций могут свидетельствовать о сильных колебаниях уровня воды. Выделение литологических типов позволяет унифицировать описание литологических характеристик пород, при этом существенно сокращается количество повторений в описании разрезов, так как выделенные типы многократно встречаются в осадочных последовательностях континентальных пермских отложений, широко распространенных в регионе [1].

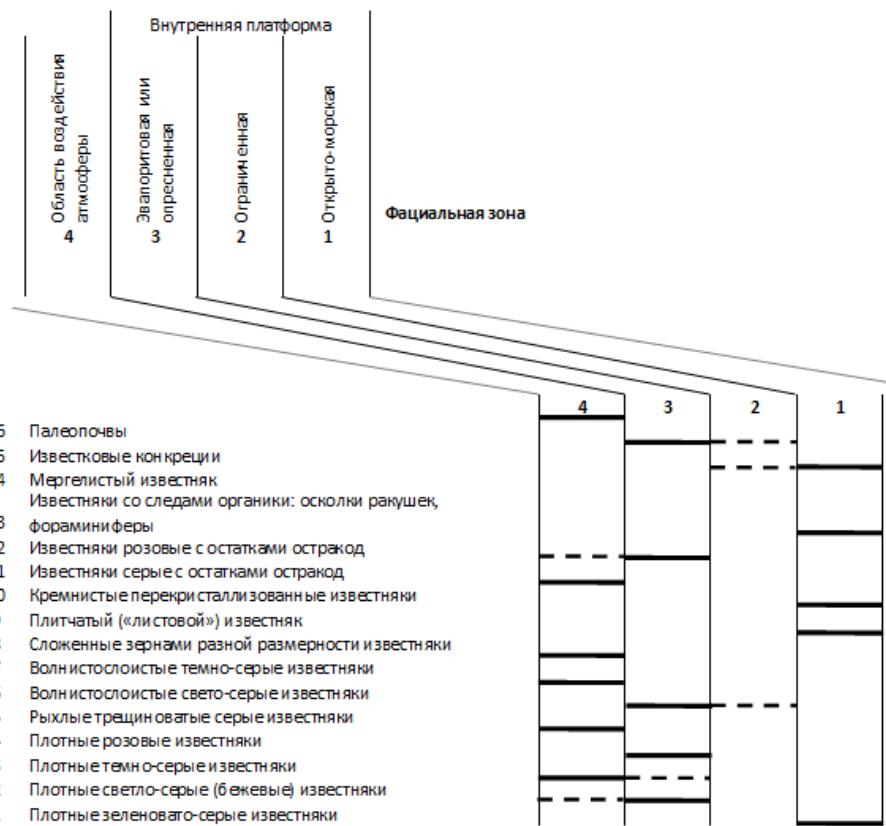


Рис. 2. Распределение выделенных ЛТ по фациальным зонам окаймленной платформы (по Е. Флюгелю, 2010); пунктиром – относительно редкое распространение

На основе полученных данных и выделенных литотипов построена концептуальная модель осадконакопления для изучаемой территории (рис. 3).

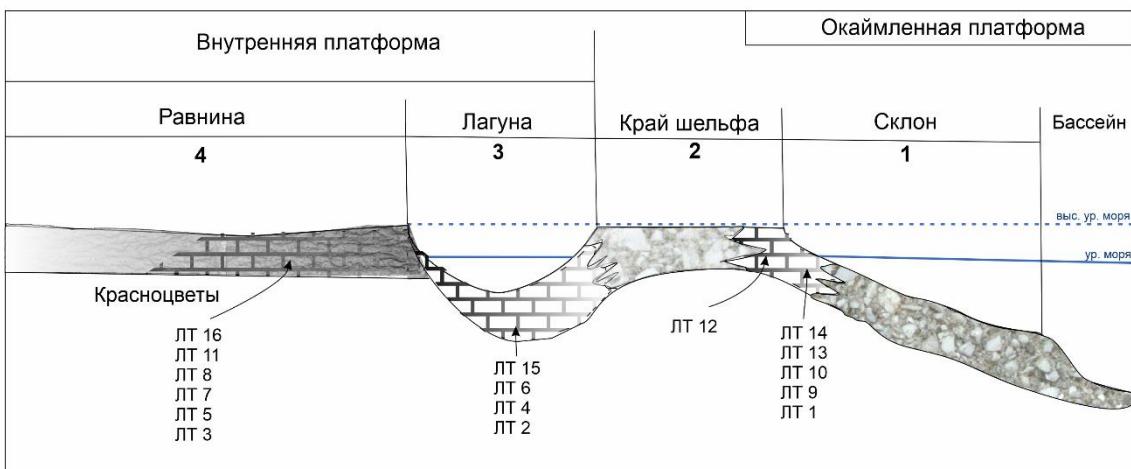


Рис. 3. Концептуальная модель осадконакопления территории нижней Камы

На данной модели, в зависимости от соотношения выделенных литофаций в разрезе, выделяется четыре фациальные зоны (рис. 3). Можно сделать вывод, что адекватное палеогеографическое и палеофациальное моделирование континентальных пермских

отложений Русской плиты Восточно-Европейской платформы может быть реализовано при комплексном использовании результатов петрофизических, биостратиграфических, магнитоминералогических и палеомагнитных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. George V. Chilingar, Harold J. Bissell, Rhodes W. Fairbridge Carbonate rocks / Physical and Chemical Aspects // Development in sedimentology 9B. Elsevier Publishing Company. – Amsterdam, London, New York, 1967. / – Перевод с английского Смолина П.П., Чекина С.С. Карбонатные породы / Физико-химическая характеристика и методы исследования. Том 2. – Москва, 1971. – 266 с.
2. Mouraviev F.A., Arefiev M.P., Silantiev V.V., Gareev B.I., Batalin G.A., Urazaeva M.N., Kropotova N.V., Vybornova I.B. Paleogeography of accumulation of the Middle-Upper Permian red mudstones in the Kazan Volga Region. Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki, 2016, vol. 158, no. 4, pp. 548-568. (In Russian). EDN: XWRPWF.
3. Копилевич Е.А., Мушин И.А., Давыдов Е.А., Афанасьев М.Л. Комплексное спектрально-скоростное прогнозирование типов геологического разреза и фильтрационно-емкостных свойств коллекторов. – М. – Ижевск: Ижевский институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2010. – 248 с.
4. Муравьев Ф.А. Литолого-минералогическая характеристика пермских маркирующих карбонатных горизонтов РТ: Автореф. Дисс. – Казань, 2007. EDN: NOOICN.

THE USE OF MAGNITOMINERALOGICAL METHODS TO DEVELOP A MODEL FOR THE FORMATION OF NON-MARINE MICROBIAL LIMESTONE OF THE RED-COLOURED KAZAN STAGE (MIDDLE PERMIAN) OF THE LOWER KAMA (EAST-EUROPEAN PLATFORM)

*Latifullina Milyausha Faritovna
Kazan Federal University, Kazan
latifullina1997@mail.ru*

Summary. The article contains the results of modelling of possible conditions of formation and delineation of limestone lithotypes of the red-colored formation of the Kazan Stage (Middle Permian) the Lower Kama. In the process of research, data of magnetomineralogical analysis methods were used along with biostratigraphic approach to study samples of the Sentiak geological section near Elabuga. Magnetomineralogical analysis is considered as a tool for obtaining more reliable information to construct a sedimentological model of the geological object under study.

Key words: magnetic methods, non-marine microbial limestone, sedimentological model, lithotypes, Kazan Stage.

УДК 550.837

РЕЖИМНЫЕ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА УЧАСТКЕ ТЕХНОГЕННОЙ НАРУШЕННОСТИ ПОРОД

¹*Лучников Максим Сергеевич, ²Зубрикова Екатерина Сергеевна*

Горный Институт УрО РАН, г. Пермь

¹*maximluchnikov@mail.ru, ²katerina.bushueva@mail.ru*

Аннотация. В работе приводятся результаты режимных электроразведочных исследований выполненных современной технологией томографических исследований на шахтном поле месторождения калийных солей. Проведен сравнительный анализ данных по одному профилю за два года.

Ключевые слова: Электроразведка, мониторинг, электротомография, удельное электрическое сопротивление, месторождение солей.

Для безопасной разработки продуктивной толщи соляного месторождения, а также для успешного прогнозирования проседания дневной поверхности на территории градопромышленных агломераций на шахтных полях калийного месторождения солей, необходимо своевременно производить изучение состояния подрабатываемого массива. На данном объекте с целью контроля естественного развития обрушений дневной поверхности, начиная с 2015 года, проводится комплексные ежемесячные наблюдения, которые включают как подземные натурные испытания массива, так и наземные режимные наблюдения, которые, в частности, включают в себя сейсмические и электрометрические наблюдения [3, 5].

Электрометрические наблюдения с 2015 по 2020 г. осуществлялись методом симметричного электропрофилирования [4] с шагом 20 м. В 2021 г. в рамках усовершенствования способов контроля над изменением электрических свойств породного массива в районе техногенной нарушенности пород успешно внедрена современная технология томографических исследований. Электротомография (ЭТ) – это целый комплекс, включающий в себя как методику полевых наблюдений, так и технологию обработки и интерпретации полевых данных. Ее особенностью является многократное использование в качестве питающих и измерительных одни и те же фиксированные на профиле наблюдений положения электродов. Это приводит к уменьшению общего числа рабочих положений электродов при существенном увеличении плотности измерений, число которых обычно достигает первых тысяч [1, 2, 6]. Электротомография использует отличную от классических ВЭЗ систему наблюдений и обладает высокой плотностью наблюдений. Для нее выпускается специальная многоэлектродная аппаратура, разработано программное обеспечение для 2D инверсии [3].

Полевые работы выполнены с использованием многоэлектродной 15-ти канальной электроразведочной аппаратуры "Скала 64К15" (ООО «КБ Электрометрия», Россия). Измерения выполнены по методике электротомографии методом сопротивлений, комбинацией прямой и встречной трехэлектродных установок. Расстояние между электродами составило 5 метров. Обработка данных электротомографических исследований осуществляется с помощью программного обеспечения для двумерной инверсии данных электроразведки методом сопротивления «ZondRes2d» так же отечественной разработки (ZondSoftware, СПб).

Особенностью решения прямой и обратной задачи в 2D постановке является учет влияния рельефа, а также искажений (Р и С-эффекты), обусловленных неоднородностями в верхней части разреза, т.к. они являются частью двумерной модели. Кроме того, следует отметить, что двумерная инверсия процесс итерационный, т.е. искомое решение

находится методом последовательных приближений, следовательно, необходимо определить, сколько итераций необходимо для получения удовлетворительного решения. Если количество итераций будет слишком мало, то модель получится довольно грубая, с другой стороны, если количество будет слишком большим, то, несмотря на более точное решение с точки зрения арифметики, полученный результат может оказаться за рамками адекватности. Поэтому в данной ситуации необходимо найти компромисс между точностью решения и его соответствием реальной геологической обстановке. В программе реализовано несколько подходов к ограничению количества итераций. Это достижение заданной среднеквадратичной невязки между исходными и рассчитанными данными, либо уменьшение разницы этой невязки на текущей и предыдущей итерациях меньше заданной величины. Однако оперировать данными параметрами не всегда удобно, поэтому опытным путем было подобрано, что 4-5 итераций в данном конкретном случае вполне достаточно для получения удовлетворительного решения.

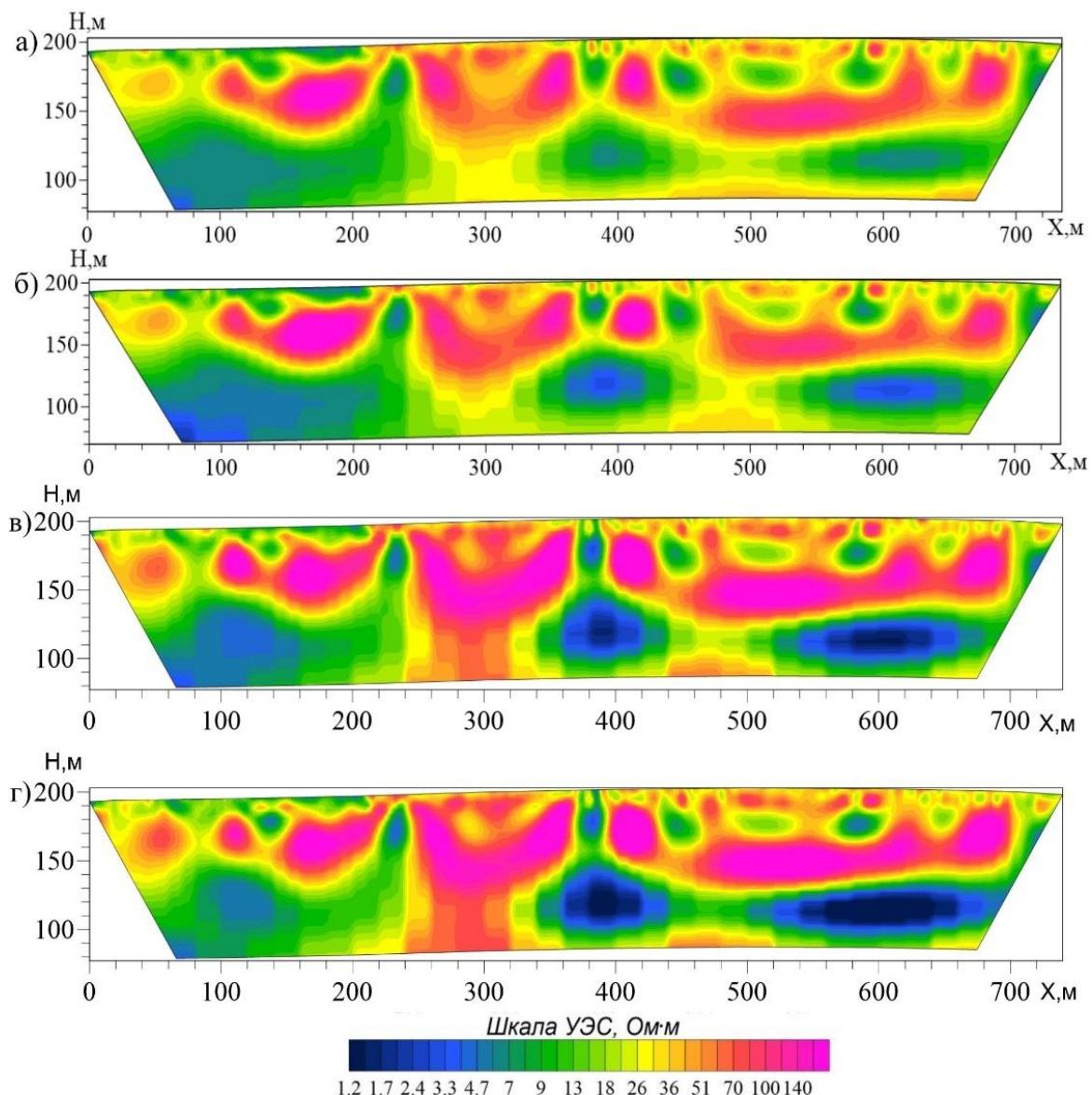


Рис. 1. Разрезы УЭС по данным томографии: а) – июнь 2021; б) – июль 2021; в) – июнь 2022; г) – июль 2022

При выполнении мониторинговых работ, важно правильно оценить такие условия как влажность и минерализация массива пород, а также сезонность работ. Стоит учесть, что, начиная с 2016 г., организованы специальные мероприятия по укреплению породного массива вблизи техногенной нарушенности горного массива, посредством засыпки обрушения конвейерным способом, а также закачки закладочного материала по трубам и скважинам. Этот материал состоит из глинистой пасты с добавлением полимерных добавок. В исследуемый период за сутки поступало около 5000 м³ такой пасты плотностью 1800 кг/м³, что равняется 7500 тонн глины. Поскольку такой раствор обладает высокой электропроводностью, то внедрение данной смеси в породный массив естественно приводит к значительным понижениям сопротивлений, как следствие, электрометрические наблюдения в большей степени отражают распределение закладочного материала в зоне исследования.

Рассмотрим результаты ЭТ, выполненные в июне и июле 2021 и 2022 годов (рис. 1). При сравнении данных, полученных в июне – июле 2021 года (рис. 1а, б) фиксируются незначительное снижение сопротивлений на участках 0-250, 350-450, 520-680 м. При анализе данных за те же промежутки 2022 (рис 1 б, в), отмечается прогрессивное снижение сопротивлений на средних и дальних разносах в зонах пониженных сопротивлений, выделенных ранее (ПК 350-440 и 520-680). Удельное электрическое сопротивление (УЭС) между этими зонами упало до 10 Ом·м, таким образом, прослеживается тенденция на их соединение. Так же выделяется зона повышенных сопротивлений на участке 250-320 м, которая распространяется на большую глубину. Данная зона повышенных сопротивлений становится барьером между двумя зонами с пониженными сопротивлениями ПК 0 – 250 и ПК 350 – 680.

Таким образом, использование современного программно-аппаратурного комплекса позволяет решать задачи мониторинга на качественно новом уровне. В частности, большой объем получаемых данных повышает достоверность информации, что особенно актуально при выполнении исследований в сложных геологических обстановках при наличии сильных техногенных помех. Кроме того, повышается детальность выполняемых исследований и, как следствие, появляется возможность оценки не только кардинальных изменений в распределении электрических параметров среды, но и фиксация незначительных изменений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ (регистрационный номер проекта 122012000398-0).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобачев А. А., Модин И. П., Перваго Е. В., Шевнин В. А. Инструкция пакета программ IPI-1D. МГУ, 2006.
2. Бобачев А.А., Модин И.Н., Перваго Е.В., Шевнин В.А. Многоэлектродные электрические зондирования в условиях горизонтально-неоднородных сред // Разведочная геофизика. 1996. №2. 50 с.
3. Зубрикова Е.С., Тайницкий А.А. Оценка результатов электроразведочных мониторинговых наблюдений // Горное эхо. 2021. № 4 (85). С. 56-60.
4. Колесников В.П. Основы интерпретации электрических зондирований. М.: Научный мир, 2007. – 247 с.
5. Тайницкий А.А., Степанов Ю.И., Зубрикова Е.С., Лучников М.С. Оценка результатов мониторинговых электроразведочных наблюдений надсолевых отложений верхнекамского месторождения на участке техногенной нарушенности породного массива // Геофизика. 2022. № 5. – С. 27-33.

6. Loke M.H., Barker R.D. Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion. // Geophysical Prospecting. Vol. 44. 1996. P.499– 523.

ROUTINE ELECTRICAL SURVEY OBSERVATIONS AT THE SITE OF TECHNOGENIC DISTURBANCE OF ROCKS

¹Luchnikov Maksim Sergeevich, ²Zubrikova Ekaterina Sergeevna

Mining Institute UB RAS, Perm

¹maximluchnikov@mail.ru, ²katerina.bushueva@mail.ru

Summary. The paper presents the results of routine electrical exploration studies performed by modern tomographic research technology in the mine field of the potash salt deposit. A comparative analysis of data on one profile for two years was carried out.

Keywords: Electrical exploration, monitoring, electrotomography, electrical resistivity, salt deposit.

УДК 550.34.013.2

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО ГРУППИРОВАНИЯ СОБЫТИЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В ЛАБОРАТОРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ ПО РАЗРУШЕНИЮ ГОРНЫХ ПОРОД

*Маточкина София Дмитриевна
ИТПЗ РАН, г. Москва
sofijamat@mail.ru*

Аннотация. Целью данной работы является экспериментальное исследование закона продуктивности землетрясений [4] в лабораторных условиях, а именно: выявление факторов, оказывающих влияние на особенности формирования продуктивности актов разрушения и параметры закона продуктивности. Лабораторные условия, в отличие от натурных, позволяют управлять напряженно-деформированным состоянием среды и варьировать механические свойства образцов. В данной работе использованы данные экспериментов, проведенных при различных уровнях напряжений, соотношениях осевых напряжений и напряжений всестороннего сжатия, на сухих и водонасыщенных образцах различных горных пород (гранит и песчаник).

Ключевые слова: закон продуктивности землетрясений, функция близости, лабораторное исследование.

На сегодняшний день точное прогнозирование землетрясений с учетом его уровня разрушений является важной проблемой для решения. Существующие модели сейсмического режима (например, ETAS) опираются на то, что события одинаковой силы имеют одинаковое число афтершоков. В таком случае реализуется Пуассоновское распределение числа афтершоков. Однако при анализе сейсмических событий наблюдается экспоненциальный закон продуктивности землетрясений [4]. Здесь под продуктивностью землетрясения понимается число сейсмических событий в определенном диапазоне магнитуды, имеющих причинно-следственную связь с этим землетрясением.

Исследования закономерностей разрушения геологических материалов и их моделей при вариациях параметров напряженно-деформированного состояния среды и ее физических свойств можно осуществить в условиях физического эксперимента. В лабораторных исследованиях акустическая эмиссия в искусственных и естественных материалах может рассматриваться как некоторый аналог землетрясений. Под акустическим режимом, по аналогии с сейсмическим режимом, понимают совокупность акустических событий в объеме образца, рассматриваемую во времени и пространстве [1].

Для изучения зависимости продуктивности от разных параметров используется метод ближайшего соседа, устанавливающий однозначную связь двух событий друг с другом [6], а также функция близости [3], которая является мерой связи между двумя землетрясениями (1), где индексы показывают порядок землетрясений во времени 1-событие произошло раньше, 2 – позже, t_{12} – время между землетрясениями, r_{12} – пространственное расстояние между эпицентрами, d_f – фрактальная размерность распределения эпицентров, b – наклон графика повторяемости, m_1 – магнитуда первого по времени события.

$$\eta_{12} = \begin{cases} t_{12}(r_{12})^{d_f} 10^{bm_1}, & t_{12} > 0 \\ +\infty, & t_{12} \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

Первый образец. BS02. Лаборатория геомеханики и реологии (GFZ, Potsdam). Водонасыщенный цилиндрический образец диаметром 50 мм и высотой 125 мм. Песчаник Бенхайм. Первая стадия: формирование сдвигового макроразрыва в результате естественного разрушения материала образцов вдоль наклонной плоскости. Образование макроразрыва сопровождалось проскальзыванием по разрыву со сбросом осевых напряжений. Вторая стадия эксперимента (со сформированными «разломными зонами»): моделирование афтершоковых последовательностей [2] (рис. 1а). Цветными прямоугольниками на рисунке 1а выделены области анализа данных: черный и синий – области до формирования микроразрыва (before 1 и before 2 соответственно в обозначениях далее); красный, желтый и зеленый – после формирования микроразрыва (after 1, after 2 и after 3 соответственно).

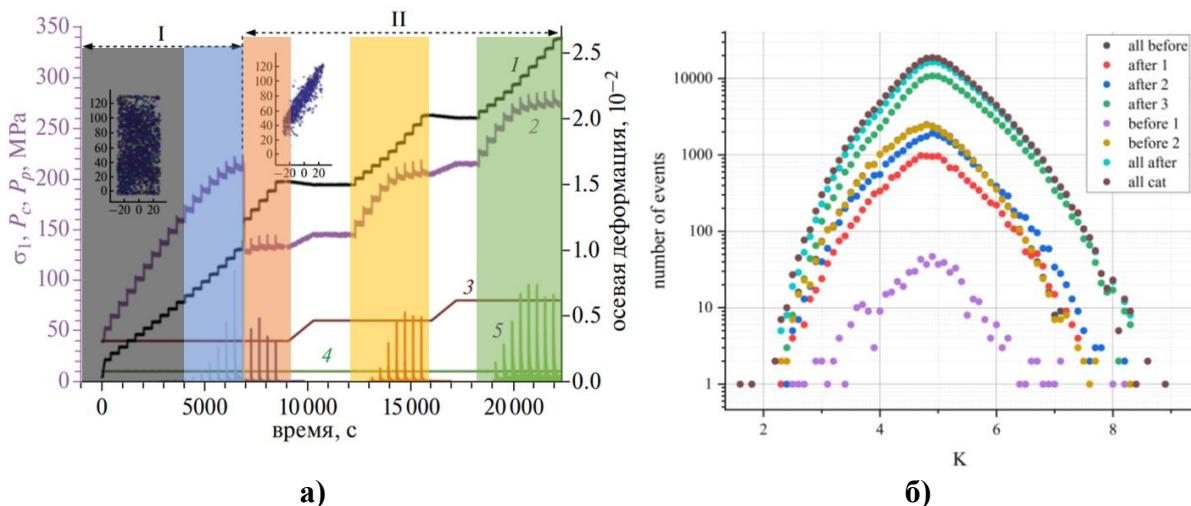


Рис. 1. а) - История нагружения первого образца: 1 – осевые деформации, 2 – осевые напряжения σ_1 , 3 – давление всестороннего сжатия P_c , 4 – поровое давление P_p , 5 – акустическая активность (разными цветами вертикальными линиями у оси времени показана активность при разных значениях давления всестороннего сжатия). На врезках – примеры распределения источников акустической эмиссии внутри образцов на подготовительной (I) и рабочей (II) стадиях. [2] **б)** - Графики повторяемости для различных этапов эксперимента: all before – первая стадия нагружения (области черного и синего прямоугольников вместе); all after – области after 1, after 2 и after 3 вместе; all cat – весь каталог эксперимента

Для анализа данных эксперимента были построены графики повторяемости (рис. 1б). С помощью рисунка 1б были найдены пороговые значения энергетического класса K_c и параметры закона Гутенберга-Рихтера b , также были посчитаны корреляционные фрактальные размерности d (табл. 1). После чего были построены распределения функции близости (рис. 2): реальное (preal) и рандомизированное (prand). В отличии от анализированных ранее землетрясений [4, 5], в случае лабораторных исследований наблюдается одногорбое распределение, для которого еще не выявлен способ нахождения порогового значения функции близости для последующего расчета продуктивностей и анализа событий.

Таблица 1

Значения параметров для оценки продуктивности событий акустической эмиссии для BS02

	all cat	all before	before 1	before 2	all after	after 1	after 2	after 3
Kc	5	5	5	5	5	5	5	5
d	2.92 ±0.04	2.71 ±0.02	2.07 ±0.06	2.72 ±0.02	2.92 ±0.04	2.60 ±0.07	2.43 ±0.08	2.83 ±0.05
b	0.782 ±0.002	0.976 ±0.009	0.95 ±0.07	0.977 ±0.009	0.766 ±0.002	0.835 ±0.011	0.83 ±0.08	0.746 ±0.003

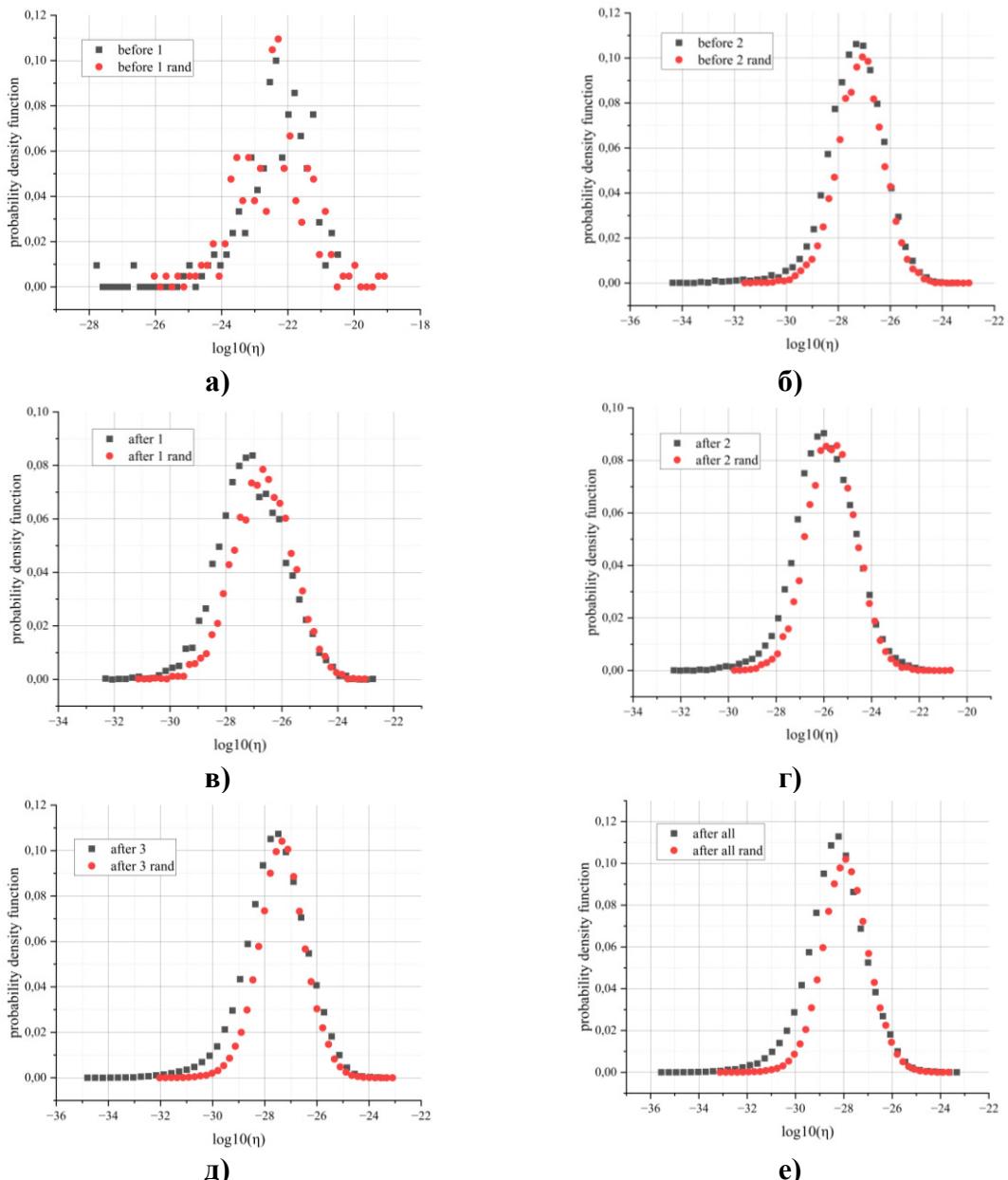


Рис. 2. Графики распределения функции близости для двух этапов первой стадии нагружения образца (а, б), трех этапов второй стадии нагружения образца (в, г, д) и для всего каталога (е). Чёрными квадратами изображены графики, построенные по исходному каталогу, красными кружками – по рандомизированному [4, 5]

Второй образец. AE42. в Лаборатории трения горных пород (Rock friction laboratory, USGS, Menlo Park, USA) [1]. Цилиндрической формы диаметром 76.2 мм и высотой 190.5 мм из гранита Вестерли. Деформация проводилась одноосной нагрузкой в условиях постоянного всестороннего сжатия 50 МПа. Сухой, обводнение не проводилось. Нагружение выполнялось в режиме с обратной связью по активности акустической эмиссии [1]. Для анализа данных были взяты события из двух временных областей: 4000-12400 секунд; 14490-15460 секунд (before и after соответственно). Анализ проводился аналогично первому образцу (рис. 3-4, табл. 2). Видно, что графики распределения функции близости также имеют одногорбый вид (рис. 4).

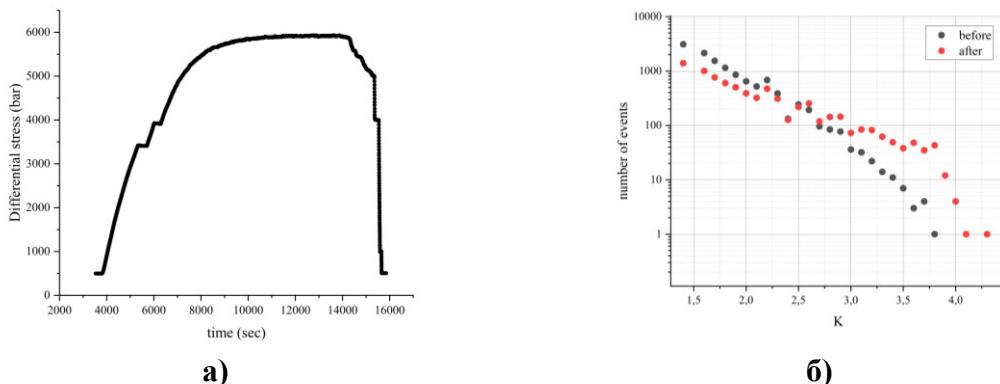


Рис. 3. а) – График нагружения второго образца, б) – Графики повторяемости для двух этапов нагружения (черные кружки – период before (4000-12400 секунд), красные – after (4000-12400 секунд))

Таблица 2
Значения параметров для оценки продуктивности событий акустической эмиссии
для AE42

	before	After
Kc	1.6	1.6
d	3.07 ± 0.05	2.63 ± 0.07
b	1.086 ± 0.013	0.678 ± 0.010

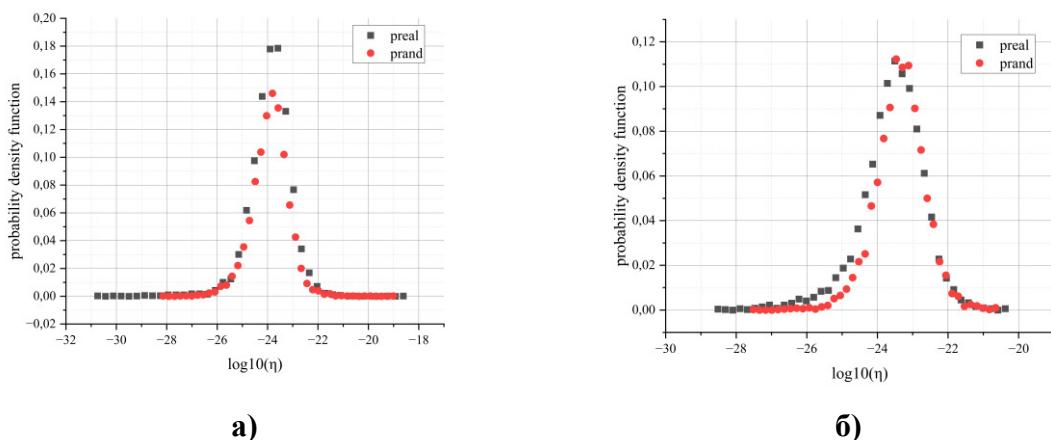


Рис. 4. Графики распределения функции близости для двух этапов нагружения образца AE42: а) – первого; б) – второго. Черными квадратами изображены графики, построенные по исходному каталогу, красными кружками – по рандомизированному [4, 5]

Одногорбое распределение функции близости рандомизированного каталога немного сдвигается вправо относительно графика исходного каталога, что свидетельствует о том, что функция близости группированных событий мало отличается от функции для независимых событий. Небольшой сдвиг означает небольшую долю группируемых событий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов В.Б., Пономарёв А.В. Физика переходных режимов сейсмичности. М.: РАН, 2020. – 412 с.
2. Смирнов В. Б., Пономарев А. В., Станчиц С. А., Потанина М. Г., Патонин А. В., Dresen G., Narteau C., Bernard P., Строганова С. М. Лабораторное моделирование афтершоковых последовательностей: зависимость параметров Омори и Гутенберга–Рихтера от напряжений // Физика земли. 2019. № 1. – С. 149–165.
3. Baiesi, M. & Paczuski, M. Scale-free networks of earthquakes and aftershocks. Phys. Rev. E, 69, 066106. 2004.
4. Shebalin, P.N., Narteau, C., Baranov, S.V. Earthquake productivity law. Geophysical Journal International, 1264–1269. 2020.
5. Shebalin, P.N., Narteau, C., Baranov, S.V. Earthquake productivity law. Geophysical Journal International, 1264–1269 (Supporting information). 2020.
6. Zaliapin, I., Gabrielov, A., Keilis-Borok, V. & Wong, H. Clustering analysis of seismicity and aftershock identification. Phys. Rev. Lett., 101(1), 018501. 2008.

REGULARITIES OF SPATIAL AND TEMPORAL GROUPING OF ACOUSTIC EMISSION EVENTS IN LABORATORY EXPERIMENTS ON ROCK FRACTURE

*Matochkina Sofiya Dmitrievna
IEPT RAS, Moscow
sofijamat@mail.ru*

Summary. The aim of this work is experimental study of earthquake productivity law [4] in laboratory environment: identification of the factors that influence characteristics of fracture productivity formation and parameters of the productivity law. Laboratory conditions, in contrast to natural ones, allow controlling the stress-strain state of medium and varying mechanical properties of samples. This paper uses data from experiments carried out at various stress levels, axial stress and compression stress ratios, on dry and water-saturated samples of various rocks (granite and sandstone).

Key words: earthquake productivity law, proximity function, laboratory study.

УДК 553.98+551.762+571.16

ЗОНАЛЬНОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ РЕЗЕРВУАРОВ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ И ПАЛЕОЗОЯ ВОСТОЧНО-ПАЙДУГИНСКОЙ МЕГАВПАДИНЫ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Меренкова Анна Сергеевна

Томский Политехнический Университет, г. Томск

a.merenkowa@yandex.ru

Аннотация. Зональное районирование резервуаров коры выветривания и внутреннего палеозоя территории Восточно-Пайдугинской мегавпадины выполнено с учетом плотности генерации тогурской нефти, качества возможного коллектора и толщины коры выветривания. При планировании поисков нефти в доюрском НГК рекомендуется учитывать прогнозные зоны максимальных и высоких перспектив.

Ключевые слова: палеотемпературное моделирование, районирование, резервуары коры выветривания и палеозоя, Томская область.

В рамках проекта зонального изучения и оценки поисковых перспектив нераспределенного фонда недр востока Томской области, инициируемого томской научной группой геотермиков, выполнены настоящие прогнозно-поисковые исследования. При этом делается акцент на доюрский нефтегазоносный комплекс (НГК), залежи в котором относятся к трудноизвлекаемой нефти. Здесь основной нефтематеринской формацией является имеющая широкое распространение тогурская свита [1].

Цель исследования – на основе палеотемпературного моделирования и зонального районирования оценить перспективы территории Восточно-Пайдугинской мегавпадины и структур их обрамления.

В качестве объекта исследования выбрана территория, по осадочному чехлу приуроченная к наиболее крупной и контрастной отрицательной структуре I порядка Восточно-Пайдугинской мегавпадине [5], на востоке граничащей с Владимировским мегавыступом, на северо-западе с Пайдугинским мегавалом (рис. 1). Согласно с тектоническим районированием доюрского фундамента Западно-Сибирской плиты [7] западную часть территории занимают структуры позднегерцинской складчатости – Нарымско-Колпашевская внутренняя впадина и Пыль-Караминский мегантиклинорий. Восточнее располагаются структуры салаирского диастрофизма: на севере небольшой фрагмент Ажарминского прогиба, Алипский прогиб и Улуульско-Среднечулынский выступ (рис. 2А).

Тогурская свита здесь имеет широкое распространение (рис. 1), а мощность нижнеюрских отложений достигает максимальных значений. Рассеянное органическое вещество (РОВ) в тогурских отложениях неоднородно, присутствуют гумусовая и сапропелевая составляющие. Содержание органического вещества C_{org} достигает (скв. Восток 3п) 2%, а водородный индекс – 38 мг УВ/г. Стадия катагенеза органического вещества достигает градации МК₁¹ – МК₁².

Моделирование основано на решении уравнения теплопроводности горизонтально-слоистого твердого тела с подвижной верхней границей, с применением оригинальной компьютерной технологии [1]. Изучение осуществляется с использованием осадочно-миграционной теории нафтигенеза. Принята концепция о преимущественно вертикальной миграции углеводородов.

Основой для выполнения работы послужили ранее выявленные и закартированные катагенетических очаги генерации УВ, а также результаты экспресс-оценки – распределение интегрального температурного показателя R , характеризующего плотность генерации тогурской нефти (рис. 1) [2].

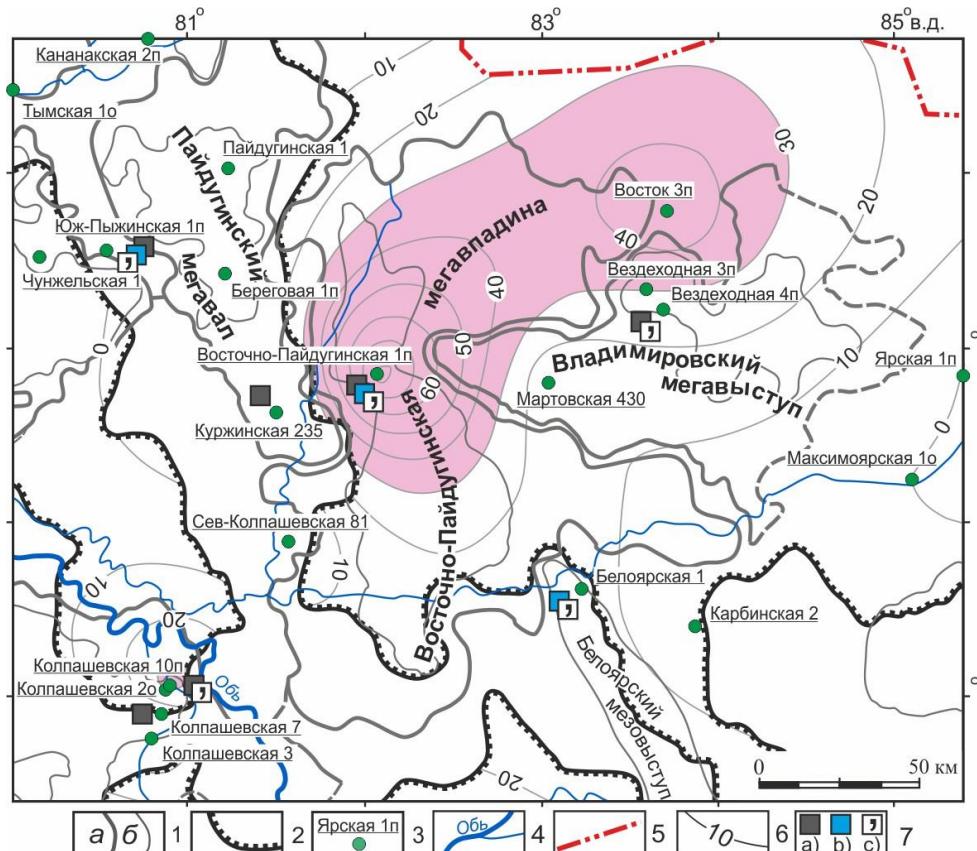


Рис. 1. Схематическая карта изолиний распределения интегрального температурно-временного показателя R (о. ед.) (с учетом мощности материнской свиты) [1]:
 1 – границы тектонических структур I-го (а) и II-го (б) порядка [5];
 2 – контур распространения тогурской свиты; 3 – скважина, вскрывшая доюрский комплекс; 4 – гидросеть; 5 – административная граница Томской области; 6 – изолинии плотности генерации тогурской нефти (о.ед.); 7 – прямые признаки нефтегазоносности в скважинах за пределами месторождений в юрском и доюрском НГК: непромышленный приток нефти (а), газа (б); запах в керне (с). Перспективные земли ($R>30$ о.ед.) показаны красно-розовой заливкой

Классификация групп петротипов пород фундамента. Петрографические разновидности пород верхнего горизонта палеозоя и коры выветривания с точки зрения качества возможного коллектора разделили на три группы.

По потенциальному формирования коллекторов во внутреннем палеозое в первую группу входят петротипы пород фундамента, в которых с высокой вероятностью могут образовываться резервуары коллекторов с лучшими ФЕС. Это могут быть карбонатные отложения, представленные известняками, доломитами и другими породами среднего-позднего девона и раннего карбона [3]. Ко второй группе пород фундамента, в которых могут образоваться коллекторы с хорошими ФЕС, относятся терригенно-карбонатные и метаморфические породы, представленные глинисто-кремнистыми или глинистыми породами, а также кремнистые сланцы kontaktово-измененные вблизи интрузий [6]. Третья группа объединяет плотные глинистые разности и магматические породы основного состава, образующие «плохие» коллекторы [6].

По потенциалу формирования коллекторов в коре выветривания в первую группу входят петротипы пород фундамента, по которым образуются коллекторы коры выветривания с высокими емкостными свойствами – кремнисто-карбонатные, глинисто-кремнистые породы, гранитоиды и их туфы [4] различного возраста. Вторая группа объединяет породы аспидной и глинисто-сланцевой формаций [4]. К третьей группе относятся магматические породы основного состава палеозойского фундамента.

На основе вышеописанного разделения петротипов группам пород присвоены весовые коэффициенты районирования, со значениями 0, 1 и 2 в порядке увеличения качества коллектора.

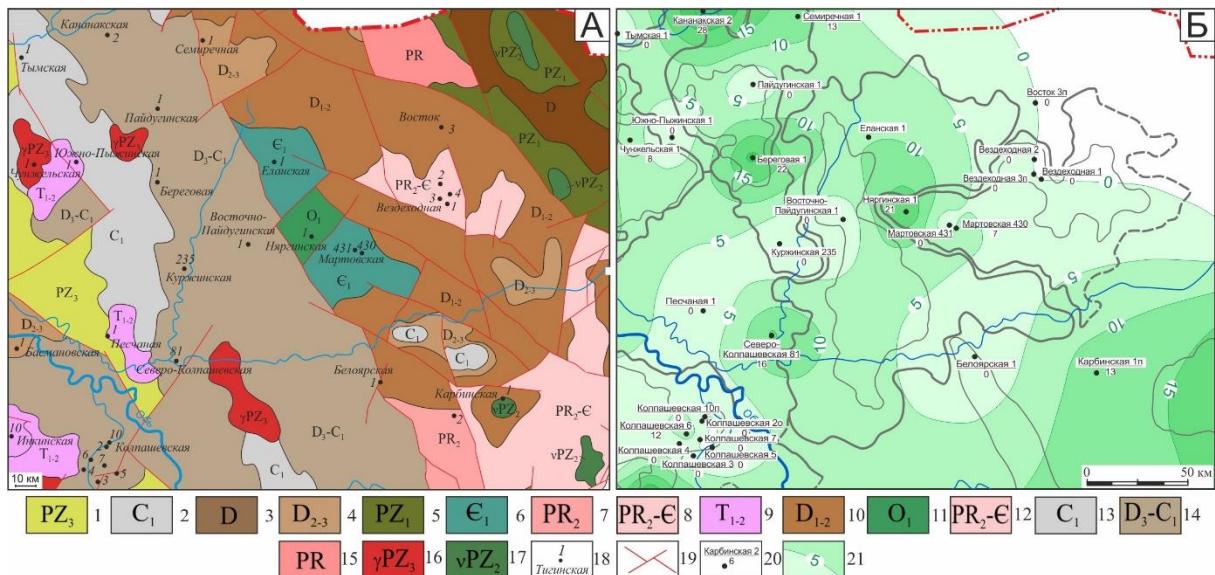


Рис. 2. Фрагмент карты вещественного состава палеозойского фундамента в контуре территории исследования [8], с дополнениями (А), схема изопахит коры выветривания Восточно-Пайдугинской мегавпадины и структур её обрамления (Б): формации с указанием возраста формирования (1-17): 1-8 – осадочные (1-4 – терригенные, 5-6 – терригенно-карбонатные, 7 – карбонатные, 8 – доломитовые); 9-12 – эфузивно-осадочные (9 – базальтовые, 10 – андезито-базальтовые, 11,12 – эфузивно-карбонатные); 13-15 – метаморфические (13, 14 – аспидные, 15 – глинисто-кремнистые); 16-17 – магматические (16 – гранитоиды, 17 – базиты); 23 – скважина, вскрывшая палеозойские отложения; 24 – разрывные нарушения; 20 – скважина (в числите – площадь, номер; в знаменателе – мощность коры выветривания, м); 21 – изолиния толщины коры выветривания, сечение 5 м

При районировании территории и ранжировании участков по плотности первичной аккумуляции нефти в палеозойском резервуаре первым по важности признаком принят номер группы петротипов пород фундамента, вторым – плотность генерации тогурской нефти. По результатам картировочного комплексирования выделены 4 перспективные зоны (рис. 3А). Ранжирование участков резервуара палеозоя по перспективности следующее (номер группы петротипов пород фундамента/плотность генерации тогурской нефти, о. ед.): 1 – 1/более 30; 2 – 1/10-30; 3 – 2/более 30; 4 – 2/10-30.

К участку зоны с максимальной перспективностью (по ранжуру 1) относится участок со значениями плотности генерации более 30 о.ед., распространением коллекторов 1-ой группы петротипов. На этом участке палеозой скважинами не вскрыт.

К участкам зоны с высокой перспективностью (по ранжуру 2) относятся участки с плотностью генерации нефти от 10 до 30 о.ед. и с коллекторами 1-ой группы петротипов. Здесь при бурении скв. Вездеходная 4п в интервале палеозоя получена пленка нефти при испытании, запах и выпоты УВ в керне.

Районирование резервуара коры выветривания основывается на комплексировании трех параметров: весового коэффициента потенциала формирования коллекторов различными петротипами пород фундамента, плотности генерации тогурской нефти и толщине коры выветривания. Пермо-триасовые отложения здесь широко распространены, что отражено на построенной карте по материалам 68-ми глубоких скважин, из которых 40 за контуром (рис. 2Б) («дела скважин», Томский филиал ФБУ «ТФГИ по СФО»).

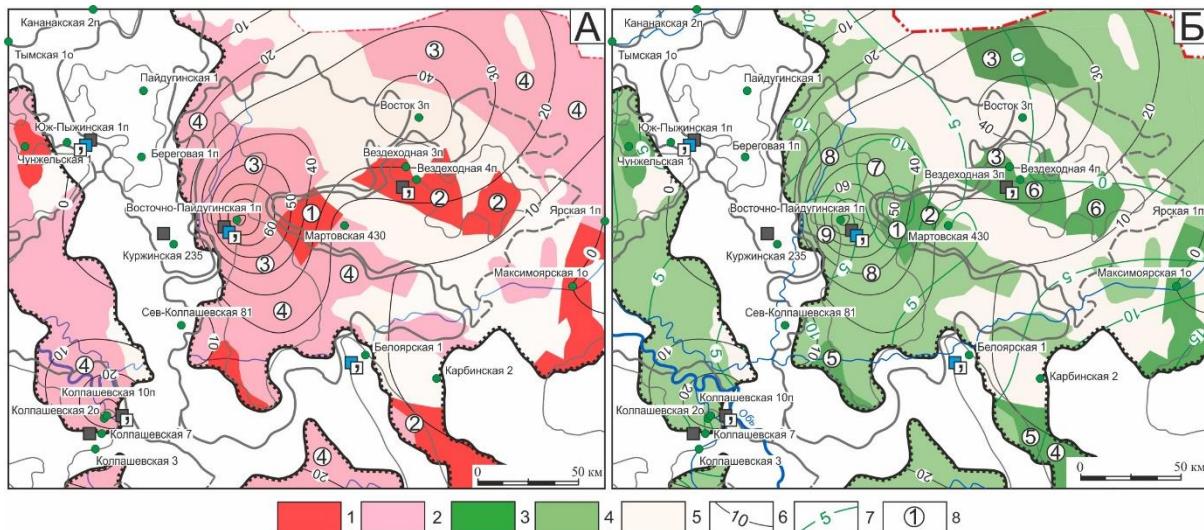


Рис. 3. Районирование и ранжирование перспектив нефтегазоносности резервуара палеозоя (А) и коры выветривания (Б): 1-2 – области распространения первой (1) и второй (2) групп петротипов резервуара палеозоя; 3-4 – область распространения первой (3) и второй (4) групп петротипов коры выветривания; 5 – область распространения третьей группы петротипов палеозоя и коры выветривания; 6 – изолиния плотности генерации тогурской нефти (о. ед.); 7 – изолиния толщины коры выветривания (м); 8 – перспективный участок, его номер в ранжировании

По результатам картировочного комплексирования выделены 9 перспективных зон (рис. 3Б). Ранжирование участков по степени перспективности следующее (группа петротипов пород фундамента/плотность генерации тогурской нефти, о. ед./толщина коры выветривания, м): 1 – 1/более 30/более 10; 2 – 1/более 30/5-10; 3 – 1/более 30/0-5; 4 – 1/10-30/более 10; 5 – 1/10-30/5-10; 6 – 1/10-30/0-5; 7 – 2/более 30/более 10; 8 – 2/более 30/5-10; 9 – 2/более 30/0-5.

К участкам с максимальной перспективностью относятся участки с распространением коллекторов первой группы петротипов, плотности генерации более 30 о.ед. (по ранжуру 1-3). К участкам с высокой перспективностью относятся участки с распространением коллекторов первой группы петротипов, значениями плотности генерации нефти от 10 до 30 о.ед. (по ранжуру 4-6). Кора выветривания вскрыта лишь на одном из участков ранжура 3 – скв. Вездеходная 3п, 4, однако пласт М не испытан.

Для участка Восточно-Пайдугинской мегавпадины выполнена условная классификация областей распространения петротипов пород доюрского основания по потенциальному формированию коллекторов во внутренних горизонтах палеозоя и в коре выветривания. При планировании поисковых работ в доюрском НГК рекомендуется учитывать зоны максимальных и высоких. Практически подтверждена нефтегазоносность участка зоны высоких перспектив резервуара палеозоя. В других скважинах кора выветривания и палеозой либо не вскрыты, либо не испытаны.

Выражаю благодарность научному руководителю В.И. Исаеву, а также Г.А. Лобовой за всестороннюю поддержку работы и ее обсуждение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исаев В.И., Искоркина А.А., Лобова Г.А., Старostenко 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.
2. Меренкова А.С., Исаев В.И., Лобова Г., Осипова Е.Н. Тепловой поток и термическая история материнской нижнеюрской тогурской свиты и нефтегазоносность Восточно-Пайдугинской мегавпадины (юго-восток Западной Сибири) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2022. – Т.17. – №3. DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/24_2022 (дата обращения: 28.09.2022)
3. Ковешников А.Е. Формирование пород-коллекторов в доюрских карбонатных отложениях Западно-Сибирской геосинеклизы // Известия Томского политехнического университета. Инженеринг георесурсов. – 2012. – Т. 321. – № 1. – С. 132–137.
4. Ковешников А. Е., Недоливко Н. М. Коры выветривания доюрских отложений Западно-Сибирской геосинеклизы // Известия Томск. политехн. ун-та. – 2012. – Т. 320. – № 1. – С. 77–81.
5. Конторович В.А. Тектоника и нефтегазоносность мезозойско-кайнозойских отложений юго-восточных районов Западной Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – 253 с.
6. Лобова Г.А., Исаев В.И., Кузьменков С.Г., Лунёва Т.Е., Осипова Е.Н. Нефтегазоносность коллекторов коры выветривания и палеозоя юго-востока Западной Сибири (прогнозирование трудноизвлекаемых запасов) // Геофизический журнал. – 2018. – Т. 40. – № 4 – С. 73-106.
7. Сурков В.С., Жеро О.Г. Фундамент и развитие платформенного чехла Западно-Сибирской плиты. – М.: Недра, 1981. – 143 с.
8. Сурков В.С., Лотышев В.И. Отчет о НИР по проекту 2Н1-10 «Разработать геологическую модель домезозойского основания Западно-Сибирской плиты на базе комплексной интерпретации материалов бурения, сейсмических данных и потенциальных полей» (заключительный). Книга 1, Книга 2 – Новосибирск: ФГУП «СНИИГГиМС», 2007. – 125 с., – 134 с.

WEATHERING CRUST AND PALEOZOIC RESERVOIRS ZONING OF THE EAST-PAIDUGIN DEPRESSION (TOMSK REGION)

*Anna Merenkova
Tomsk Polytechnic University, Tomsk
a.merenckowa@yandex.ru*

Summary. The zoning of the Paleozoic and weathering crust reservoirs of the East-Paidugin depression was carried out taking into account the Togur oil generation density, the quality of the possible reservoir and the weathering crust thickness. It is recommended to consider the forecast zones of maximum and high prospects when planning oil prospecting in the Pre-Jurassic oil and gas complex.

Key words: paleotemperature modeling, zoning, weathering crust and Paleozoic reservoirs, Tomsk region.

УДК 550.343.2

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ ВОРОНОК ГАЗОВОГО ВЫБРОСА СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Милехина Александра Михайловна
ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск
amilekhina@gsras.ru

Аннотация. Описание такого явления, как воронки газового выброса в Ямalo-Ненецком автономном округе (ЯНАО), образование которых подтверждается космосниками. Рассмотрен пример возможности регистрации воронки газового выброса сейсмическим методом при наличии достаточно плотной сети сейсмического мониторинга.

Ключевые слова: арктическая зона, выброс газа, воронка, космоснимки, сеть сейсмического мониторинга, эпицентр события

В июле 2014 г. большое внимание научной общественности вызвала информация об обнаружении в Ямalo-Ненецком автономном округе (ЯНАО), в юго-западной части полуострова Ямал, в 30 км южнее уникального по запасам Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения и менее чем в 5 км от магистрального газопровода Бованенково–Ухта гигантского глубокого кратера, заполненного водой лишь в нижней части [1]. Уже в августе она исследовалась геологами, геофизиками, газовиками и мерзлотоведами из академических институтов Москвы, Сибирского и Уральского отделений РАН. На этом этапе изучения воронки внешний ее диаметр составлял около 37 м, а внутренний (ствол, колодец, кратер) – не больше 25 м, глубина от края бруствера до воды достигала 35 м, а до дна ~ 42 м (рис. 1). Замеры содержания газов в воронке показали отсутствие значений выше фоновых [2].



Рис. 1. Бованенковская воронка в 2014 г. а) – летом, б) – осенью. Фото В. Богоявленского

Через несколько дней появилась информация об обнаружении еще двух воронок несколько меньшего размера в ЯНАО (рис. 2). О природе образования воронок было выдвинуто несколько гипотез, но большинство ученых едины во мнении о газо-взрывном механизме происходящих событий.



Рис. 2. Расположение воронок

Уровень достоверности информации о природе обнаруженных подобных объектов сильно различается, что связано с их ограниченной доступностью для экспедиционных расследований и/или с отсутствием координат их расположения при наличии подтверждающих видео- и фотоматериалов, предоставленных коренным населением.

Как правило, одним из способов обнаружения воронок является изучение аэрофото- и космоснимков (КС) дистанционного зондирования Земли. КС различного пространственного разрешения применяются для решения следующих задач: определение временного интервала образования исследуемых воронок; получение ландшафтных и геоморфологических характеристик участков их расположения; количественная и качественная оценка изменений в рельефе, связанных с образованием воронок; выявление динамики эволюции образовавшихся воронок [3].

Очевидно, что появление воронок в Арктике носит систематический характер и представляет несомненную угрозу жизнедеятельности человека, поэтому возможность быстрого выявления образования новых воронок несомненно важна.

В 2017 г. ФИЦ ЕГС РАН совместно с администрацией ЯНАО развернули высокочувствительную сеть сейсмического мониторинга Северного Ямала вблизи населенных пунктов Сабетта, Харасавей и Бованенко (рис. 3). В скважины глубиной 2-5 м в были установлены широкополосные сейсмометры Trillium Compact 120 с цифровыми регистраторами Centaur, комплектами бесперебойного питания и передачи данных [4].



Рис. 3. Схема расположения станций сети

Данной сетью, впервые в мировой практике были зарегистрированы сейсмические сигналы от взрывного выброса газа, приведшего к образованию газовой воронки 29 июня 2017 г., обнаруженной местной жительницей. В тот день она поднялась на вершину холма посмотреть издалека на пасущихся оленей. В какой-то момент ей показалось, что земля под ногами «задышала». Женщина испугалась и побежала прочь. Примерно через минуту позади нее раздался страшный взрыв с разлетом породы более чем на 300 м, она просто чудом не пострадала. Очевидцы из коренного населения рассказали потом, что в течение полутора часов после взрыва наблюдали, как выделяющийся газ горел на воде [5]. Так как кратер образовался под руслом р. Мюдрияха воронку сразу затопило и ее сложно обнаружить на КС.

Однако, в 2018 г. сейсмическими станциями было зафиксировано еще 4 аналогичных события [6]. В данной работе рассматривается одно из них, произошедшее 19 марта 2018 г. Событие было зафиксировано всеми тремя станциями (рис. 4), что позволило точно определить координаты эпицентра.

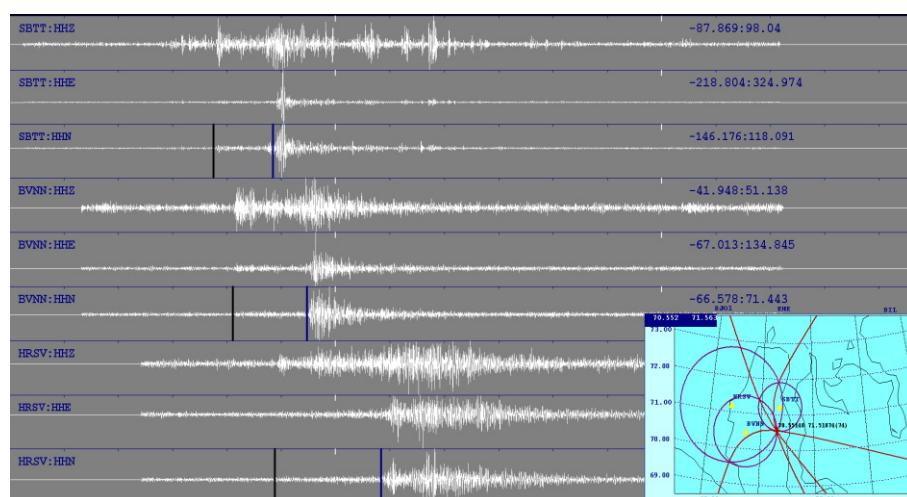


Рис. 4. Сейсмические сигналы (по трем трехкомпонентным сейсмическим станциям) и определение эпицентра выброса газа на Ямале 19 марта 2018 г. [7]

Для поиска воронки с сайта www.sentinel-hub.com были отобраны КС с изображением до и после сейсмического события. На первых КС (рис. 5а, 5б) можно разглядеть бугор, который, как правило, предшествует образованию воронки, а на КС датированном 15 июня 2018 г. (рис. 6) уже можно четко выявить образование новой воронки.

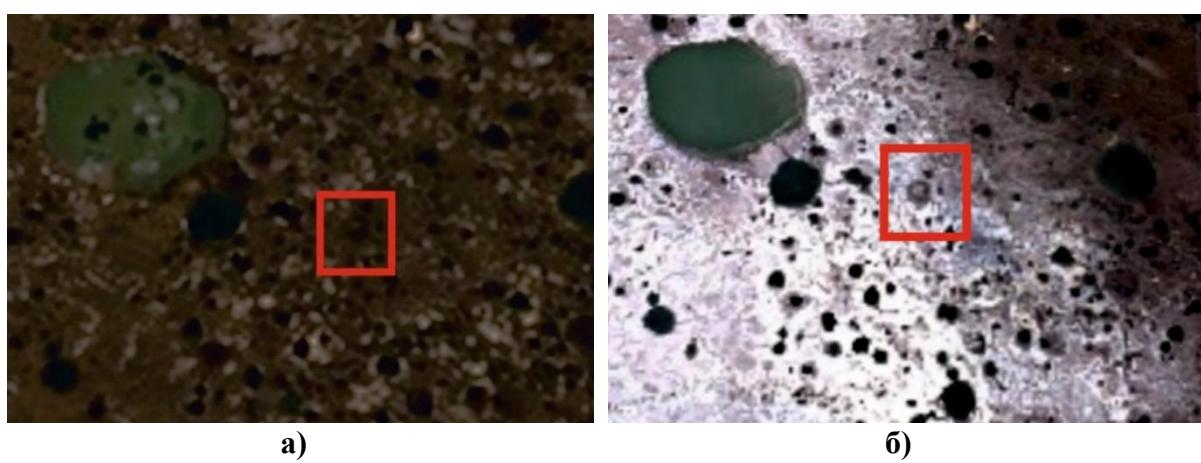


Рис. 5. Снимки со спутника. а) – 10 июля 2017 г., б) – 12 октября 2017 г.

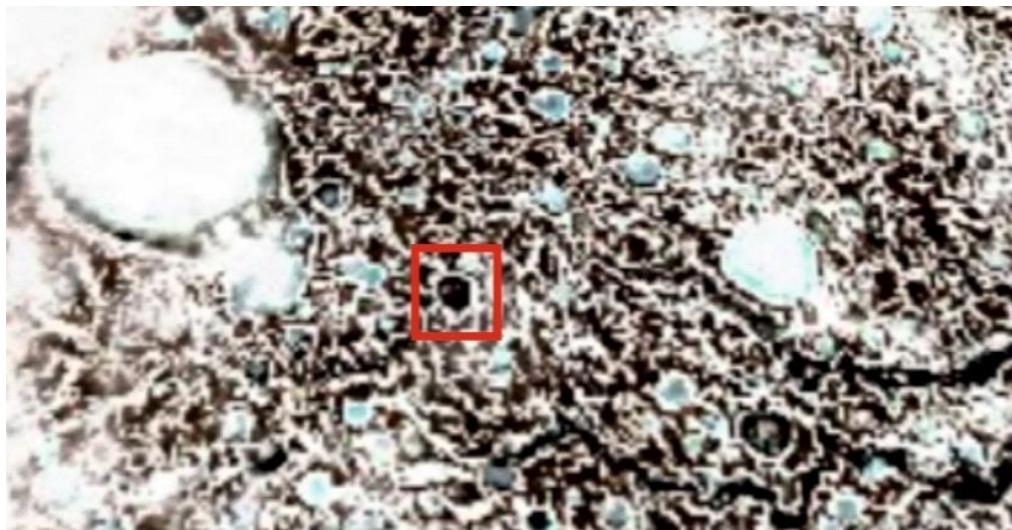


Рис. 6. Снимок со спутника 15 июня 2018 г.

Таким образом, приведенный выше пример показывает, что при наличии достаточно плотной сети сейсмического мониторинга в Арктической зоне возможно регистрировать такие опасные явления, как воронки газового выброса сейсмическим методом.

Также сеть сейсмического мониторинга целесообразно дополнить 2-3 станциями инфразвукового мониторинга, т.к. в процессе образования газовых выбросов выделяется большое количество акустической энергии в инфразвуковом диапазоне частот. Совместное применение сейсмического и инфразвукового мониторинга существенно расширит возможности сети наблюдения в части распознавания природы произошедших событий [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богоявленский В.И. Угроза катастрофических выбросов газа из криолитозоны Арктики. Воронки Ямала и Таймыра // Бурение и нефть. – 2014. – № 9 – С. 13–18.
2. Епифанов В.А. Взрывные воронки-колодцы и актуальность изучения роли дегазации недр в климатических событиях и ландшафтных преобразованиях четвертичного периода // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. – 2018. – № 76 – С. 5–40.
3. Кизяков А.И., Лейбман М.О., Зимин М.В. Применение космических снимков для изучения воронок газового выброса // Материалы докладов XIII Общероссийской научно-практической конференции и выставки «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации». – 2017. – С. 259–264.
4. Виноградов Ю.А., Пятунин М.С. Сейсмологический мониторинг на северном Ямале. Первые результаты // Материалы XII Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 92–95.
5. Геологи МГУ раскрыли тайну происхождения кратера на Ямале // «Научная Россия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://scientificrussia.ru/articles/razgadana-tajna-potustoronnih-kraterov-na-yamale>
6. Виноградов Ю.А., Милехина А.М., Виноградов А.Н. Геофизические методы мониторинга выбросов газогидратов в Арктике // Глобальные проблемы Арктики и Антарктики. Архангельск, 2020. – С. 86–91.

7. Виноградов Ю.А., Федоров А.В., Пятунин М.С., Милехина А.М. Сейсмический мониторинг на полуострове Ямал // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XIV Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 28.
8. Асминг В.Э., Евтюгина З.А., Виноградов Ю.А., Федоров А.В. Анализ инфразвуковых сигналов, генерируемых техногенными источниками // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. – 2009. – Т. 12, № 2. – С. 300-307.

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF REGISTRATION OF EDUCATION GAS DISCHARGE FUNNEL SEISMOLOGICAL METHOD

*Milekhina Aleksandra
FRC GS RAS, Obninsk
amilekhina@gsras.ru*

Summary. A description of such a phenomenon as gas vents in the Yamal-Nenets Autonomous Okrug (YaNAO), the formation of which is confirmed by spacemen. An example of the possibility of registering a funnel of gas emission by the seismic method in the presence of a fairly dense network of seismic monitoring is considered.

Key words: arctic zone, gas release, funnel, satellite imagery, seismic monitoring network, event epicenter.

УДК 550.379

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ КАРСТОВЫХ ПОЛОСТЕЙ В СОЛЕОТВАЛАХ

^{1,2}*Миннигузин Вадим Эльфатович, ²Жуков Александр Анатольевич,*

^{1,2}*Пригара Андрей Михайлович, ²Царев Роман Ильич,*

^{1,2}*Обмелюхин Михаил Андреевич*

¹*Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь*

²*АО «ВНИИ Галургии», г. Пермь*

Vadim.Minniguzin@uralkali.com

Аннотация. Для выявления карстовых полостей на солеотвале был проведен комплекс геофизических работ, включивших в себя сейсморазведочные работы методом отраженных волн и электроразведочные работы методом 2D и 3D электротомографии, в результате получены геолого-геофизические разрезы по участку исследований. Анализ данных показал, что комплексирование методов электроразведки и сейсморазведки дает объективную информацию о локализации карста в массиве.

Ключевые слова: солеотвал, карст, электротомография, сейсморазведка метод отраженных волн, атрибутивный анализ.

Верхнекамское месторождение солей (ВКМС) – крупнейшая в России база калийной промышленности и одно из крупнейших месторождений в мире. Ежегодно на ВКМС производят более 10 млн. т калийных удобрений, для этого из недр добывается более 30 млн. т руды. При производстве калийных удобрений, возникает необходимость во временном размещении на поверхности земли соляных отходов, называемых солеотвалами. На поверхности солеотвалов расположено большое количество зданий, сооружений, работает техника и персонал горного предприятия. В силу его состава (95% растворимые соли) основной опасностью его эксплуатации будет являться карстообразование [5].

Одной из проблем, возникающих при эксплуатации солеотвала, является образование карста. Карстообразование обусловлено растворением и вымыванием подземными и поверхностными водами солеотходов, что проявляется в виде образования пустот или нарушения структуры и изменения свойств пород, и часто приводит к деформациям оснований зданий и сооружений (провалы, оседания, воронки) [1].

Выполненные ранее исследования по оценке применимости геофизических методов в условиях солеотвалов показали, что исследования методами сейсмо- и электроразведки позволяют локализовать карстовые полости. Таким образом, в качестве основных методов для обнаружения карстовых полостей в отвалах калийной промышленности используются сейсморазведка методом отраженных волн по методике общей глубинной точки (МОВ МОГТ) и электроразведка в модификации электротомографии (ЭТ).

Электротомографические исследования выполнены в двух видах: 2D и 3D съемка. Для регистрации результатов измерений использовалась аппаратура электроразведочная СКАЛА 64 (ООО «КБ Электрометрии», г. Новосибирск). Шаг между электродами составлял 3 м. Электроразведочные исследования 2D выполнены с применением 3-х и 4-х электродной расстановок. 3D электротомография предполагает проведение площадных исследований.

Наблюдения МОВ МОГТ проведены с регистрацией продольных волн многоканальной установкой с числом каналов 96, шаг пунктов возбуждения составил 1 м, шаг пунктов приема – 1 м. Шаг дискретизации равен 0,25 мс, в открытом канале. Длина

записи – 256 мс. Для регистрации сигнала применяются сейсмические датчики GS-ONE, характеризующиеся низкими искажениями сигнала и более высоким отношением «сигнал/шум» по сравнению с другими датчиками, что позволяет повысить качество получаемого материала, что особенно важно при проведении геофизических работ в условиях действующих промышленных объектов [6]. Для регистрации полевых данных использована цифровая телеметрическая сейсмостанция ТЕЛСС-3 (компания «Геосигнал», г. Москва).

В результате обработки данных электротомографии были получены геоэлектрические разрезы, изменения удельного электрического сопротивления (УЭС) обусловлены различной степенью влажности минерализованных грунтов. Повышенные значения УЭС характерны для наиболее сухих участков, а для увлажненных, более минерализованных грунтов, трещиноватых и закарстованных зон, полостей, заполненных глинистыми породами характерны относительно низкие значения сопротивлений (рис. 1) [3]. На геоэлектрических разрезах выявлен ряд аномалий пониженных значений УЭС, ассоциируемых с предполагаемыми карстовыми полостями.

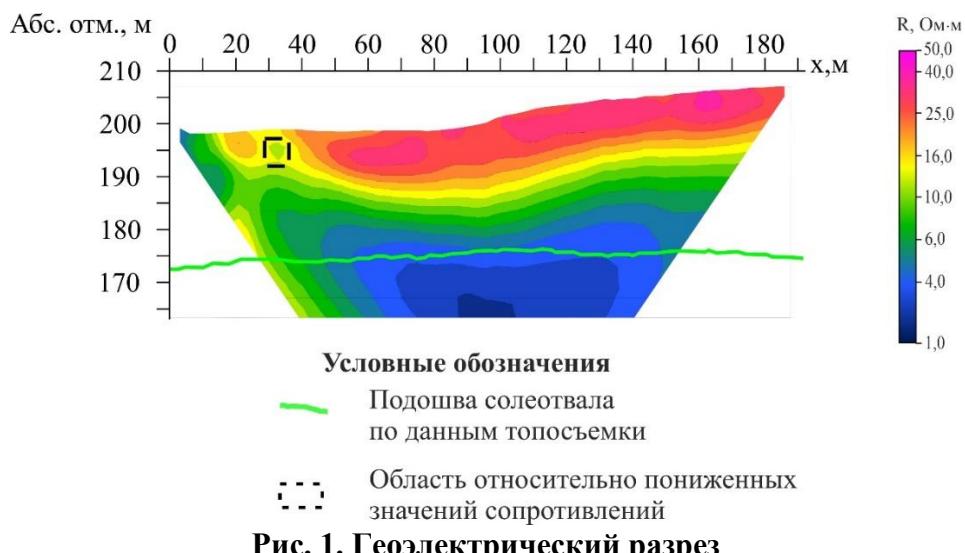


Рис. 1. Геоэлектрический разрез

Для уточнения положения и конфигурации выявленных аномалий были выполнены работы по детализации – 3D электротомографические исследования. В результате инверсии была получена трехмерная геоэлектрическая модель исследуемой толщи солеотходов (рис. 2), на которой низкоомные аномалии локализуются значительно более детально и подробно.

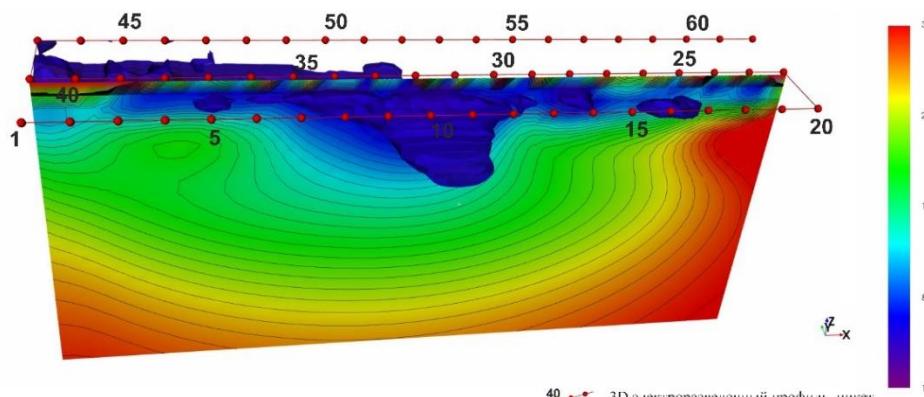


Рис. 2. Трехмерная геоэлектрическая модель

Результатом обработки сейсморазведочных данных, полученных методом МОВ МОГТ, являются глубинные сейсмические разрезы. В качестве примера представлен разрез (рис. 3а), полученный на одном из участков исследований. Видно, что сейсморазведка позволяет надежно проследить подошву солеотвала. Карст чаще всего выделяются при интерпретации следующим признакам: разрыв осей синфазности, появление мало-протяженных осей синфазности, наличие гидографов дифрагированных волн. Сейсмические данные, получаемые при проведении полевых работ, характеризуются наличием различных волн-помех, что приводит к затруднению выделения дифракции визуальным способом, особенно в случае малых размеров карстовых областей, либо расположения их на небольших глубинах [2]. Для повышения объективности выделения дифракций была использована программа, рассчитывающая коэффициент когерентности между трассами временного разреза вдоль теоретических гидографов дифрагированных волн. В результате получены разрезы распределения нормированного коэффициента когерентности, позволяющие установить наличие дифрагированных волн, ассоциируемых с карстовыми полостями на исследуемом участке. На представленном примере полость уверенно локализуется на разрезе по атрибуту дифракции (рис. 3б).

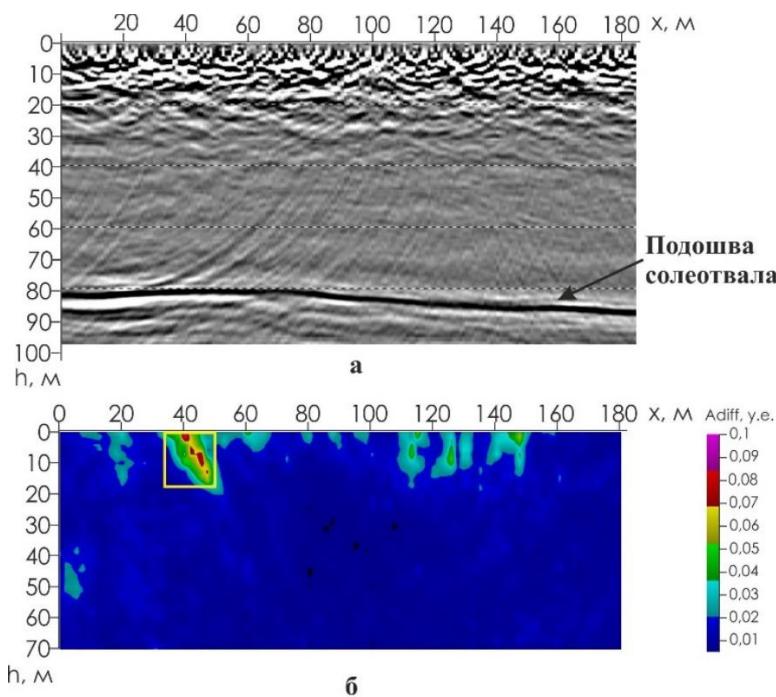


Рис. 3. Результаты обработки данных сейсморазведки: а) – глубинный разрез, б) – распределение атрибута дифракции

С учетом результатов обработки сейсморазведки и электротомографии были проведены буровые работы. В пробуренных скважинах выполнен комплекс геофизических исследований (ГИС), включающий в себя вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП), боковое каротажное зондирование (БКЗ) и каротаж сопротивлений (КС) [4]. По результатам бурения вскрытая мощность солеотходов составила 28,5 м. На глубине 3,5–5,7 м по провалу инструмента была отмечена заполненная полость (заполнитель – суглинок коричневый мягкопластичный с включениями гравия, гальки, джута, битого кирпича), которая четко отображается на результатах ВСП, КС и БКЗ (рис. 4).

Область понижения сопротивлений по БКЗ и КС распространяется от 2,5 м глубже, чем сама полость (рис. 4). Отсюда можно сделать вывод о том, что вокруг полости существует область солеотходов с измененными электрическими сопротивлениями,

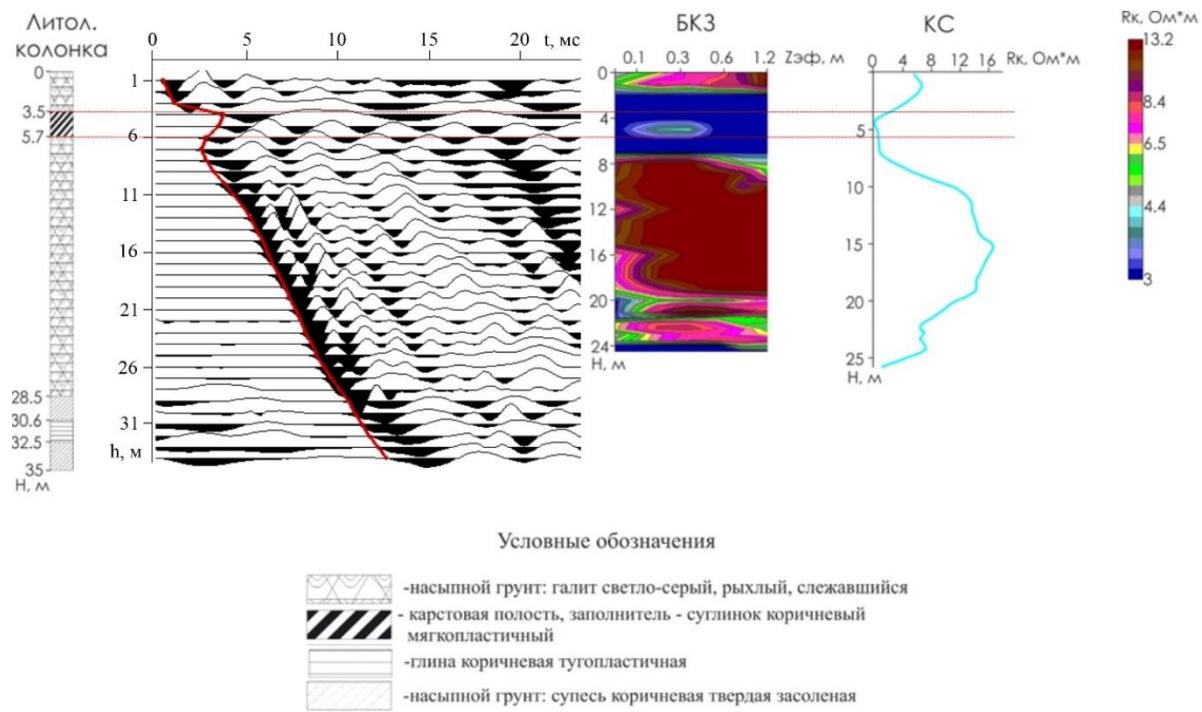


Рис. 4. Результаты бурения, ВСП, БКЗ, КС

причина которых до конца не установлена. Вероятно, она заключается в повышенной влажности и/или глинистости грунтов вокруг полостей. Полости же отмечаются пониженными сопротивлениями, поскольку, согласно результатам бурения, они заполнены мягкотекучими суглинками, которые сами по себе обладают очень низким сопротивлением и задерживают фильтрацию рассолов внутри солеотвала.

В методе ВСП область вокруг полости отмечается значительным понижением скоростей распространения волн ввиду того, что закарстованные солеотходы разуплотнены и обладают повышенной трещиноватостью и пористостью (рис. 4). Кроме того, карстовые полости заполнены мягкотекучими суглинками, в которых скорости распространения упругих волн значительно ниже, чем в слежавшихся солеотходах.

Таким образом, сейсморазведка и электроразведка позволяют получить объективную информацию о карсте в теле солеотвала. Метод электротомографии позволяет выделить области повышенной влажности и глинистости по относительно низким значениям УЭС. Использование 3D электротомографии в качестве детализационного метода позволяет уточнять форму и положение полостей и выбирать оптимальные места для проведения бурения и способ последующего погашения полостей. Сейсморазведка МОВ МОГТ позволяет выполнить структурные построения подошвы солеотвала и подтвердить наличие полостей по годографам дифрагированных волн. Методы ГИС позволяют не только выполнить привязку поверхностных наблюдений, но и установить четкую взаимосвязь между наличием в массиве солеотвалов полостей и понижением значений электрических сопротивлений и скоростей упругих волн.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Борзаковский Б.Б., Аптуков В.Н., Волегов С.В. Геомеханическая оценка образования карстовых провалов на солеотвалах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. №10. – С. 157–166.

2. Ворошилов В.А., Пригара А.М., Царев Р.И., Жуков А.А., Шусткина И.Ю. Программа поиска гидографов дифрагированных волн GodFind. Версия 1.0. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020610309.
3. Жуков А.А., Пригара А.М., Царев Р.И., Шусткина И.Ю. Применение геофизических методов для выявления ослабленных зон в солеотвалах калийных рудников. // Материалы научно-практической конференции «Инженерная и рудная геофизика 2018»
4. Костицын В. И., Хмелевской В. К. Геофизика: учебник // В. И. Костицын, В. К. Хмелевской; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2018. – 428 с.
5. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей. 2-е изд., перераб. – М.: Эпсилон Плюс, 2013. – 368 с.
6. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Ч. I. Общие правила производства работ. – М., 1997. – 47 с.

GEOPHYSICAL METHODS OF SEARCHING FOR KARST CAVITIES IN SALT DUMPS

^{1,2}*Minniguzin V.E.*, ²*Zhukov A.A.*, ^{1,2}*Prigara A.M.*, ²*Tsarev R.I.*, ^{1,2}*Obmelyukhin M.A.*

¹*Perm State University, Perm*

²*“VNII Galurgii” JSC, Perm*

eVadim.Minniguzin@uralkali.com

Summary. In order to identify karst cavities a set of geophysical works were performed which included seismic survey by the reflected wave method and electrical survey by 2D and 3D electric resistivity tomography. As a result, geological and geophysical sections of the study area were obtained. Analysis of the data obtained showed that the combination of electrical and seismic survey methods provides objective information about the localization of karst in the massif.

Key words: salt dump, karst, electrical resistivity tomography, seismic survey reflected wave method, attribute analysis.

УДК 550.34

ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ СЕЙСМИЧНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ АРМЕНИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ РАЙОНОВ

¹*Мкртчян Мери Артуровна*, ²*Саакян Бабкен Вазгенович*,

³*Геодакян Эдуард Григорьевич*, ⁴*Оганесян Севада Мкртичевич*,

⁵*Карапетян Джон Костикович*

ИГИС НАН РА, г. Гюмри, Республика Армения

¹*mary-mary-86@mail.ru*, ²*sahakyan_babken@mail.ru*,

³*geodakyan.e@mail.ru*, ⁴*iges@mail.ru*, ⁵*jon_iges@mail.ru*

Аннотация. В работе рассмотрено пространственно-временного распределение эпицентров землетрясений на территории Армении и сопредельных районов с исторических времен по настоящее время. На основе инструментальных данных (1900-2020 гг.) оценены долговременные количественные параметры графика повторяемости. Выявлено, что сейсмический режим исследуемой территории имеет сложный характер, в котором отражены периоды сейсмической активности и относительного сейсмического затишья предваряющих и сопутствующих, как сильным региональных $M > 6.5$, так и средних по силе $M \geq 5$ местных землетрясений.

Ключевые слова: сейсмический режим, сейсмическая активность, график повторяемости, аномальные проявление сейсмичности, землетрясения.

Территория Армении расположена в центральной части Анатолийско-Кавказского сегмента Альпийско-Гималайского сейсмического пояса и является одной из наиболее сейсмоактивных областей Тавро-Кавказского региона. Исследуемая территория ограничена с географическими координатами $\phi=38\text{--}42^{\circ}\text{N}$ северной широты и $\lambda=43\text{--}47^{\circ}\text{E}$ восточной долготы. Выбор этого района обусловлено тем, что он охватывает всю территорию Армении, включая примыкающие к ней районы с сейсмогенными зонами равноранговых тектонических нарушений.

Многочисленные исследования по анализу количественно-временных характеристик проявления сейсмичности. Для оценки средней продолжительности сейсмического цикла применяются методы экстраполяции графиков повторяемости слабых землетрясений в область сильнейших; наблюденные временные ряды возникновений сильнейших землетрясений в районе [4].

При наличии достоверных сейсмостатистических данных последний метод, на достаточно длительном периоде наблюдений более предпочтителен.

Учитывая то обстоятельство, что для исследуемой территории более, чем за полтора тысячелетия накоплены богатые достоверные исторические сведения и многочисленные инструментальные данные по сейсмичности, нами были применены вышеуказанные методы для определения среднего периода повторения сильнейших землетрясений этого района. Для сейсмоактивной и сейсмоопасной территории Армении крайне важной задачей является исследование характерных особенностей проявления сейсмичности на региональном и локальном уровнях.

Для осуществления поставленных целей был привлечен сводный электронный каталог землетрясений исследуемого района из базы данных фонда ИГИС [3;5-7], созданных из совокупности мировых, региональных и республиканских сейсмостатистических бюллетеней.

Анализ каталога сильных землетрясений показывает, что по данному району в целом, к сильнейшим относятся землетрясения с $M > 7.4$. Таких землетрясений во всем районе, за весь наблюдаемый период произошло не более восьми. Необходимо отменить, что первое такое событие относится к историческому времени – 427 году, а последние три землетрясения с $M \geq 7.4$ произошли в нашем столетии, причем одно из них Эрзинджанское землетрясение с $M=8.0$ в 1939 году. Именно это событие было нами принято, как завершение последнего сейсмического цикла. Для выделения сейсмических циклов и периодов активизации сейсмичности, в них рассматривался временной ряд произошедших землетрясений с $M > 6.0$ (рис. 1).

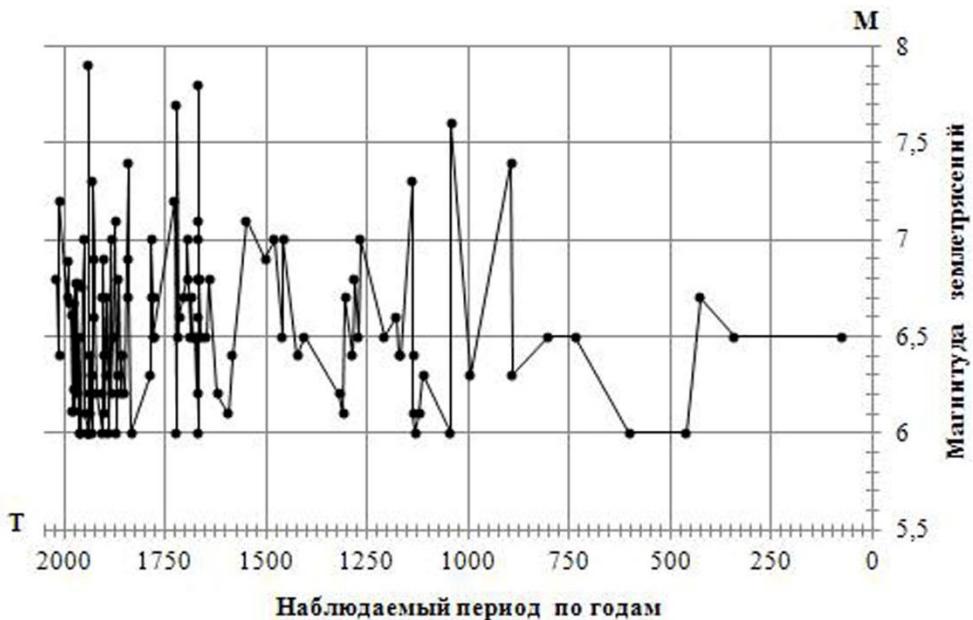


Рис. 1 Распределение магнитуд сейсмических событий по годам

Из графика временного распределения сильнейших событий видно, что они имеют достаточно четкую периодичность повторений. Выделяются соответственно четыре сейсмических цикла землетрясений с периодами, равными 490, 520, 440 и 360 лет. Для первого цикла за начало периода условно было принято землетрясение 139 года. Средний период повторений сильнейших землетрясений или продолжительность сейсмического цикла для Армении и сопредельных районов равна 425 годам. Интересно отметить, что представительность землетрясений с $M > 6.0$ с середины 1100 годов позволяет выделить в сейсмических циклах периоды активизаций со средними величинами порядка 140 лет. Наличие инструментальных данных землетрясений с 1900 года по региону, позволяет исследовать повторяемость землетрясений количественными методами.

Определение долговременных средних значений параметров сейсмического режима проводилось двумя методами: метод наименьших квадратов и максимального правдоподобия [1,2]. Исходные данные землетрясений каталога были сгруппированы в зависимости от периода наблюдений и интервала магнитуд и размещены в двумерной гистограмме для оценки параметров закона повторяемости. Для этой цели были использованы известие соотношение между количеством землетрясений и их магнитудой.

$$\lg N(M) = a - b(M - M_0) \quad (1)$$

Нахождение неизвестных параметры 'a' и 'b' в связи с достаточностью исходных данных проводилась методом наименьших квадратов.

$$\sum_{i=1}^6 [lg n_i - (a - b(M_i - M_0))]^2 = \min \quad (2)$$

По методу максимального правдоподобия параметры "a" и "b" рассчитывают при помощи соотношения (3).

$$N(M) = \exp[a - b(M - M_0)] \quad (3)$$

Первоначально рассматривались два разных периода наблюдений с 1901 по 1961 годы: ранний инструментальный период – (а), и с 1961 по 2022 годы: современный инструментальный период – (б). Для детального и однородного анализа исходных данных дополнительно был построен график повторяемости землетрясений за весь инструментальных период (1901-2022 гг.(в)).

Как видно из графика повторяемости землетрясений (рис. 2.), наиболее точные данные соответствуют периоду наблюдений с 1901 по 2022 гг. Именно этот график повторяется сильных землетрясений дает хорошее совпадение с наблюденными данными. По графику видно, что в среднем один раз в год может произойти одно землетрясение с магнитудой $M=6,0$

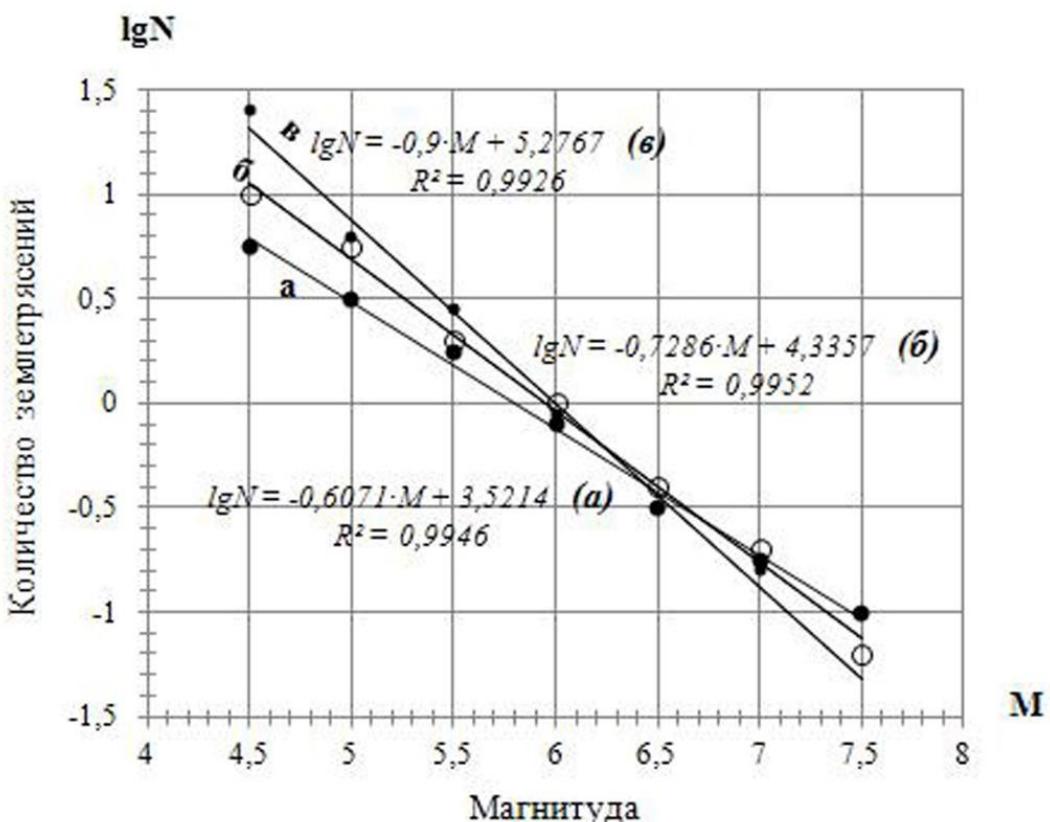


Рис. 2. Графики повторяемости землетрясений: а) – за период 1901-1961 гг., б) – за период 1961-2022 гг.; в) – за период 1901-2022 гг., по методу максимального правдоподобия

Выше проведенный временной анализ характера повторяемости землетрясений исследуемого района, показал наличие особенностей проявления сейсмического режима, связанные с процессами сейсмической активизации и релаксации тектонических напряжений. Рассматривая распределение количества произошедших за период с 1990 по 2019

годы землетрясений с $M \geq 5.1$, легко заметить наличие резких изменений, как в общем числе землетрясений по определенным десятилетним интервалам наблюдений, так и по отдельным магнитудным группам (табл. 1).

Таблица 1

Распределение землетрясений с $M \geq 5.1$ за период наблюдений с 1900-2019 гг.												
	1900-1909	1910-1919	1920-1929	1930-1939	1940-1949	1950-1959	1960-1969	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	2010-2019
$M=5.1-5.7$	32	17	11	18	13	19	28	37	10	12	20	41
$M=5.8-6.6$	12	1	5	6	6	2	8	3	1	2	-	2
$M=6.7-7.3$	4	1	1	-	2	1	2	3	2	3	-	1
$M \geq 7.4$	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
Общее кол-во землетрясений с $M \geq 5.1$	48	19	17	26	21	22	38	43	16	16	20	44

Из таблицы 1 видно, что наиболее активными периодами современной сейсмичности района являются 1900-1910 гг., 1930-1940 гг., 1970-1980 гг. и 2010-2019 гг. В эти периоды наблюдаются резкие повышение суммарного количества землетрясений в магнитудном диапазоне $M=5.1-6.6$ при этом основная доля землетрясений приходится на магнитудную группу $M=5.1-5.7$.

Наряду с этим, на всем протяжении временного интервала наблюдений выявляется, что землетрясения с магнитудой группой $M=6.8-8.0$ проявляются стабильно, что указывает на повышенную сейсмическую активность всего региона.

В периоды с 1910-1930 гг., 1940-1960 гг. и 1980-2009 гг. наблюдалось относительное понижение сейсмичности района. В эти периоды, землетрясения с $M=5.1-5.7$ происходили в несколько раз реже, чем в периоды активизации. Однако, именно к этим периодам относиться процессы подготовки и возникновения сильнейших землетрясений района: землетрясение в районе оз. Урмия 1930 г., Эрзинжанское землетрясение 1939 г., Спитакское землетрясение 1988 г. и Рачинское землетрясение 1991 г.

Выявленные временные закономерности имеют существенное значение для понимания происходящих на территории Армении и сопредельных районов сложных сейсмотектонических процессов взаимодействия большого количества блоков и мегаблоков различной значимости. Особый интерес представляет дальнешее изучение вопросов миграции сильных землетрясений, обусловленные тектоникой района.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Геодакян Э.Г., Пространственно-временное распределение сильных землетрясений Тавро-Кавказского региона и сейсмичность Армянской ССР: Афтореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. ИФЗ АН СССР: Москва, 1986. – 21 с.
- Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Краткий курс математической статистики для технических приложений. Москва, 1959. – 436 с.
- Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР. Москва.: 1977. –503 с.

4. Федотов С.А. О сейсмическом цикле, возможности количественного сейсмического районирования и долгосрочном сейсмическом прогнозе. В кн. Сейсмическое районирование СССР, М., Изд-во Наука, М. 1978. – 831 с.
5. European-Mediterranean Seismological Centre, Agrajon Cedex, France. (2023). [Site]. – URL: <http://www.emsc.org>
6. «Survey for Seismic Protection» Agency, Armenia. (2023). [Site]. – <http://www.mes.am>
7. National Earthquake Information Center, Golden, Colorado, USA. (2023). [Site]. – URL: <https://earthquake.usgs.gov>

CHARACTERISTIC FEATURES OF THE MANIFESTATION OF SEISMICITY IN THE TERRITORY OF ARMENIA AND ADJACENT REGIONS

¹*Mkrtchyan Mary Artush*, ²*Sahakyan Babken Vazgen*, ³*Geodakyan Eduard Grigor*,
⁴*Hovhannisyan Sevada Mkrtich*, ⁵*Karapetyan Jhon Kostik*
IGES, NAS RA, Gyumri, Armenia

¹*mary-mary-86@mail.ru*, ²*sahakyan_babken@mail.ru*, ³*geodakyan.e@mail.ru*,
⁴*iges@mail.ru*, ⁵*jon_iges@mail.ru*

Summary. The paper considers the spatial and temporal distribution of earthquake epicenters in the territory of Armenia and adjacent regions from historical times to the present. On the basis of instrumental data (1900-2020), long-term quantitative parameters of the recurrence graph are estimated. It was revealed that the seismic regime of the study area has a complex character, which reflects periods of seismic activity and relative seismic calm preceding and accompanying, both strong regional $M > 6,5$, and medium-sized $M \geq 5$ local earthquakes.

Key words: seismic regime, seismic activity, recurrence plot, anomalous manifestation of seismicity, earthquakes.

УДК 550.348

ИЗУЧЕНИЕ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КЛЮЧЕВСКОЙ ГРУППЫ ВУЛКАНОВ МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ

^{1,2}Молокова Алисия Павловна

¹МГУ им. М.В. Ломоносова

²ИТПЗ РАН, г. Москва

molokova.ap18@physics.msu.ru

Аннотация. В рамках эксперимента KISS (2015–2016 гг.) было записано 2136 сейсмических событий. В данной статье представлены первые результаты применения метода спектральных отношений, проведенного с целью подробной классификации типов вулканических событий по очаговым параметрам под вулканами Ключевской группы на Камчатке.

Ключевые слова: вулканическое землетрясение, очаг землетрясения, модель Бруна, спектр Фурье, метод спектральных отношений.

Мониторинг Ключевской группы вулканов (КГВ) осуществляется сейсмической сетью, состоящей из 12 станций, которой управляет Камчатский филиал Геофизической службы Российской академии наук. Обильная сейсмическая активность вулканов КГВ включает в себя продолжительные треморы, многочисленные вулкано-тектонические и длиннопериодные землетрясения. В рамках эксперимента KISS (Klychevskoy Investigation – Seismic Structure of an Extraordinary Volcanic System), главной целью которого являлось изучение глубинной структуры коры и верхней мантии в районе Ключевской группы вулканов, 83 автономных сейсмических станции были установлены сроком на 1 год в 2015–2016 гг. [1]. В результате их работы было записано 2136 событий [2]. В данной работе представлены результаты их анализа с целью подробной классификации типов вулканических событий по очаговым параметрам под вулканами Ключевской группы на Камчатке по данным эксперимента KISS.

Традиционно вулканические землетрясения разделяют на два основных типа: высокочастотные (вулкано-тектонические) и низкочастотные (длиннопериодные). Большинство высокочастотных землетрясений вызваны сдвиговым разрушением или скольжением по разломам, происходящими в земной коре под вулканами, и отличаются от тектонических магнитудами и характерными особенностями возникновения. Низкочастотные же землетрясения в большинстве случаев вызваны процессами, непосредственно происходящими в питающей магматической системе и связанными с быстрыми изменениями давления жидкости, вызываемыми неоднородными процессами течения или газообразованием [3].

Для изучения модели очагов вулканических землетрясений в данной работе используется метод спектральных отношений. Он используется для изучения и определения очаговых параметров вулканических землетрясений таких, как сейсмический момент и характерные частоты спектра [4]. В данном методе используются записи, полученные на одной и той же станции, от событий, которые расположены максимально близко в пространстве. Для одной и той же пары землетрясений получается много отношений, вследствие большого числа станций, записывающих событие. Отношения наблюденных спектров от выбранной пары близких в пространстве землетрясений сравниваются с теоретическими. Теоретическое отношение спектров рассчитывается по формуле модели Брюна (1), где \dot{M}_1 и \dot{M}_2 – амплитудные спектры сильных и слабых

землетрясений соответственно, f – частота, f_{c1} и f_{c2} – корнер-частоты сильных и слабых землетрясений соответственно, M_{01} и M_{02} – сейсмические моменты сильных и слабых землетрясений соответственно, n – параметр, который определяет асимптотический наклон правой ветви спектра, γ – константа, которая определяет остроту спектрального угла.

$$\frac{\dot{M}_1(f)}{\dot{M}_2(f)} = \frac{M_{01}}{M_{02}} \left(\frac{1 + \left(\frac{f}{f_{c2}}\right)^{\gamma n}}{1 + \left(\frac{f}{f_{c1}}\right)^{\gamma n}} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \quad (1)$$

Для оценки соотношение сигнала к шуму была сделана поправка для более точного определения границы исследуемого временного окна. Для определения данной границы берется время в очаге из каталога и к нему добавляется время прохождения сигнала от землетрясения до станции. В этом случае улучшается оценка соотношения между сигналом и шумом, т.к. берутся «чистые» отрезки сигнала и шума, где t_0 – время в очаге из каталога, S – расстояние от землетрясения до станции, v_p – скорость p-волны.

$$t = t_0 + \frac{S}{v_p} \quad (2)$$

Для того, чтобы проверить, что хорошее отношение «сигнал-шум» сохраняется в широком диапазоне частот (что важно для метода спектральных отношений), для всех вулканических землетрясений, записанных в рамках эксперимента KISS, проводится оценка соотношения между сигналом и шумом по площадям. На одном графике строятся спектры Фурье сигнала и шума, и считается площадь разности этих двух графиков. Хорошо записанные события, отношение сигнала к шуму которых приемлемо в широком диапазоне частот, имеют большую данную площадь. Записи же с шумом имеют либо довольно малую площадь, либо отрицательную.

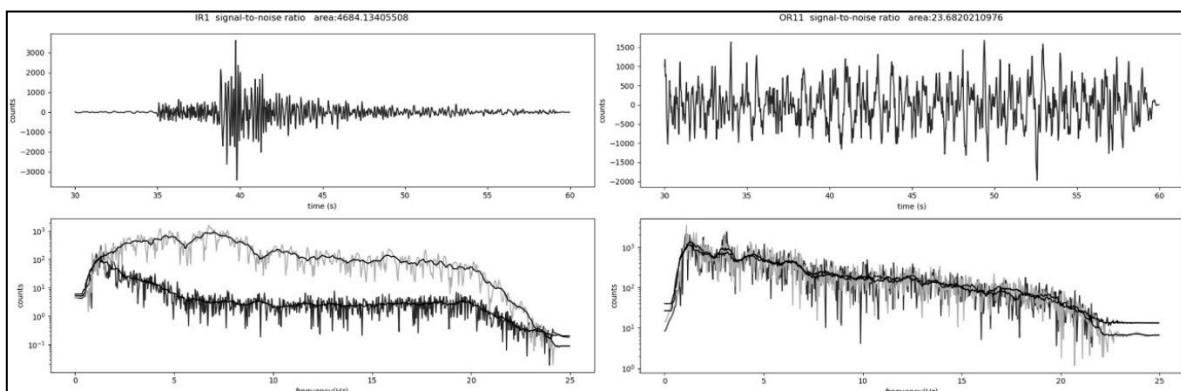


Рис. 1. Записи событий (сверху) и соответствующие им спектры Фурье сигнала и шума (снизу)

Для отработки дальнейшей методики и систематизации анализа были выбраны 2 землетрясения, близко расположенных друг к другу (расстояние между событиями 1225 м) с хорошей оценкой сигнал-шум по площадям и считаем отношения сильного спектра сигнала к слабому.

Таблица 1

Параметры выбранных для анализа землетрясений

	Время UTC	Широта	Долгота	Глубина, км	ML
1	2015.10.20 17:06:30.252	55.8365	160.2447	19.98	2.65
2	2015.11.20 12:28:18.834	55.8395	160.2258	19.40	1.60

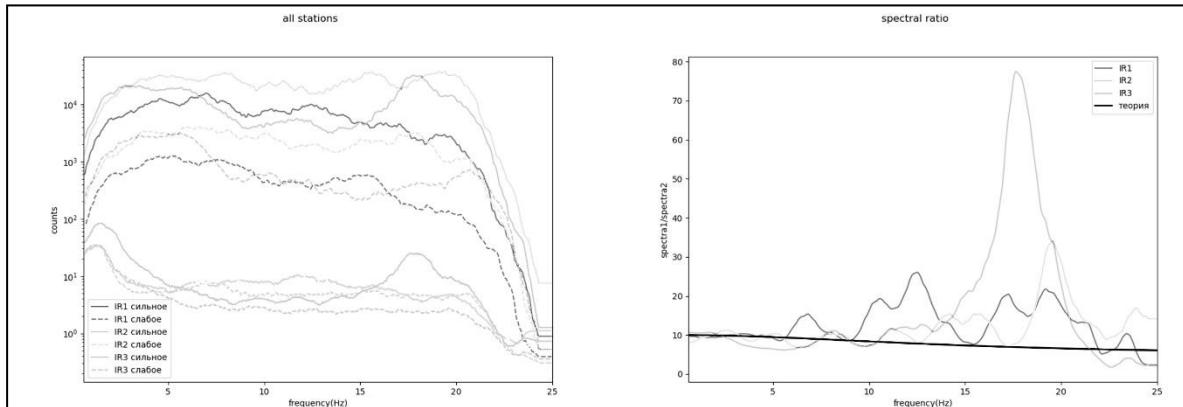


Рис. 2. Спектры выбранных событий (слева) и спектральные отношения сильного события к слабому (справа) для разных станций. Сплошная линия – сильное событие, пунктирная линия – слабое событие

Таблица 2

Параметры выбранных для анализа станций

	Станция	Широта	Долгота	Тип
1	IR1	55.71783	160.305	TRILLIUM COMPACT
2	IR2	55.78518	160.2323	MARK L-4C-3D
3	IR3	55.85794	160.2253	TRILLIUM COMPACT

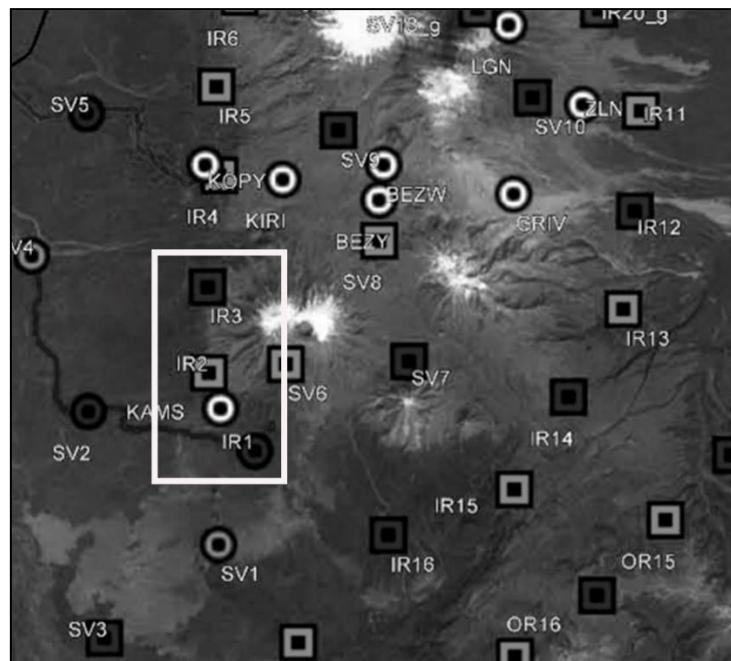


Рис. 3. Схема установки сейсмических станций в районе КГВ. Кружки – автомобиль. Квадраты – вертолет. Серые – MARK L-4C-3D. Темно-серые – TRILLIUM COMPACT. Белые – сейсмические станции сети КФ ГС. Белым прямоугольником выделены станции, записи с которых использованы в анализе

На примере рассмотренных событий, удалось получить альтернативные оценки отношения сейсмических моментов, а именно $\frac{M_{01}}{M_{02}} = 10$, а также оценки характерных частот очаговых спектров, а именно $f_{c1} = 15$ Гц и $f_{c2} = 22$ Гц, для первого и второго событий, соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шапиро Н.М., Гордеев Е.И., Абкадыров И.Ф., Кулаков И.Ю., Яковлев А.В. Широкомасштабный полевой сейсмологический эксперимент для изучения Ключевской группы вулканов // Вестник ДВО РАН. – 2017. – № 1 (191). – С. 75-78.
2. Сенюков С.Л., Дроздин Д.В., Дроздина С.Я., Шапиро Н.М., Нуждина И.Н., Кожевникова Т.Ю., Соболевская О.В., Назарова З.А., Должикова А.Н., Толокнова С.Л., Карпенко Е.А. КАТАЛОГ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО ДАННЫМ СЕТИ KISS В 2015-2016 ГГ. Проблемы комплексного геофизического мониторинга сейсмоактивных регионов. Труды Восьмой Всероссийской научно-технической конференции с международным участием 26 сентября–2 октября 2021 г. г. Петропавловск-Камчатский.
3. McNutt, S.R., Roman, D.C., 2015. Volcanic Seismicity. In: Sigurdsson, H., Houghton, B., Rymer, H., Stix, J., McNutt, S. (Eds.), The Encyclopedia of Volcanoes, pp. 1011–1034.
4. Rachel E. Abercrombie. Investigating uncertainties in empirical Green's function analysis of earthquake source parameters. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 120, 4263–4277.

THE STUDY OF THE VOLCANIC EARTHQUAKES OF THE KLYUCHEVSKAYA GROUP'S VOLCANOES USING THE SPECTRAL RATIO METHOD

^{1,2}*Molokova Alisia*
¹*Lomonosov Moscow State University*
²*IEPT RAS, Moscow*
molokova.ap18@physics.msu.ru

Summary. As part of the KISS experiment (2015-2016), 2136 seismic events were recorded. This article presents the first results of the application of the spectral ratio method, conducted for the purpose of a detailed classification of types of volcanic events by focal parameters under the volcanoes of the Klyuchevskaya group in Kamchatka.

Key words: volcanic earthquake, earthquake source, Brun's model, Fourier spectrum, spectral ratio method.

УДК 550.34

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЛЬДОТРЯСЕНИЙ СРЕДИ ЛОКАЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ НА АРХИПЕЛАГЕ СЕВЕРНАЯ ЗЕМЛЯ

¹*Морозова Екатерина Руслановна, ²Конечная Яна Викторовна*

¹*ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, г. Архангельск*

²*ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск*

¹*morozova_er@fciaarctic.ru, ²yanakon@mail.ru*

Аннотация. Открытие сейсмической станции на архипелаге Северная Земля позволило начать мониторинг локальной сейсмичности. С 2017 по 2022 год зарегистрировано 41 локальное сейсмическое событие с магнитудами ML от 0.2 до 4.9. С помощью спектрально-временного анализа их удалось разделить на две группы. Исследование пространственного распределения эпицентров и глубины гипоцентров позволило предположить природу событий выделенных групп в районе острова Октябрьской Революции.

Ключевые слова: льдотрясение, локальное сейсмическое событие, архипелаг Северная Земля, вступление волн, ледовый купол.

За последние 30 лет температура воздуха в районе арктических морей значительно выросла. Таяние арктических льдов приводит к изменению метеоусловий, что осложняет навигацию, поэтому непрерывный мониторинг для прогнозирования климатических изменений и ледовой обстановки актуален для Арктики.

Длительные изменения внешних условий ведут к постепенному переходу больших массивов льда в неравновесное состояние, к появлению в них избыточного напряжения и возможного последующего самопроизвольного разрушения. Разрушение ледяного покрова вызывается не только внешними силами, но и внутренними, действующими внутри объема льда. Процессы деструкции ледниковых покровов в сейсмологии называют льдотрясениями. Выделяют несколько типов льдотрясений, отличающихся механизмом образования: поверхностные трещины (растрескивание), прерывистое скольжение, откалывание айсбергов, подледниковый поток воды и гидроразрыв [7, 11, 6]. Такие гляциологические процессы исследуются с помощью пассивного сейсмического мониторинга, стремительно развивающегося в последние десятилетия [8, 9].

Северная Земля – крупный островной архипелаг к северу от полуострова Таймыр на границе Карского моря и моря Лаптевых (рис. 1). На архипелаге выделено 17 ледниковых систем на общей площади 16801 км². Общая длина ледяных берегов 338 км [3]. Остров Октябрьской Революции является крупнейшим островом архипелага. На нем находится 7 крупных ледников, которые занимают больше половины всей площади острова (рис. 1). В настоящее время отмечается сокращение ледового покрова архипелага Северная Земля [3].

Места, где ледники выходят к морю, часто служат источником образования айсбергов. Наиболее активные места – восточное (бухта Кренкеля) и южное побережье ледника Академии Наук, остров Комсомолец и побережье ледника Русанова в районе фьорда Матусевича на острова Октябрьской Революции, показаны черными овалами на рисунке 1.

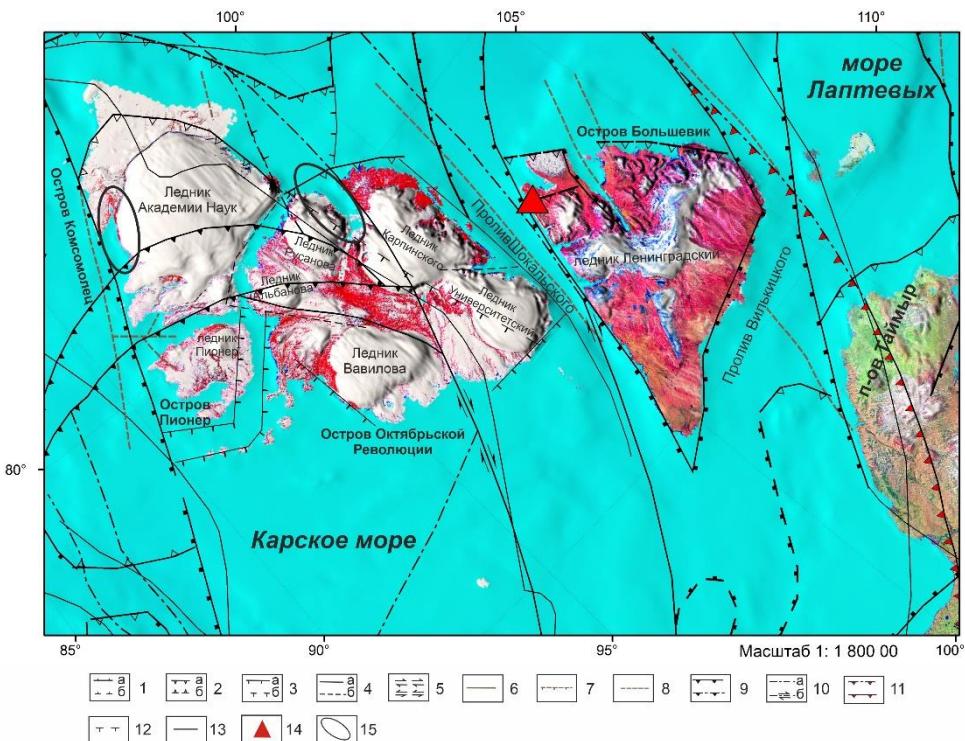


Рис. 1. Физическая карта рельефа архипелага Северная Земля. Новейшие разломы (1–4) с [2]: а - достоверные, б - предполагаемые; 1 - сбросы, штрихи на опущенном крыле; 2 - взбросы, треугольники на приподнятом крыле; 3 - разломы неустановленного типа, штрихи на опущенном крыле; 4 - разломы без установленного смещения; 5 - стрелками показано направление смещения при сдвигах. Разломы с [13] (6–8): 6 - активный спрединговый центр; 7 - нормальные разломы; 8 - неклассифицированные разломы. Разломы с [12] (9–13): 9 - надвиг и взброс; 10 - сдвиговый сброс (стрелка-направление сброса); 11 - фронт деформаций для орогенов; 12 - нормальные листрические разломы; 13 - неклассифицированные разломы; 14 - сейсмическая станция «Северная Земля» (SVZ); 15 - зоны образования айсбергов и ледников [5]

В работе [10] поднимается вопрос о природе локальных сейсмических событий, зарегистрированных сейсмической станцией «Северная Земля» (SVZ), установленной на одноименном архипелаге в ноябре 2016 года и являющейся единственным источником информации о сейсмичности архипелага (рис. 1). Авторы [10] предполагают, что *«part of the island is covered by large glaciers, so it is quite likely that the seismicity was due to failures in the glaciers»*. Выявление ледниковых событий из общей массы локальных сейсмических событий, происходящих на архипелаге Северная Земля, и их типизация позволит в дальнейшем избежать попадания «ложных» событий в сейсмический каталог.

На данном этапе наших исследований мы сосредоточимся на сейсмических событиях, включающих P- и S- фазы объемных волн, происходящих на острове Октябрьской Революции архипелага Северная Земля, зарегистрированных станцией SVZ. Известно, что обработка сейсмических событий по одной станции наименее достоверный способ локации, чем по нескольким, однако по его результатам можно определить основные зоны пространственного распределения эпицентров. Обработка данных проводилась в программах EL [4] и WSG [1] разработки ФИЦ ЕГС РАН. За период функционирования станции SVZ (с 2017 по 2022 гг.) было обработано 41 локальное сейсмическое событие, имеющие вступления фаз объемных волн. Значения локальной магнитуды землетрясений находится в диапазоне от 0.2 до 4.9.

События на острове Октябрьской Революции были проанализированы с точки зрения спектрально-временного анализа. Для обработки и анализа сейсмических сигналов мы использовали программу Geopsy, позволяющую строить СВАН-диаграммы для

разделения событий на группы. По результатам спектрально-временного анализа события были разделены на две группы **A** и **B**. На рисунке 2 представлены примеры записей (вертикальный канал) сейсмических событий и соответствующие им СВАН-диаграммы. Первая группа **A**, показанная на рисунке 2а, имеет достаточно четкие вступления P и S волн, причем S всегда интенсивнее P. В работе [9] иллюстрируются похожие волновые формы для событий архипелага Шпицберген и определяются авторами как землетрясения. У группы событий **B** P-волна выражена более слабо, отсутствуют поверхностные волны и наблюдается высокочастотный шум (~ 20 Hz) между вступлениями волн. В связи с вышесказанными особенностями волновых форм событий группы **A**, можно предположить, что они происходят глубже, чем события группы **B**.

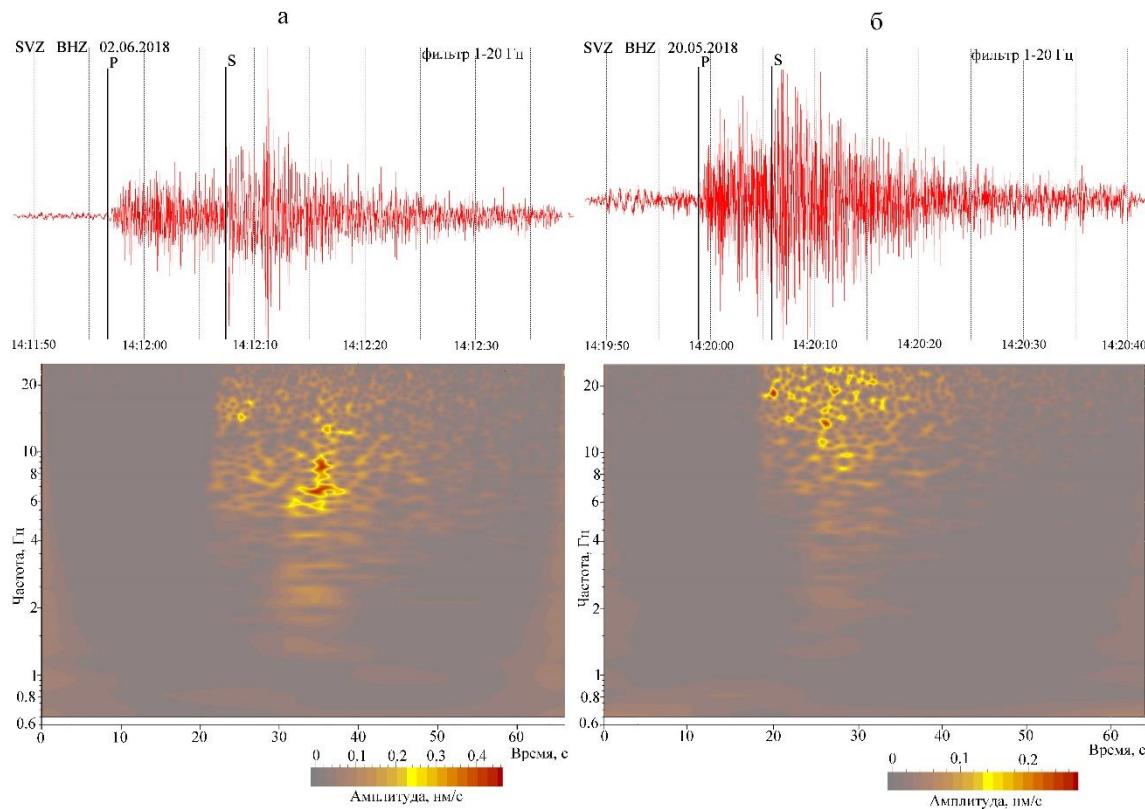


Рис. 2. Волновые формы и СВАН-диаграммы локальных сейсмических событий, зарегистрированных SVZ: а - группа А; б - группа В

На карте рис. 3 отображены локальные сейсмические события острова Октябрьской Революции. Локальные землетрясения приурочены к границе Карской плиты и зоне Северо-Таймырской деформации, окраине Баренцево-Карского шельфа; зафиксированы события в районе транспортного коридора Северного морского пути. На острове Большевик 5 сейсмических событий приурочены к разломным зонам и 4 к ледниковым куполам острова.

Обратим внимание, что события, происходящие на острове Октябрьской Революции, приурочены к ледовым куполам, как показано на рисунке 3. Видно, что эпицентры «выстраиваются» в линейные структуры, события группы **A** располагаются западнее, относительно событий группы **B**. При расчете положения эпицентров мы зафиксировали глубину всех событий как $h=0$ км. Перебор возможных глубин для группы **A** (для группы **B** остается $h=0$ км) показал, что при $h=25-30$ км эпицентры событий **A** максимально совмещаются с эпицентрами событий группы **B**. Таким образом, можно считать, что события группы **A** расположены в консолидированной коре. Данный вывод подтверждает тот

факт, что для событий группы *A* мы наблюдаем достаточно четкие вступления P- и S-волн, т.е. очаг должен располагаться в более консолидированных породах по сравнению с событиями, происходящими в ледовых куполах или на границе поверхности «земля-ледовый купол». Кроме того, при заглубленном очаге образуется поверхностная волна, а при наличии вышележащего слоя (в нашем случае это ледовый купол) и большом контрасте скоростей (лед-кристаллическая порода) образуются также волны Лява, что мы и наблюдаем для событий группы *A*. Все это подтверждает различие в природе событий двух групп: для *A* – это коровые землетрясения, для *B* – сброс напряжений в ледовых куполах.

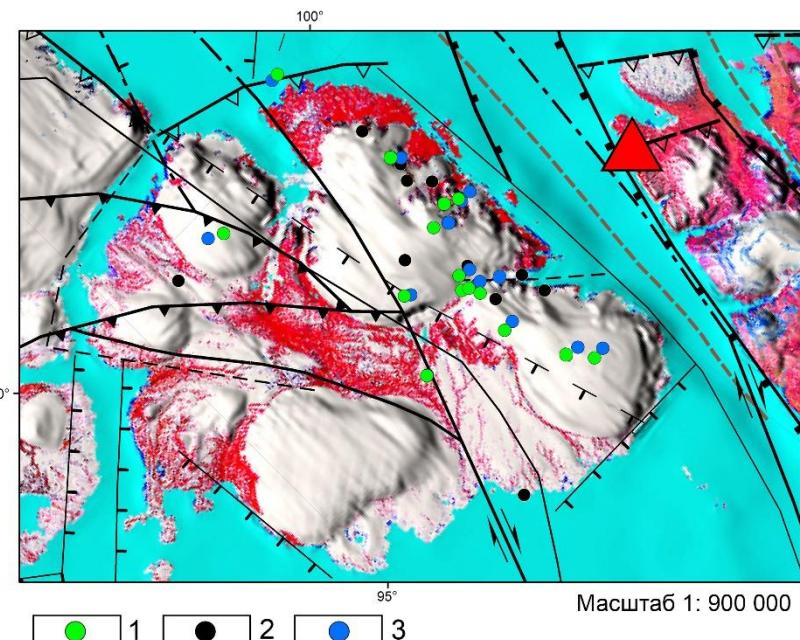


Рис. 3. События на острове Октябрьской Революции на разных глубинах гипоцентра: 1 - группа A, h=0 km; 2 - группа B, h=0 km; 3 - группа A, h=25 km; красный треугольник - сейсмическая станция SVZ (тектоническая легенда приведена на рис. 1)

Заметим, что близкое расположение групп относительно друг друга возможно указывает на их геодинамическую связь, тем более что линейный характер их проявления совпадает с выделенной разломной зоной по геологическим данным [2, 12].

Установка сейсмической станции SVZ на архипелаге Северная Земля позволила значительно продвинуться в исследовании этой арктической территории, в частности разделить ледовую сейсмическую активность и события, происходящие в земной коре. Значение локальной магнитуды землетрясений находится в диапазоне от 00,2 до 4,9. Эпицентры слабых событий были определены по данным одной станции. Тем не менее, удается разделить события на две группы и привязать их к разломной тектонике и к ледовым куполам.

Работа выполнена с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Архангельская сейсмическая сеть» (<https://ckp-rf.ru/catalog/usu/310187/>).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов, А. П., Красилов С. А. Программный комплекс WSG «Система обработки сейсмических данных» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020664678 от 16.11.2020 г.

2. Атлас «Геология и полезные ископаемые шельфов России» / гл. ред. М. Н. Алексеев. – Москва: Научный мир, 2004. – 279 с.
3. Котляков, В. М. Ледники // Большая российская энциклопедия [Электронная версия]. – URL: <https://bigenc.ru/geology/text/5556912> (дата обращения: 26.01.2023).
4. Программный комплекс EL (ELRESS). – URL: <http://www.krsc.ru/?q=en/EL> (дата обращения 26.01.2023).
5. Шапошников В. М., Александров А. В., Матанцев Р. А. Ивановская О.Д. Анализ айсберговой опасности на северном морском пути на примере газовозов // Арктика: экология и экономика. – 2017. – № 2(26). – С. 76-81.
6. Berg B., Bassis J. Crevasse advection increases glacier calving // Journal of Glaciology. 2022. P. 1-10.
7. Blankenship D. D., Anandakrishnan S., Kempf J. L. [et al.]. Microearthquakes Under and Alongside Ice Stream B, Antarctica. Detected By A New Passive Seismic Array // Annals of Glaciology. 1987. V. 9. P. 30-34.
8. Deichmann N., Ansorge J., Scherbaum F. [et al.]. Evidence for deep icequakes in an Alpine glacier // Annals of Glaciology. – 2000. V. 31. № 1. P. 85-90.
9. Köhler A., Nuth C., Schweitzer J. [et al.]. Regional passive seismic monitoring reveals dynamic glacier activity on Spitsbergen, Svalbard // Polar Research. 2015. V. 34. P. 19.
10. Morozov A. N., Asming V. E., Vaganova N. V. [et al.]. Seismicity in the far Arctic areas: Severnaya Zemlya and the Taimyr Peninsula // Journal of Seismology. 2021. V. 25. P. 1171-1188.
11. O’Neil S., Marshall H. P., McNamara D. E. [et al.] Seismic detection and analysis of icequakes at Columbia Glacier, Alaska // J. Geophys. Res. 2007. V. 112.
12. Pubellier M., Rossi P., Petrov O. [et al.]. Tectonic map of the Arctic // St. Petersburg: VSEGEI Printing House. 2018.
13. Spencer A. M., Embry A. F., Gautier D. L. [et al.]. Arctic Petroleum Geology. Geological Society Memoir 35 // London: Geological Society. 2011. P. 661.

IDENTIFICATION OF ICEQUAKES AMONG LOCAL SEISMIC EVENTS IN THE SEVERNAYA ZEMLYA ARCHIPELAGO

¹*Morozova Ekaterina Ruslanovna, ²Konechnaya Yana Victorovna
¹FECIAR UrB RAS, Arkhangelsk
²FRC GS RAS, Obninsk
¹*morozova_er@fciaarctic.ru, ²yanakon@mail.ru**

Summary. Seismic station installation on the Severnaya Zemlya archipelago made it possible to start monitoring local seismicity. 41 local seismic events with magnitudes ML from 0,2 to 4,9 were recorded from 2017 to 2022. Two groups of local events were identified using spectral-temporal analysis. The study of the spatial distribution of epicenters and the depth of hypocenters allows us to assume the nature of events on the October Revolution Island.

Key words: Icequake, local seismic event, Severnaya Zemlya archipelago, phase entry, ice sheet.

УДК 550.34

ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ В КАРЬЕРАХ НА ТЕРРИТОРИИ ВКМ

^{1,2}Мохова Виктория Вадимовна

¹Воронежский Государственный Университет, г. Воронеж

²ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж

viktorijaperevoznikova@rambler.ru

Аннотация. Рассмотрены волновые формы сейсмических событий, возникающих в результате проведения промышленных взрывов в карьерах при добычи различных полезных ископаемых. Показано, что они имеют ярко выраженные специфические черты в зависимости от характера добываемого сырья.

Ключевые слова: промышленные взрывы, сейсмические события, волновые формы, Воронежский кристаллический массив.

В пределах ВКМ в настоящее время регулярно действует 20 промышленных карьеров, в которых добываются полезные ископаемые с использованием взрывной технологии. Полезные ископаемые добываются как в осадочном чехле, так и в кристаллическом фундаменте.

Наиболее сильные взрывы производятся в карьерах Курской Магнитной Аномалии: «Железногорский», «Лебединский», «Стойленский» (от 300 до 2500 т ВВ) [1], где добывается железная руда в кристаллических породах. Наиболее значительным из перечисленных выше карьеров является «Железногорский» карьер – крупнейший в Европейской части России. В настоящее время добыча руды в «Железногорском» карьере происходит на глубине около 450 м. Протяженность карьера около 6 км и ширина около 4 км. В карьерах Белгородской области «Лебединском» и «Стойленском» также добывается железная руда с глубины порядка 300-400 м. В «Павловском» карьере на юге Воронежской области добывают гранитный щебень. Здесь мощность взрывов от 100 до 300 т ВВ [1].

Добыча полезных ископаемых в осадочном чехле (доломита, известняка, песчаника) осуществляется в относительно небольших карьерах, расположенных в основном в Липецкой области. Промышленные взрывы в этих карьерах небольшой мощности (5-50 т ВВ) [1].

На рисунке 1 представлены записи Z-компоненты волновых форм сейсмических событий, возникающих при производстве взрывов в разных крупных карьерах записанные одной станцией VAU7. Эта станция расположена на разных расстояниях от источников. Как видно из рисунка 1, не зависимо от мощности и расстояния между источником и приемником в структуре волнового поля выделяются поверхностные волны. При этом в записи поверхности волны хорошо видны количество подрываемых блоков. Так в «Лебединском» карьере во время одного взрыва было подорвано 4 блока, а в «Павловском», как правило, наблюдается 1 блок [2]. Интенсивность как объемных, так и поверхностных волн зависит от мощности взрыва (энергетического класса возникающих событий), так и расстояния источник-приемник [3].

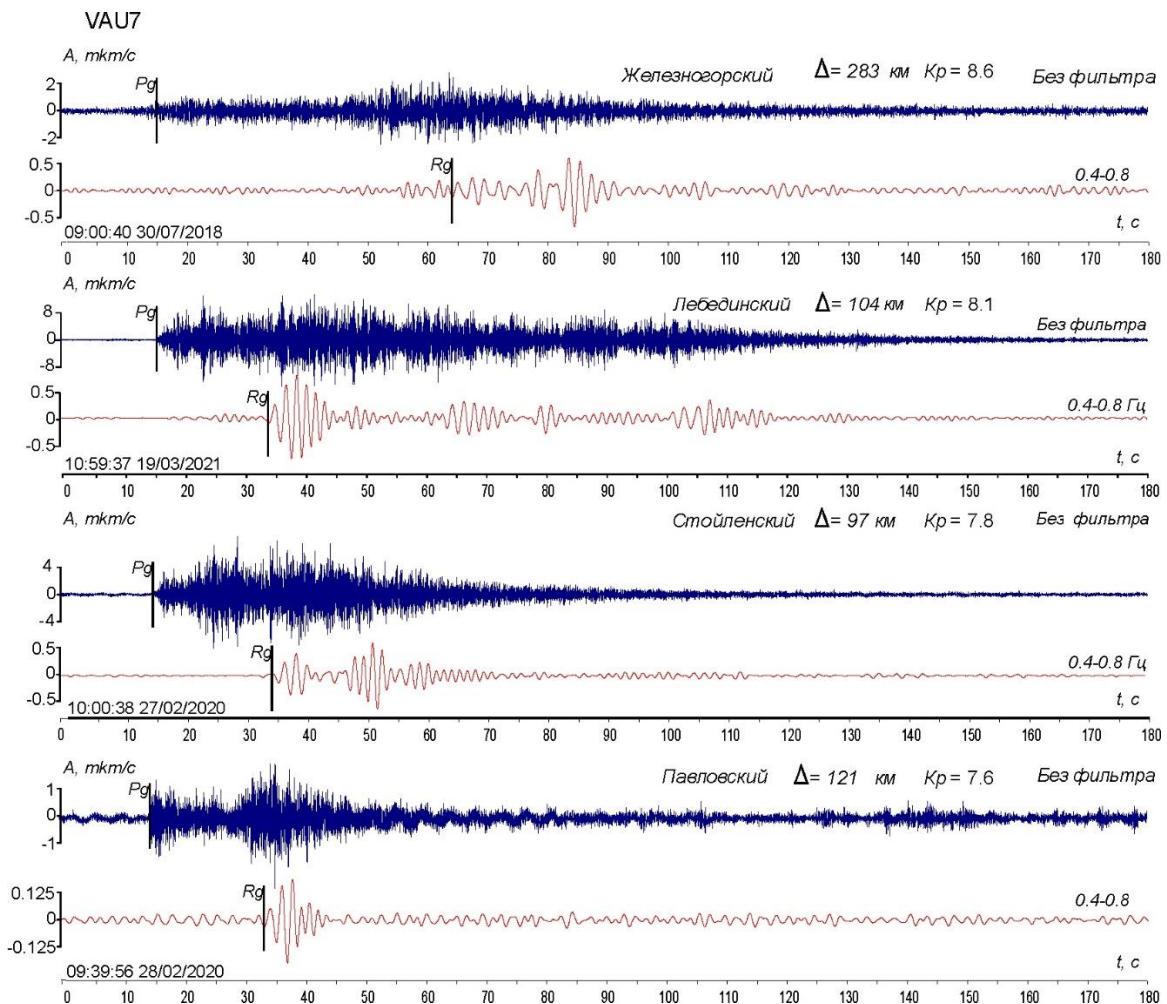


Рис. 1. Пример исходных и фильтрованных записей взрывов в разных карьерах, по данным сейсмической станции «Архангельское» (VAU7)

Во вторую группу входят многочисленные карьеры по добыче полезных ископаемых в осадочном чехле (известняки, доломиты, мергели и др.). Карьеры как правило, не очень глубокие и количество ВВ при массовых взрывах не превышает 5-50 т ВВ.

Удаленность регистрирующей сейсмической станции от места проведения взрыва является одним из важнейших параметров при его регистрации. Понятно, что взрыв небольшого количества взрывчатых веществ (ВВ) с большим трудом можно зарегистрировать на значительном расстоянии. В условиях ВКМ минимальное расстояние от карьера до сейсмической станции отмечается для карьеров в Липецкой зоне: карьер «Хмелинец» расположен от сейсмической станции LPSR «Галичья гора» – 5,5 км.

На рисунке 2 представлены записи Z-компоненты волновых форм сейсмических событий, возникающих при производстве взрывов в разных карьерах Липецкой области. Волновое поле, возникающее при производстве промышленных взрывов с небольшим количеством ВВ имеет другую волновую форму чем при добычи полезных ископаемых в кристаллических породах. На записях волновых форм сейсмических событий, возникающих при производстве взрывов в разных карьерах Липецкой области, наблюдается длительная «гармоника» после прихода поверхности волны. Возможно, это связано с наличием карста в осадочном чехле.

Следует отметить, что промышленные взрывы в разных карьерах создают сейсмические эффекты разной интенсивности [4].

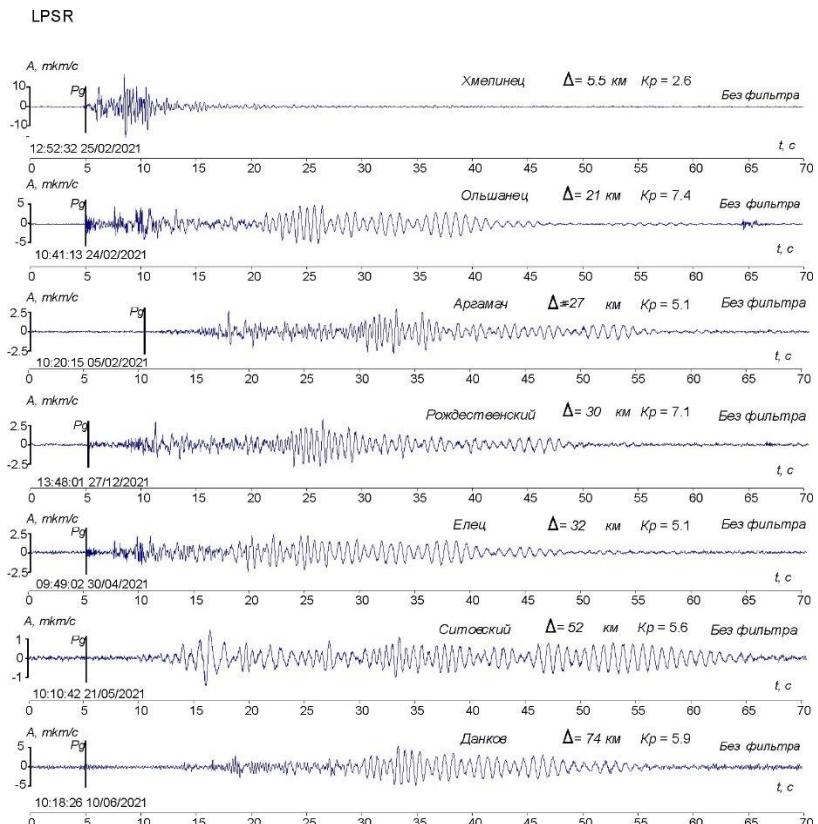


Рис. 2. Пример исходных и фильтрованных записей взрывов в разных карьерах, по данным сейсмической станции «Галичья гора» (LPSR)

Кроме того, количество взрывов, производимых в разных карьерах, существенно отличается. На рисунке 3 даны диаграммы количества взрывов, производимых в каждом из карьеров и количество, выделившейся энергии.

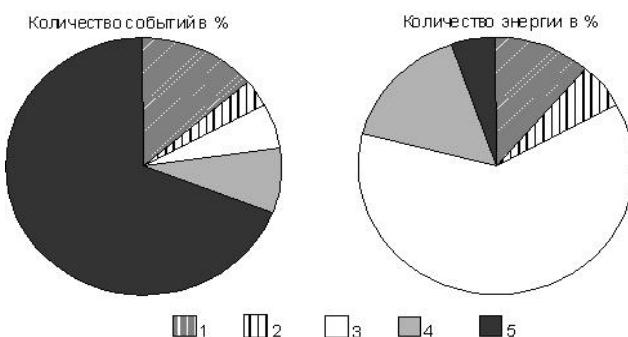


Рис. 3. Количество взрывов, произведенных в разных карьерах с 2020 по 2022 гг в % и количество выделившейся энергии при производстве взрывов:
1 – Павловский; 2 – Стойленский; 3 – Железногорский; 4 – Лебединский; 5 – Липецкая зона

Как видно из рисунка, количество событий, регистрируемых в Липецкой зоне, составляет более 60% от общего количества событий, вызванных взрывами в карьерах. При этом, количество энергии, выделившейся при этих событиях, составляет менее 10% за анализируемый период. Если обратить внимание на «Железногорский» карьер, то здесь наблюдается обратная ситуация: количество событий составляет менее 10%, а количество выделившейся энергии – более 60%. У «Стойленского», «Лебединского» и «Павловского» карьеров соотношение количества событий и энергии различается на 5-10%.

В целом, можно сделать вывод, что наиболее интенсивные сейсмические события, возникают при производстве промышленных взрывов в карьерах по добыче полезных ископаемых в кристаллических породах. При этом, в структуре волнового поля значительную роль играют поверхностные волны. Вместе с тем, выделяются интенсивные объемные волны. Сейсмические события, возникающие при взрывах в осадочном чехле менее интенсивные. Однако, особенностью их является наличие в структуре волнового поля относительно низкочастотных волн, проявляющихся в течении длительного времени после производства взрыва.

Автор выражает признательность сотрудникам Лаборатории сейсмического мониторинга Воронежского кристаллического массива за оказанные помощь и содействие при проведении исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Взрывы и землетрясения на территории Европейской части России / Под ред. В.В. Адушкина и А.А. Маловичко. – М.: ГЕОС, 2013. – 384 с. EDN: SHAMBV.
2. Золототрубова Э.И., Ежова И.Т., Надёжка Л.И., Ефременко М.А., Калинина Э.В. Особенности записей сейсмических событий в районах с разным геологическим строением // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XIV Международной сейсмологической школы / Отв. Ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 46.
3. Надёжка Л.И., Золототрубова Э.И., Ежова И.Т. Оценка степени влияния геологогеофизических характеристик мест установки сейсмических станций на характер записей сейсмических событий. В книге: Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XV Международной сейсмологической школы. – Обнинск, 2021. – С. 60.
4. Семёнов А.Е., Надёжка Л.И., Сафонич И.Н., Ежова И.Т. Характер и интенсивность сейсмических воздействий горнопромышленных комплексов на литосферу Воронежского кристаллического массива / Структура, вещественный состав, свойства, современная геодинамика и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов Материалы XXII Всероссийской с международным участием научно-практической Щукинской конференции Воронеж, 22–25 сентября 2020 г. – С. 317-321.

FEATURES OF SEISMIC EVENTS THAT OCCUR DURING THE PRODUCTION OF INDUSTRIAL EXPLOSIONS IN QUARRIES ON THE TERRITORY OF THE VCM

^{1,2}*Victoria Mokhova*

¹*VSU, Voronezh*

²*Geophysical Survey RAS, Voronezh*

viktorijaperevoznikova@rambler.ru

Summary. Wave forms of seismic events resulting from industrial explosions in quarries during the extraction of various minerals are considered. It is shown that they have pronounced specific features depending on the nature of the extracted raw materials.

Key words: industrial explosions, seismic events, wave forms, Voronezh crystal array.

УДК 550.3

ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИВНОСТЬ И ЗНАЧЕНИЕ ОПОРНОГО БУРЕНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОИСКОВО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

¹*Мурашко Екатерина Евгеньевна*, ²*Мамяшев Венер Галиуллинович*,

³*Шахтарова Дарья Александровна*,

⁴*Кузьмина Екатерина Максимовна*,

ФГБОУ «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень

¹*muraskokata16@gmail.com*, ²*tmngeofiz@mail.ru*, ³*d.shahtarova@yandex.ru*,

⁴*katerinchaaaaa@yandex.ru*

Аннотация. Приведены обобщенные данные по опорным скважинам, пробуренным в пределах Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна. Рассмотрены общие закономерности и особенности изменения пористости образцов пород в зависимости от глубины их залегания. Обоснованы особенности кривых уплотнения «чистых» песчаников и глин.

Ключевые слова: осадочные породы, нормальное уплотнение, пористость, «чистые» песчаники и глины, опорные скважины, изменения петрофизических характеристик пород с глубиной их залегания.

Актуальность темы исследований определяется необходимостью оценки роли и информационного значения опорного бурения при организации геолого-поисковых работ на территории Западной Сибири. Результаты бурения и материалы исследований керна опорных скважин представляют интерес как с точки зрения влияния технологических ограничений этих работ, так и с точки зрения перспектив применения закономерностей изменения петрофизических характеристик пород с глубиной их залегания.

Задачи исследований.

1. Обоснование необходимости опорного бурения при изучении строения и геологической характеристики таких «закрытых» территорий как Западно-Сибирская равнина.

2. Развитие работ и основные результаты бурения опорных скважин; влияние особенностей технологии бурения на отбор керна.

3. Обобщение основных результатов бурения опорных скважин, оценка их геолого-геофизической информативности.

В силу малой изученности глубинного строения Западно-Сибирской низменности (и не только) на первом этапе планомерных региональных геолого-поисковых работ в 1947 году было принято решение о бурении 15 опорных скважин глубиной 2-3 км. Практически одновременно с этим, в 1948 году были начаты сейсморазведочные и магниторазведочные исследования территории. Первая на территории Западно-Сибирской равнины опорная скважина № 1-Р была заложена в городе Тюмени и начата бурением 15 февраля 1949 года.

Относительно не высокое качество технологии бурения и её нарушения привели к тому, что вынос керна в Тюменской опорной скважине составил, в среднем, 43,6% при минимальной норме для опорных скважин в 60% [5].

Кроме Тюменской опорной скважины в этом районе, здесь были заложены еще четыре скважины: Дербышинская, Ярская, Луговская и Утешевская, а несколько позже еще на Лучинкинской, Покровской и Заводоуковской структурах.

В ходе бурения Леушинской, Уватской и Ларьякской опорных скважинах была выявлена перспективность верхнеюрских отложений, а в Колпашевской скважине в Томской области был получен незначительный приток нефти.

В 1949-1962 гг. на территории низменности было пробурено двадцать девять скважин, из которых только пять, Тазовская, Туруханская, Казымская, МалоАтлымская и Березовская, были расположены севернее 60-ой параллели. При этом только Березовская опорная скважина вскрыла породы фундамента. На территории ХМАО было пробурено восемь скважин, а в пределах ЯНАО забурена одна, Тазовская, опорная скважина, переведенная ввиду получения аварийного газового фонтана в разряд поисковых объектов.

Схема расположения опорных скважин по данным работы [6] приведены на рисунке 1.

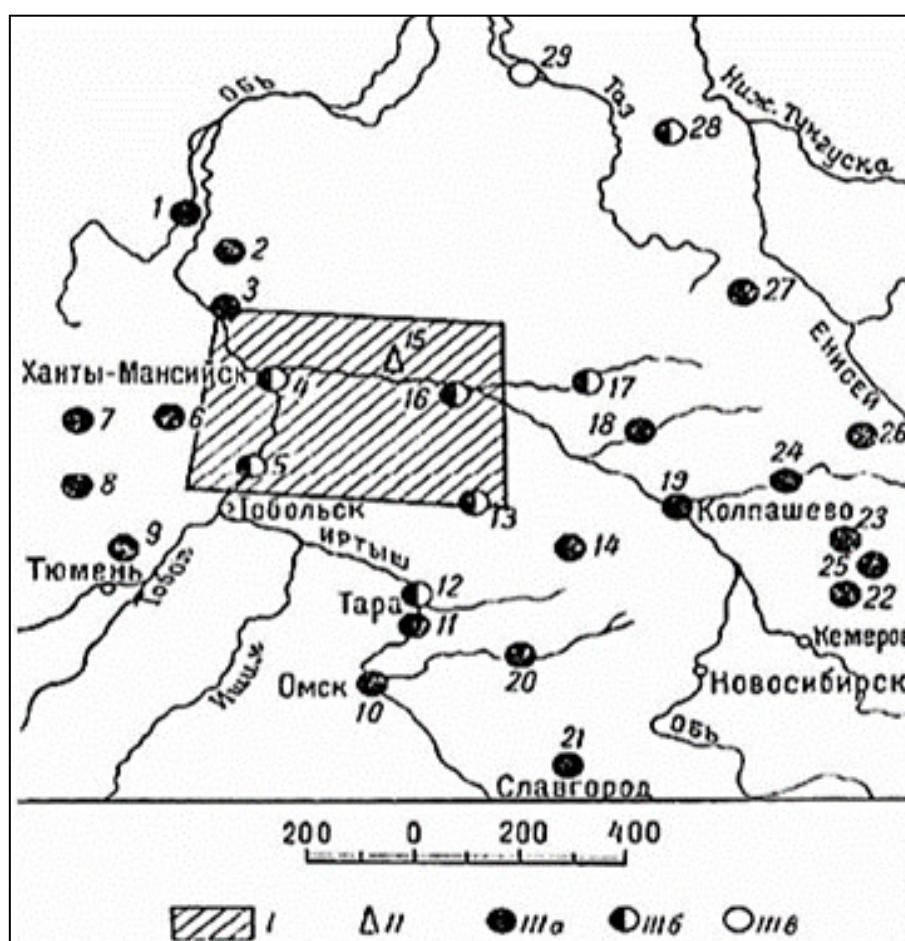


Рис. 1. Обзорная карта опорного бурения в Западной и Восточной Сибири:
I – район Сургутской опорной скважины; II – Сургутская опорная скважина; IIIа – скважины, вскрывшие фундамент; IIIб – не вскрывшие фундамент; IIIв – бурящиеся; Опорные скважины: 1 – Березовская; 2 – Казымская (в 1960 г. переведены в разряд структурно-поисковых); 3 – Мало-Атлымская; 4 – Ханты-Мансийская; 5 – Уватская; 6 – Леушинская; 7 – Кузнецовская; 8 – Туринская; 9 – Тюменская; 10 – Омская; 11 – Большелереченская; 12 – Тарская; 13 – Нововасюганская; 14 – Пудинская; 15 – Сургутская; 16 – Покурская; 17 – Ларьякская; 18 – Тымская; 19 – Колпашевская; 20 – Барабинская; 21 – Славгородская; 22 – Мариинская; 23 – Чулымская; 24 – Максимкин-Ярская; 25 – Белогорская; 26 – Кетская; 27 – Елогуйская; 28 – Туруханская; 29 – Тазовская

Сведения по опорным скважинам, пробуренным на территории Западно-Сибирской равнине в период с 1949 по 1962 годы, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика по опорным скважинам в Западно-Сибирской равнине

Опорная скважина	Административный район	Глубина, м	Год бурения
Березовская	Березовский район, ХМАО	1344	1952-1953
Казымская	ХМАО	2061	1957-1960
Мало-Атлымская	ХМАО	2909	1955-1959
Ханты-Мансийская	г. Ханты-Мансийск	2180	1951-1952
Уватская	Тюменская	2983	1951-1954
Леушинская	ХМАО	2482	1953-1954
Кузнецковская	Свердловская область	950	1952-1958
Туринская	Свердловская область	1289	1954-1955
Тюменская	Г. Тюмень	2000	1949
Омская	Омская область	3000	1950-1954
Большереченская	Омская область	2690	1953-1955
Тарская	Омская область		1950-1951
Нововасюганская	Томская область	3004	1956-1959
Пудинская	Томская область	3002	1955-1958
Сургутская	ХМАО	3048	1951-1954
Покурская	ХМАО	2360	1951-1954
Ларькская	ХМАО	2802	1952-1954
Тымская	Томская область	2961	1957-1959
Колпашевская	Томская область	3002	1949-1954
Барабинская	Новосибирская область	2470	1949-1950
Тазовская	ЯНАО	4000	1961-1962

За пределами Западно-Сибирской равнины: в Казахстане и в Красноярском крае, было пробурено ещё 8 опорных скважин.

Одной из задач бурения опорных скважин являлась петрофизическая характеристика разреза. Она была реализована в виде зависимостей фильтрационно-емкостных свойств от глубины по каждой скважине. Эти исследования были начаты в 1962 году. Первые исследования касались только пористости, затем выборочно появилась определения проницаемости, возрастные оценки стратиграфии, с помощью стратиграфических маркеров, которые позволяли определять примерный возраст пород по разрезу осадочного чехла.

Результаты исследований по опорным скважинам отражены в работах Н.А. Тузовой [1]. Обобщение этих результатов приведено в публикациях Н.А. Ирбе [2, 3]. На основании выполненных ею сопоставлений Мамышевым В.Г. и Кузнецовой А.М. выполнено сопоставление кривых нормального уплотнения, пористости, «чистых» глин и песчаников в зависимости от глубины их залегания (рис. 2).

Из приведенного сопоставления следует, что идентичность положения кривых нормального уплотнения глин для разрезов соответствует большей части скважин. Исключение составили Березовская и, в меньшей мере, Леушинская и Мало-Атлымская скважины, пористость глин в них несколько меньше, чем в остальных скважинах. По данным работы [4] это обусловлено условиями осадкообразования, которые в этих районах оцениваются как континентальные. Кривые для чистых песчаников различаются в большей мере. Среди них также пониженными значениями пористости выделяются данные по уже указанным Березовской и Леушинской скважинам, а также по Мало-Атлымской скважине. Кроме того, дисперсии кривых заметно возрастают с уменьшением глубины залегания пород. Информативность керновых данных и вынос его зависят от

соблюдения технологии бурения. Скорее всего, это обусловлено различием в выносе керна чистых, слабосцементированных песчаников из верхней части разреза в разных скважинах [4]. Наиболее представительными являются кривые нормального уплотнения по Сургутской и Покурской скважинам.

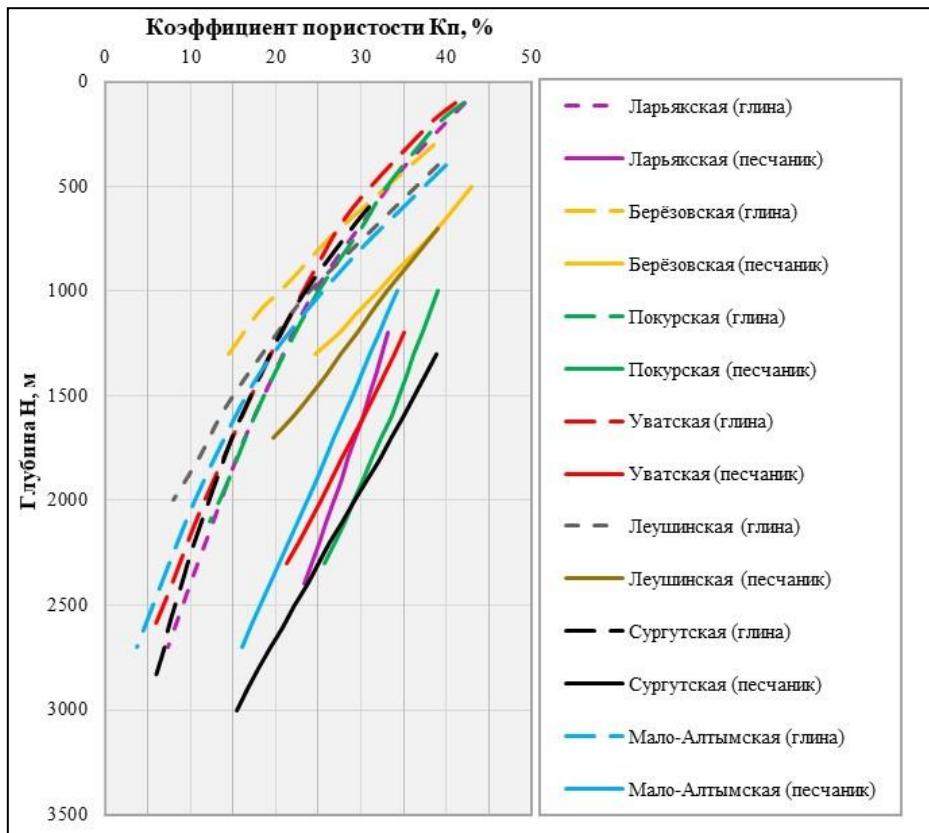


Рис. 2. Кривые нормального уплотнения «чистых» глин и песчаников с глубиной, по керну опорных скважин на территории Западной Сибири

По данным отчета 1957 года Поярковой З.И. по Чулымской опорной скважине нами были выполнены сопоставления открытой пористости песчано-глинистых плотных пород с глубиной их залегания (рис. 3). Предполагаем, что в этих данных в ряде случаев образцы с низкими значениями открытой пористости (менее 10% в интервале глубины до 1200 м и менее 6-7% на глубинах от 2500 м), соответствующие плотным породам, были определены как глины, и даже как песчано-алевритовые породы, на рисунке 3 эта область выделена фоном. На рисунке нами приведены линии нормального уплотнения «чистых» песчаников и глин. Кроме того, на это же сопоставление нанесены доступные нам данные по Колпашевской скважине.

Необходимо отметить, что данные по Колпашевской скважине не противоречат данным по Чулымской скважине, а кривые нормального уплотнения «чистых» песчаников и глин по этим скважинам практически совпадают с кривыми по Сургутской и Покурской скважинами.

В разрезе Чулымской опорной скважины уплотнение «чистых» песчаников лучше аппроксимируется линейной зависимостью пористости от глубины (1), где Н-глубина, м. Уплотнение глин с глубиной описывается логарифмической зависимостью (2).

$$K_{\text{по.пч.}} = -167,08H + 6814,9 \quad (1)$$

$$K_{\text{по.гл.}} = -2144 \ln(H) + 7469,9 \quad (2)$$

Как уже было отмечено данные по Колпашевской скважине не противоречат кривым нормального уплотнения по остальным опорным скважинам. Для интервала глубин 1800-2200 м по всем приведенным опорным скважинам диапазон пористости «чистых» песчаников составляет 27-30%, диапазон пористости «чистых» глин – 12-15%.

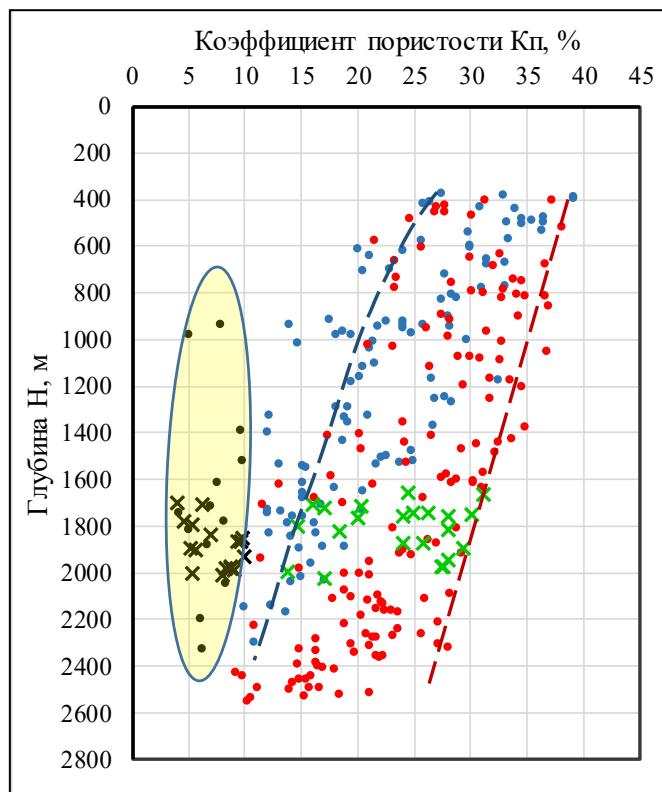


Рис. 3. Распределение открытой пористости пород с глубиной, с представлением кривых для «чистых» песчаников, «чистых» глин в разрезе Чулымской опорной скважины. Точками отмечены данные по Чулымской скважине: красные – песчано-алевритовые породы; синие – глинисто-алевритовые породы; черные – плотные породы. Крестами отмечены данные по Колпашевской скважине: зеленые – песчано-алевритовые породы; черные – плотные породы

Несмотря на известные технологические ограничения отбора керна, опорные скважины обеспечили получение важной геолого-петрофизической информации. Данные по опорным скважинам позволили получить первые представления о литологии и стратиграфии разреза, об особенностях строения и петрофизической характеристики разреза Западной Сибири. Выделенные зависимости для «чистых» песчаников и глин дают возможность для использования подобных зависимостей, с целью контроля качества материалов геофизических исследований скважин и достоверности результатов из геологической интерпретации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Туезова Н.А., Дорогиницкая М.М., Демина Р.Г., Брюзгина Н.И. Физические свойства горных пород Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции // М.: Недра, 1975. – 185 с.
2. Иrbэ Н.А., Шестакова Л.Ф. Закономерности изменения пористости и проницаемости осадочных пород Западной Сибири // Труды ЗапСибНИГНИ – Тюмень. - Вып. 203, 1986. – С. 95-103.

3. Ирбэ, Н. А. Сводные геолого-геофизические разрезы нефтегазоносных областей Западно-Сибирской низменности и их особенности / Н. А. Ирбэ. – Тюмень, 1972. – С. 3–176. – (Труды ЗапСибНИГНИ, Вып. 54). – Текст: непосредственный // Геофизические исследования Западной Сибири.
4. В.Г. Мамяшев, А.М. Кузнецова. Особенности уплотнения терригенных осадочных пород нефтегазоносных отложений // Журнал «Известия высших учебных заведений. Нефть и газ», текст непосредственный // вып.1, Тюмень, 2022.
5. Комгорт М.В. Открытие Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (1920–1960–е гг.) / Диссертация – Екатеринбург, 2020. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ihist.uran.ru/files/Komgort_dissertatsiya_na_sayt.pdf
6. Арсеньев А.А., Александров В.М., Мулявин С.Ф. К 70-ти летию бурения Тюменской опорной скважины № 1-р, история тернистого пути к открытию Тюменской нефти. - Тюменский индустриальный университет, Тюмень, 2020 (Булатовские чтения).

GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL INFORMATIVENESS AND THE IMPORTANCE OF REFERENCE DRILLING DURING PROSPECTING AND EXPLORATION IN WESTERN SIBERIA

¹*Murashko Ekaterina Evgenievna*, ²*Mamyashev Vener Galiullinovich*,

³*Kuzmina Ekaterina Maximovna*, ⁴*Shakhterov Darya Alexandrovna*,

Tyumen Industrial University, Tyumen

¹*muraskokata16@gmail.com*, ²*tmngeofiz@mail.ru*, ³*d.shahtarovaa@gmail.com*,

⁴*katerinchaaaaa@yandex.ru*,

Summary. The process of compaction of sediments is the basis of scientific interest in geology, determining the characteristics of changes in the properties of rocks by section. Empirical dependences of porosity changes with depth for clays and sandstones are presented on the example of core studies of reference wells drilled in Western Siberia.

Key words: sedimentary rocks, normal compaction; porosity, "pure" sandstones and clays, support wells, changes in the petrophysical characteristics of rocks with the depth of their occurrence.

УДК 550.348.425

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ НА КАРСТОВЫЙ РЕЛЬЕФ ЛАНДШАФТНОГО ЗАКАЗНИКА

¹*Наход Виталий Александрович, ²Малов Александр Иванович*

¹*Архангельский филиал ООО «КНАУФ ГИПС КОЛПИНО», г. Архангельск*

²*ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, г. Архангельск*

¹*vitaliy.Nakhod@knauf.com, ²malovai@yandex.ru*

Аннотация. В октябре 2019 года для определения степени воздействия буровзрывных работ на месторождении гипса «Глубокое» на целостность пещеры Апрельский узел, расположенной в Чугском государственном природном ландшафтном заказнике регионального значения, был проведен экспериментальный промышленный взрыв. Параметры взрывных работ были подобраны таким образом, чтобы зафиксировать максимально возможные последствия сейсмической нагрузки. В данной статье представлены результаты сейсмических исследований данного эксперимента.

Ключевые слова: пещера, взрывные работы, сейсмическое воздействие.

Гипс широко используется в строительстве для производства высококачественных материалов (гипсокартон, гипсоволокно, гипсовые плиты, шпатлевка, штукатурка), в сельском хозяйстве для улучшения физических, физико-химических и биологических свойств почвы и повышения ее плодородия, в медицине для лечебных целей. Разведанные запасы гипса в мире составляют более 7500 млн. тонн, при этом около 50% находится на территории России. В то же время добыча гипсового сырья в России составляет только 5-6% мировой добычи. На протяжении последних пяти лет наблюдаются стабильные объемы добывчных работ на месторождении гипса «Глубокое» в Архангельской области с постепенным увеличением объемов отгрузки с 2020 по 2022 год на 36%. Однако добыча гипсового камня – серьезное вмешательство в окружающую среду. Месторождение гипса разрабатывается открытым способом - карьером, причем непрерывно возрастающая потребность в стройматериалах стимулирует развитие добычи. Именно открытые горные разработки оказывают наиболее глубокое и здимое негативное воздействие на биогеоценоз, включающий сообщество живых организмов и тесно связанную с ним совокупность абиотических факторов среды, выраженное в воздействии на атмосферу, поверхностные и подземные воды, земельные ресурсы, флору и фауну, человека.

Еще одним фактором воздействия на окружающую среду является соседствующее расположение Чугского государственного природного ландшафтного заказника регионального значения, образованного с целью сохранения природных ландшафтов, сформированных на карстующихся породах, ведения научных исследований, стационарного изучения карстовых процессов и поддержания общего экологического баланса.

Карст Чугского массива представляет собой уникальное явление. Развитие шелопняковых полей – форм поверхности карста, подобных известняковым мостовым Канады и Скандинавии – здесь происходит в сульфатных породах. Такого значительного по площади развития шелопняковых полей нет ни в других карстовых массивах Архангельской области, ни в карсте мира в целом. По плотности пещер Чугский рельеф занимает первое место на Севере России. Общая протяженность пещер свыше 15 км, 10 из них превышают длину в 500 м. Крупнейшие пещеры превышающие 800 м – система пещер Пограничная-Звездочка (1910 м), пещеры Лунные Горы (1233 м), Апрельский узел (1069 м), Сияние (902 м) – входят в кадастр крупных гипсовых пещер мира. Территория заказника важна, как резерват для многих редких видов растений и типов растительных

сообществ. Поэтому наряду с мониторингом влияния разработки месторождения на качество поверхностных и подземных вод, атмосферу региона и состояние растительности и животного мира, нами проводятся исследования сейсмического воздействия на ландшафтные объекты заказника при проведении короткозамедленного взрыва с использованием системы неэлектрического инициирования.

В рамках реализации данного вида мониторинга на сегодня выполнены замеры сейсмического воздействия взрывов на пещеру Апрельский узел. Для регистрации сейсмического воздействия взрывов применялись сейсмические сейсмографы «Mini-Seis MS 8G 1Hz» № 4844 и № 5436 (проверенные и имеющие свидетельство об утверждении типа средства измерения). Места установки сейсмических датчиков внутри пещеры (точка №1) и на её поверхности (точка №2) приведены на рисунке 1.



Рис. 1. Места установки сейсмических датчиков внутри пещеры (точка №1) и на её поверхности (точка №2)

Полевые измерения скорости и ускорения колебаний вмещающего пещеру массива горных пород выполнены по комплексной методике исследований динамических воздействий на пещеру, основанной на известных, проверенных опытом методиках [2-5]. Для определения степени сейсмического воздействия на объект был выбран блок №313 на горизонте +58,7м, с общей массой взрывчатых веществ 47 тонн, максимальной за весь период ведения горных работ. Для проведения эксперимента была выбрана порядная схема инициирования с максимальным числом скважинных зарядов в группе. Данные параметры должны были произвести максимально возможное сейсмическое воздействие на состояние пещеры «Апрельский узел».

Взываемые горные породы представлены преимущественно карбонатными породами с коэффициентом крепости 2 по шкале М.М. Протодьяконова. Сетка скважин взываемого блока имела размеры 3.5x3.5 м. Высота уступа составляла 6.7 м. Количество скважин на блоке – 636 шт. Глубина скважин – от 5,5 до 10,5 м. Диаметр скважин – 115 мм. Применяемые ВВ – Нитронит. Применяемые интервалы замедлений: 0 мсек и 42 мсек. Общая масса взрывчатых веществ на блоке – 47 044 кг. Продолжительность взрыва 1512 мсек. Средний вес заряда ступени – 2000 кг.

Использовались два комплекта аппаратуры с 6 измерительными каналами (сейсмограф цифровой Mini-Seis MS), которые регистрировали скорость колебаний и ускорение колебаний пород. Принцип действия сейсмографа основан на преобразовании внешних низкочастотных колебаний, возникающих в месте установки первичного преобразователя, в электрический сигнал, амплитуда и частота которого пропорциональны внешнему воздействию. Первичный преобразователь состоит из датчика, имеющего три ортогонально расположенные оси чувствительности, и усилителя. Датчик представляет собой колеблющуюся массу, снабжённую демпфером. При возникновении колебаний в направлении соответствующей оси чувствительности, подпружиненная масса начинает движение, в результате чего на выходе датчика вырабатывается сигнал, пропорциональный внешнему воздействию. Сигнал с датчика через выходной усилитель поступает на регистратор. С сейсмографом используется встроенное программное обеспечение. Оно реализует функциональность сейсмографа и обеспечивает выполнение следующих функций: регистрацию и передачу результатов измерений; обработку измерительной информации от первичного преобразователя; отображение на дисплее регистратора результатов измерений; хранение результатов измерений в энергонезависимой памяти.

Выбранные параметры аппаратуры обеспечивали запись скорости колебаний и ускорения колебаний пород в интервале частот от 2 до 100 Гц. Измерения скорости сейсмических колебаний в двух точках по трем осям проводились синхронно, при этом удаленность от эпицентра (взываемого блока) до точек замера была равна 1025.3 м.

Полученные сейсмограммы показаны на рисунке 2.

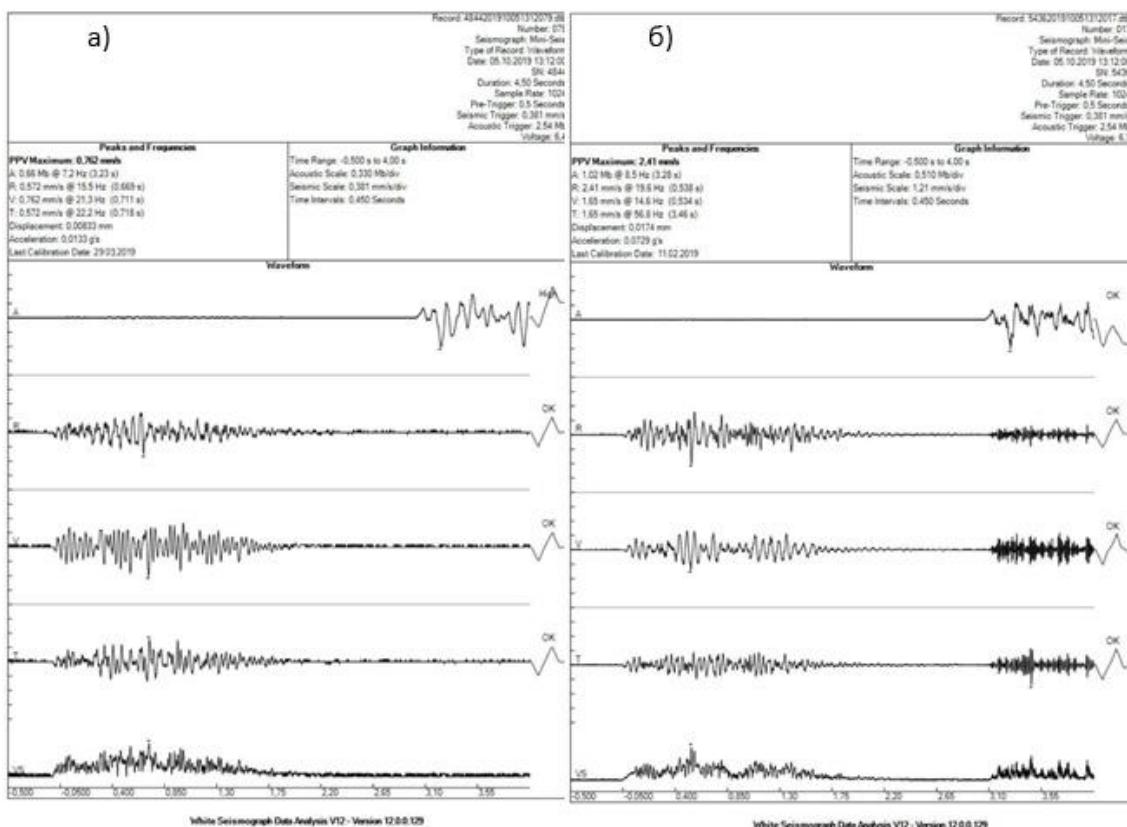


Рис. 2. Сейсмограммы от воздействия массового взрыва:
а) Точка (№1) регистратор № 4844; б) Точка (№2) регистратор № 5436

После проведения взрывных работ, с учетом полученных записей скоростей смещения грунта, в программном обеспечении «Seismograph Data Analysis», был произведен анализ негативного воздействия, включающий в себя спектр аналитических

инструментов. По каждому импульсному сигналу отслеживалась зависимость амплитудно-частотной характеристики и массы взрываемого вещества в серии, выделялась область частот действия сейсмического события с дальнейшей фильтрацией для выявления полного периода колебаний. После проведения полного анализа и обработки результатов, сводные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Измеренные скорости смещения

№ точки	Место установки сейсмоприемника	Измеренные горизонтальные продольные и поперечные (V_x , V_y) и вертикальная (V_z) составляющие скорости смещения грунта, мм/с	Пиковая скорость смещения грунта (PPV), мм/с
1	Регистратор 4844 внутри пещеры. Запись № 079	$V_x = 0.572$ $V_y = 0.572$ $V_z = 0.762$	$V_{max} = 0.762$
2	Регистратор 5436 на поверхности пещеры. Запись № 017	$V_x = 1.65$ $V_y = 2.41$ $V_z = 1.65$	$V_{max} = 2.41$

Для первой точки взрыва максимальная скорость смещения грунта (PPV) составила 0.762 мм/с, для второй точки – 2.41 мм/с.

Для комплексной оценки степени воздействия на состояние пещеры «Апрельский узел» зарегистрированные показатели скорости смещения грунта сравнивались по двум нормативным документам [1, 6].

Полученные значения скорости смещения грунта в основании объекта не выходят за допустимые пределы, установленные для сооружений, имеющих высокую социальную значимость, и равные 3.0 мм/с [1].

Согласно методическим рекомендациям по оценке устойчивости бортов осушаемых карьеров [6], допустимые скорости смещения пород в массиве, не вызывающие деформаций, представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Допустимые скорости смещения

Характеристика пород, слагающих породу уступа	Допустимые скорости смещения при взрывании, мм/с	
Водонасыщенные песчаные	многократном	однократном
	60	120
Малосвязные и с неблагоприятно-ориентированной трещиноватостью	240	480
Прочные	480	960

Как видно из таблицы, полученные пиковые значения скорости смещения грунта, полученные с регистраторов на поверхности и внутри пещеры, не превышают допустимых.

В дальнейшем планируется выполнять ежеквартальные замеры сейсмического воздействия взрывных работ в течение 2023-2025 годов. На основании полученных данных будет сформировано детальное понимание влияния взрывных работ на особо охраняемый объект, также предполагается оценить зависимость сейсмического воздействия от вида инициирования взрывного блока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 52892-2007. Группа Ж02. Национальный стандарт Российской Федерации. Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию. М., 2007.
2. Медведев С.В. Сейсмика горных взрывов. М., Недра, 1964.
3. Миронов Н.С. Взрывы и сейсмобезопасность сооружений. М., Недра, 1973.
4. Мосинец В.Н. Дробящее и сейсмическое воздействие взрывов в горных породах. М., Недра, 1976.
5. Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения. М., Ростехнадзор, 2020.
6. Стafeев А.А., Лобанова Т.В. Устойчивость бортов и осушение карьеров: лабораторный практикум. Новокузнецк, СибГИУ, 2008.

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF INDUSTRIAL EXPLOSIONS ON THE KARST RELIEF OF THE LANDSCAPE RESERVE.

¹*Nakhod Vitaly, ²Malov Alexander*

¹*KNAUF GIPS KOLPINO LLC, Arkhangelsk*

²*FECIAR UrB RAS, Arkhangelsk*

¹*vitaliy.Nakhod@knauf.com, ²malovai@yandex.ru*

Summary. In October 2019, an experimental industrial explosion was conducted to determine the impact of drilling and blasting operations at the Glubokoye gypsum deposit on the integrity of the Aprilskiy Usel cave, located in the Chugskiy State Nature Reserve of regional significance. Blasting parameters were chosen to record the maximum possible effects of seismic loading. This article presents the results of seismic studies of this experiment.

Key words: cave, blasting, seismic effect.

УДК 550.8.053

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ГЕОМЕТРИИ ОТЛОЖЕНИЙ ПАЛЕОРУСЛОВЫХ СИСТЕМ ТЮМЕНСКОЙ СВИТЫ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО НЕФТЕГАЗОНОСНОГО БАССЕЙНА

¹*Орешкова Мария Юрьевна, ²Ольнева Татьяна Владимировна*

¹*Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург*

²*ООО «Газпромнефть НТЦ», г. Санкт-Петербург*

¹*wintersurprise@mail.ru*

Аннотация. В данной работе рассмотрена комплексная методика моделирования геометрии палеорусловых систем и прогноза архитектуры резервуара на примере одного из месторождений Ханты-Мансийского АО. **Актуальность работы** обусловлена поиском новых продуктивных горизонтов в ранее не изучаемом интервале разреза эксплуатируемого в настоящее время месторождения. **Объектом исследования** являются палеорусловые системы в пределах тюменской свиты в условиях Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна. Палеорусла и связанные с ними песчаные тела аллювиального генезиса находятся в фокусе внимания при поисках залежей углеводородов, так как являются надежными литологическими ловушками. **Целью работы** является создание комплексной методики моделирования геометрии палеорусловых систем и прогноза архитектуры резервуара на примере одного из месторождений Ханты-Мансийского АО.

Ключевые слова: сейсморазведка, интерпретация сейсмических данных, палеорусла, тюменская свита.

Площадь исследования расположена в центральной части Западно-Сибирской равнины. Административно относится к Ханты-Мансийскому району Ханты-Мансийского автономного округа Тюменской области Российской Федерации.

Геологический разрез исследуемой территории сложен мощной толщей (более 3000 м) терригенных отложений осадочного чехла мезо- кайнозойского возраста, залегающей на породах доюрского основания. Юрская система представлена тремя отделами: нижним, средним и верхним. В ее строении выделяются два основных комплекса пород: нижний, представленный осадками континентального генезиса и верхний, сложенный осадками морского генезиса. Отложения ягельной и горелой свит нижнеюрского отдела и отложения тюменской свиты среднеюрского отдела формируют нижний комплекс. Верхний комплекс сформирован отложениями абалакской и баженовской свит позднеюрского возраста.

Тюменская свита представлена тонким чередованием аргиллитов, алевролитов и песчаников, которые развиты практически повсеместно: либо согласно залегают на аргиллитах радомской пачки, либо с перерывом в осадконакоплении перекрывают денудированные породы доюрского основания. Свита условно делится на три подсвиты: нижнюю, в составе которой выделяются песчаные пласти ЮС9, ЮС8, ЮС7, среднюю, с пластами ЮС6 и ЮС5, верхнюю, вмещающую пласти ЮС4, ЮС3, ЮС2. Максимальная мощность тюменской свиты достигает 320 м. В сейсмических данных кровля свиты ассоциируется с опорным отражающим горизонтом Т.

Комплексный подход для идентификации палеорусловых систем (на примере одного из месторождений Ханты-Мансийского АО).

Традиционно для изучения палеорусловых объектов рассматриваются подходы, заключающиеся в изучении регионального геологического строения и палеогеографии изучаемой площади, анализе скважинных данных (керн, интерпретация ГИС), структурных построений, динамической интерпретации сейсмических данных (рис. 1). Каждый из перечисленных подходов позволяет посмотреть на геометрию резервуара под разным углом зрения.



Рис. 1. Анализ существующих подходов к изучению палеорусловых объектов

В данной работе подробнее будут рассмотрены подходы динамической интерпретации (пункт 4 согласно схеме на рис. 1) сейсмических данных и их практическое использование на примере одного месторождения. Комплексирование полученной информации об изменчивости динамических характеристик волнового поля в пространстве позволяет выделить и закартировать сеть палеорусел.

Сейсмофациальный анализ (пункт 4.1 согласно схеме на рис. 1) находит широкое применение для идентификации палеорусловых систем и включает разнообразные подходы, перечисленные далее.

Атрибутный анализ наиболее способствует экспресс-идентификации палеорусловых систем, позволяет оценить качество исходных данных и отметить характерные особенности шнурковых аномалий. Однако, в основном, отображает наиболее контрастно проявленные в волновом поле объекты. В данной работе рассчитывались атрибуты, представленные в библиотеке ПО Petrel, вблизи отражающего горизонта Т. Слайсы, демонстрирующие вариации амплитуд в пределах съемки 3D представлены на рисунках 2 и 3.

Спектральная декомпозиция. Применение алгоритмов спектральной декомпозиции и последующей визуализации результатов с применением RGB-смешивания позволяет в значительной степени уточнить конфигурацию и распространение палеорусел. Полученная схема представлена на рисунке 4, стоит отметить, что по сравнению с атрибутным анализом, русла и пояса меандрирования выделяются с более высокой степенью детальности и контрастности.

Технология eXchroma, реализованная в ПО Petrel и заключающаяся в цветовом смешивании амплитудных срезов, позволяет закартировать палеорусла с наиболее высокой степенью детальности. Для изучаемой площади данная технология показала очень высокую степень детальности и информативности как для палеорусел, так и для поясов руслоформирования. Цветовая карта eXchroma представлена на рисунке 5.

Кластеризация по методу k-среднего используется для фиксации наиболее критичных границ в вариациях сейсмических атрибутов, что способствует картированию характерных объектов и определению границ фациальных обстановок.

Оценка информативности перечисленных подходов происходит, в основном, на экспертом уровне.

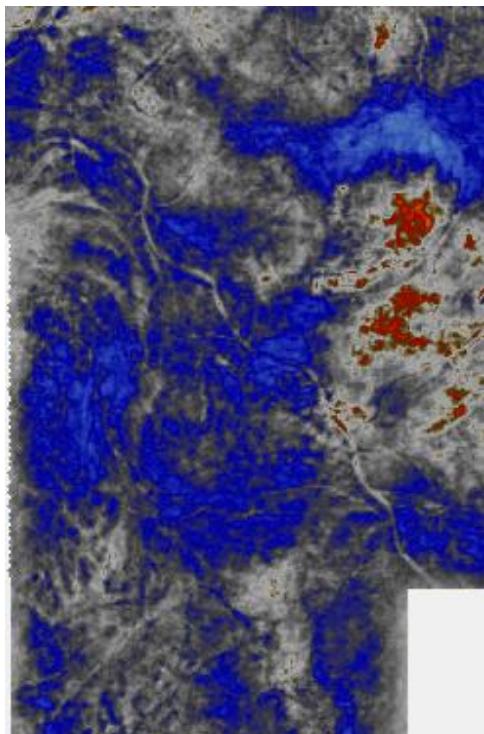


Рис. 2. Карта экстрагированных значений (20 мс вниз)

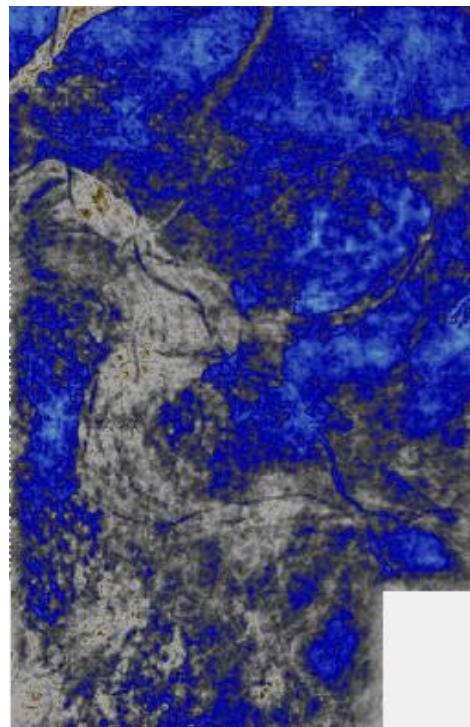


Рис. 3. Карта экстрагированных значений амплитуды (10 мс вниз)

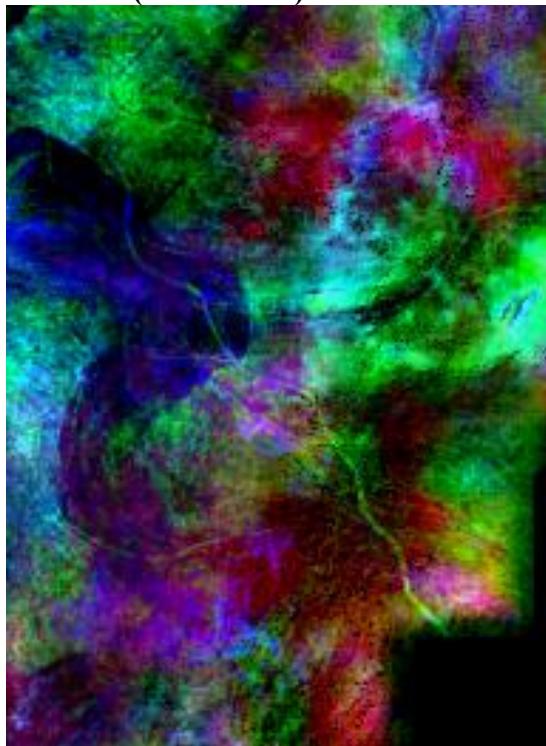


Рис. 4. Цветовая карта спектрального разложения



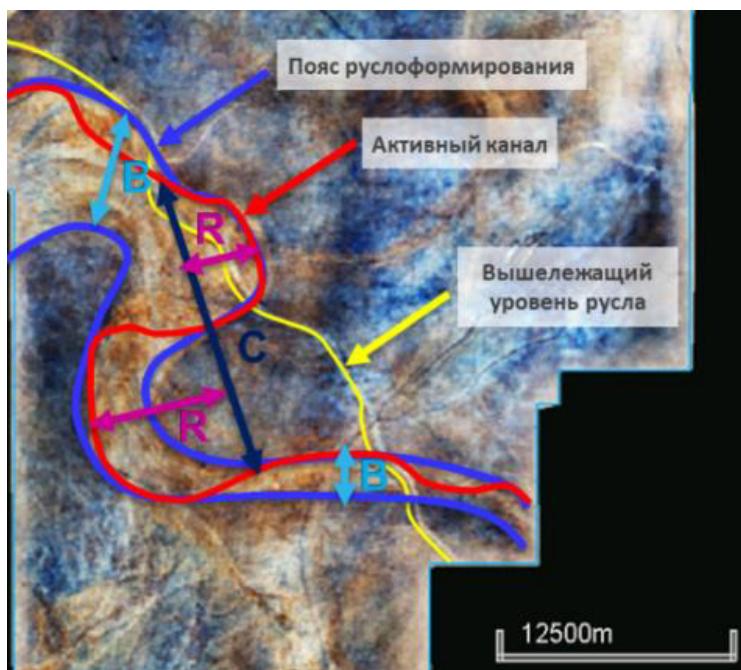
Рис. 5. Цветовая карта eXchroma

Моделирование геометрии палеорусловой системы. Анализ результатов применения вышеперечисленных подходов позволил закартирововать в пределах целевого интервала несколько палеорусел. Для наиболее контрастно проявленного объекта авторами выполнена оценка его морфометрических характеристик, представленных на рисунке 6, таких как ширина пояса руслоформирования (B), длина излучины (C), радиус кривизны (R) [3]. В данном примере предполагаемая средняя мощность русловых отложений, рассчитанная по зависимости Collinson (1987), прогнозируется в 14.6 ± 3 м. В таблице 1 представлены измеренные и рассчитанные параметры геометрии палеорусла.

Таблица 1

Параметры морфологии палеорусла

Параметры	Вычисленные значения по площади исследования
Ширина пояса руслоформирования (B), м	4000
Ширина русла (W), м	450
Длина палеорусла, км	47
Длина долины палеорусла, км	25
Коэффициент извилистости	1.88
Длина излучины (C), м	от 7000 до 10000
Радиус кривизны (R), м	от 1500 до 2500
Вычисленная средняя мощность в пределах пояса меандрирования (h), м	14.6 ± 3

**Рис. 6. Оценка морфологии палеорусла по параметрам синусоидальности**

Палеорусла, как правило, находят своё отображение в волновом поле. В настоящее время существуют различные подходы для их выявления. Оценка эффективности применения того или иного подхода, происходит, в основном, на экспертном уровне, за исключением тех случаев, когда количество проявленных объектов можно посчитать поштучно. Тем не менее сопоставление результатов различных подходов позволяет закартировать объект более надежно, а в некоторых случаях выявить отдельные детали в его

строении, позволяющие применить способ численной оценки морфометрических параметров русловых тел (пaleоканалов).

Пример применения обозначенного подхода демонстрирует его преимущества для углубленной геологической интерпретации. Параметризация объекта и прогноз отдельных величин, находящихся за пределами разрешенности сейсмического метода, позволяют более реалистично оценить морфологию палеорусла, спрогнозировать размеры возможных литологических ловушек, оценить ресурсы, дать прогноз и рекомендации для дальнейшего изучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буторин А.В., Виноходов М. А., Зиннурова Р. Р., Митяев М. Ю., Онегов А.В., Шарифуллин И. Ф. Оценка потенциала тюменской свиты в пределах Ноябрьского региона Западной Сибири // Журнал «Нефтяное хозяйство». 2015. № 12. – С. 41–43.
2. Ольнева Т. В., Жуковская Е. А. Сейсмовидение геологических процессов и явлений: русловые отложения континентальных обстановок осадконакопления // Геофизика. 2016. № 2. 2016. – С. 2–9.
3. Патент № 2672766 С1 Российская Федерация, МПК G01V 1/28, G01V 9/00. Способ прогнозирования морфометрических параметров русловых тел (пaleоканалов): № 2018104929: заявл. 08.02.2018: опубл. 19.11.2018 / Т. В. Ольнева, Е. А. Жуковская; заявитель ООО "Газпромнефть НТЦ".

COMPLEX APPROACH TO MODELING GEOMETRY OF DEPOSITS OF PALEO-CHANNEL SYSTEMS OF TYUMEN FORMATION OF WEST SIBERIAN OIL AND GAS BEARING BASIN

¹*Oreshkova Maria Yurievna, ²Olneva Tatyana Vladimirovna*

¹*Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg*

²*Gazpromneft NTC LLC, Saint Petersburg*

¹*wintersurprise@mail.ru*

Annotation. In this paper we consider a complex technique for modeling geometry of paleo-channel systems and predicting architecture of a reservoir using the example of one of deposits of Khanty-Mansi Autonomous Okrug. **Relevance of the work** is due to search for new productive horizons in previously unexplored interval of the section of the currently exploited field. **Object** of study is the paleo-channel systems within the Tyumen formation in the conditions of the West Siberian oil and gas basin. Paleochannels and associated sandy bodies of alluvial genesis are focus of attention in the search for hydrocarbon deposits, as they are reliable lithological traps. **Aim** of the work is to create an integrated methodology for modeling geometry of paleo-channel systems and predicting architecture of a reservoir using example of one of deposit of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug.

Key words: seismic exploration, interpretation of seismic data, paleochannels, Tyumen Formation.

УДК 551.435.8

ИССЛЕДОВАНИЯ КАРСТОВЫХ ПРОВАЛОВ

¹*Петина Виктория Александровна*, ²*Оvezov Батыр Аннамухаммедович*
МГРИ, г. Москва

¹*vicka.petina@yandex.ru*, ²*ovezovba@mgsri.ru*

Аннотация. На сегодняшний день существует огромная проблема карстовых провалов, потому что из-за них возникают значительные ущербы экономического, экологического и социального характера. Карстовые процессы очень активны в России. Чтобы не произошло нового карстового процесса, для предотвращения нужны новые методы.

Ключевые слова: карст, горная порода, электроразведка, провал, геофизические методы.

Щелочные горные породы, к примеру, известняк, доломит, мел, соль при наличии в них трещиноватости и пористости [2], могут растворяться, выщелачиваться подземными водами, с последующим выносом накопленного материала, тем самым образуя под землей полости. Поверхностный слой, не способный продолжительное время сдерживать нагрузку, обрушивается, появляются воронки или провалы разных видов (рис. 1), оказывающие значительное воздействие на все элементы природного ландшафта и хозяйственную работу человека.

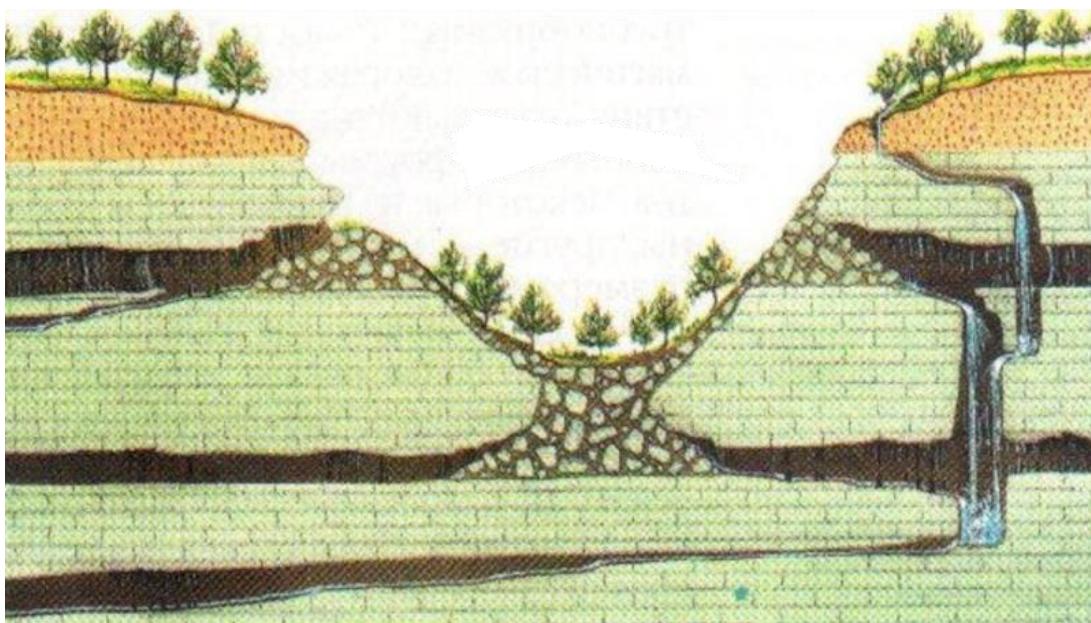


Рис. 3. Карстовая полость

Но на развитие карстовых процессов оказывают влияние не только карстующиеся горные породы, но также климатические условия среды: осадки по сезонам года, температурный режим, гидрологические условия, наличие растительности, ровная поверхность [3]. Деятельность человека тоже играет роль в образовании карстового провала. Происходит это под действием различных выбросов в атмосферу, из-за чего идет формирование кислотных дождей, обработки дорожных покрытий едкими веществами, ведением подземных горных работ, например, шахт по добыче каменной соли, ведь выработки горных пород обедняют почву, тем самым тоже обрушаются.

Для предотвращения карстовых провалов нужны различные методы для их обнаружения [4]. Поэтому можно воспользоваться электроразведочными методами [1], заключающиеся в наблюдении и изучении распределения характеристик электромагнитных полей, электрических свойств среды, на которую это поле действует. Методы электроразведки применяются для решения ряда специальных задач таких, как гидрогеологических, инженерно-геологических изысканиях и различного рода специальных съемках, для построения геологического разреза, поисков полезных ископаемых. Методы электроразведки применяются для решения ряда специальных задач таких, как гидрогеологических, инженерно-геологических изысканиях и различного рода специальных съемках, для построения геологического разреза, поисков полезных ископаемых.

Рассмотрим метод зондирования становлением поля в ближней зоне. Метод ЗСБ используется на изучении поля переходных процессов, которое возбуждается в земле при изменении тока в источнике. Измеряемое поле несет информацию об изменении электрических свойств пород с глубиной, то есть о строении геоэлектрического разреза, также содержание сведений об исследуемой среде, что и поможет определить карстовую зону [5].

Данный метод помогает подробно исследовать разрез от первых десятков метров до более 300-400 метров, благодаря чему можно выявить зоны пустот. В число главных блоков аппаратуры метода ЗСБ входят: генераторное и измерительное устройства, блок управления, обеспечивающий синхронизацию работы генератора и измерителя, установка, заключающаяся из незаземленных генераторной и приемной петлей, которые расположены на поверхности земли в виде квадрата, размеры которых рассчитываются требуемой глубиной исследования [6].

Прелагаемый метод позволяет изучить состав территории карстовых зон созданием электромагнитного поля. Так как каждая порода имеет свое удельное сопротивление, следовательно, она по-разному будет пропускать через себя электромагнитный ток. С помощью датчиков она будет фиксироваться, таким образом, будет появляться геоэлектроразрез, с помощью которого можно выявлять область карстовых пустот.

Главными преимуществами метода ЗСБ – глубинные исследования, экономность, достоверность, применяемость в различных климатических условиях, получение геоэлектрического разреза (рис. 2), выделение разрывных нарушений и оценивание тектонической обстановки участка. При таких данных параметров метода ЗСБ можно обнаруживать карстовые провалы, а самое главное их предотвращение.

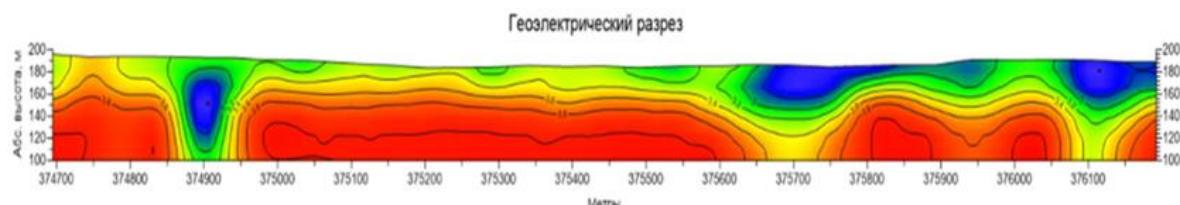


Рис. 4. Пример геоэлектрического разреза

Карст образовывается несколько сотен миллионов лет, и под землей образованная полость считается безопасной около 5 лет, поэтому за этот промежуток времени, если сразу обнаружить пустоту, то можно предотвратить. Чаще всего полости возникают на месте старых провалов или вблизи их. Следовательно, эти территории предлагаю исследовать методом ЗСБ для обнаружения возможной новой полости. С карстом можно и нужно бороться!

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лунегова М. С. Понятие и механизмы образования карстовых провалов // Сборник научных трудов по материалам IX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых в 2 томах, 2016. – С. 433-436.
2. Певзнер М.Е. Горная экология // Издательство Московского государственного горного университета, Москва, 2017 г. – С. 333.
3. Татьков И.Г., Татьков Г.И., Бадерин А.М., Ковбасов К.В. Результаты электротомографии при поисках рудного золота в условиях криолитогенеза и альпинотипного рельефа Северного Прибайкалья // Разведка и охрана недр. 2014 г. – С. 32-38.
4. Генераторы сейсмических колебаний невзрывного типа, использующие в качестве энергоносителя бензин-кислородные смеси, обогащенные водородом / Т. Т. Мажренова, А. М. Машкова, Н. В. Соловьев [и др.] // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2022. – № 3(123). – С. 20-23.
5. Щербакова, К. О. Инженерные решения глобальных проблем устойчивого развития / К. О. Щербакова, Б. А. Оvezov, Н. В. Соловьев // Новые идеи в науках о Земле: Материалы XIV Международной научно-практической конференции: в 7 томах, Москва, 02–05 апреля 2019 года. – Москва: Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, 2019. – С. 317-320.
6. Щербакова, К. О. Прикладные задачи современной наземной и низковысотной магниторазведки / К. О. Щербакова, Б. А. Оvezов // Новые идеи в науках о Земле: Материалы XIV Международной научно-практической конференции: в 7 томах, Москва, 02–05 апреля 2019 года. – Москва: Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, 2019. – С. 502-503.

STUDIES OF KARST SINKHOLES

*¹Petina Victoria Alexandrovna, ²Ovezov Batyr Annamukhammedovich
MGRI, Moscow
¹vicka.petina@yandex.ru, ²ovezovba@mgri.ru*

Abstract. Today there is a huge problem of karst sinkholes, because they cause significant damage of an economic, environmental and social nature. Collapses can be heard all over the world, and, of course, karst processes are active in Russia. In order to avoid a new cartesian process, new methods are needed to prevent it.

Keywords: Karst, rock, groundwater, sinkhole, geophysical methods.

УДК 550.837.311

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ КАРСТОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПЕРМСКОГО КРАЯ

¹*Петросян Рубен Нверович*, ²*Гинзбург Евгений Александрович*,

³*Зотин Никита Алексеевич*

ПГНИУ, г. Пермь

¹*petrosyan@antikarst.ru*, ²*ginzburg2014@mail.ru*, ³*zotin@antikarst.ru*

Аннотация. Карст – опасный геологический процесс, развитие которого тяжело прогнозировать. С целью прогноза развития карста в Кунгурском районе проведены электроразведочные полевые наблюдения методом вертикального электрического зондирования с последующей обработкой и интерпретацией с использованием априорных данных бурения. По результатам интерпретации построены карты распределения удельного электрического сопротивления по слою ангидритов. Проведен анализ данных, который позволил определить статистически значимые геоэлектрические характеристики этого слоя.

Ключевые слова: карст, инженерная геофизика, электроразведка, ВЭЗ, удельное сопротивление, г. Кунгур.

Карст – это процесс химического и механического воздействия подземных вод на горные породы, выражающийся в выщелачивании и последующем вымывании накопленных частиц. Только на Урале, по данным геологического картирования растворимые в воде, или карстующиеся породы, занимают около 45 процентов территории [3]. Кунгурский район Пермского края характеризуется высокой степенью распространения карста. Основными карстующимися горными породами на данной территории являются сульфаты: гипсы и ангидриты. Сульфаты характеризуются относительно высокой скоростью растворения, и в отличие от галоидов, обладают более низкой пластичностью, что может способствовать закрытию трещин. Помимо этого, в случае развития карста в сульфатных горных породах могут образоваться воронки, полости, провалы и иные опасные формы карстопроявления. Таким образом, сульфатный карст можно отнести к наиболее опасным карстовым процессам, которые могут представлять угрозу для жизни человека и его хозяйственной деятельности [5, 6, 7].

Изучение карста геолого-геофизическими методами необходимо для прогнозирования направления и интенсивности развития данного процесса, что позволяет избежать опасных последствий, либо минимизировать ущерб от них. На практике, для мониторинга карстовых процессов используется комплекс мероприятий, направленных на изучение литологического, минералогического состава, структуры, химических и физических свойств грунтовых вод в районах распространения горных пород, подверженных карству. К таким мероприятиям относят геофизические исследования, в частности методы электроразведки постоянного тока, направленные на изучение пространственного распределения электрических свойств исследуемого участка. Первые опыты по изучению карста геофизическими методами относятся к началу 30-х годов прошлого столетия. Теоретические и экспериментальные работы подтвердили целесообразность применения электроразведки для поисков и оконтуривания закарстованных зон и участков развития трещиноватых пород [4].

В настоящее время одним из ключевых геофизических методов при поиске областей карстопроявления является вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) [8, 9]. Работы с использованием метода ВЭЗ позволяют выделять и оконтуривать зоны трещиноватости, разуплотнения горных пород и развития карста.

Рассмотрим практический пример применения метода ВЭЗ при поиске зон развития карста. Работы производились в Кунгурском районе Пермского края на территории четырех населенных пунктов: с. Зарубино, д. Заспалово, д. Шляпники, д. Кочебахтино. По результатам бурения выявлены горные породы, которые могут быть подвержены распространению карста. Такими породами, в данном случае, являются ангидриты, которые залегают на глубинах от 20.0 до 30.0 м от поверхности Земли.

Геофизические исследования по определению электрических характеристик выполнялись с применением цифровой электроразведочной аппаратуры АМС-1м, обладающей высокой точностью и помехозащищенностью [2]. Профильные электроразведочные наблюдения выполнены с использованием четырехэлектродной симметричной измерительной установки (установка Шлюмберже). Разносы питающей линии АВ изменялись от 3.2 до 500.0 м. В качестве заземлителей для питающей линии АВ использовались электроды из сплава титана и стали, для приемной линии использовались заземлители из латуни. Анализ результатов электрического зондирования проводился в автоматизированной интерактивной системе «ЗОНД» [1] и включал в себя первичную обработку, качественную и количественную интерпретацию полевых материалов. Результаты метода ВЭЗ позволили получить представление о характере и особенностях распределения геоэлектрических параметров на участке работ. В целях корректного истолкования полученных результатов построены карты распределения удельных электрических сопротивлений (УЭС) для кровли ангидритов в пределах каждого изучаемого участка работ (рис. 1).

На рисунке 1а представлен участок работ в селе Зарубино, на котором выполнены измерения по 6 параллельным профилям. В центре профиля 2, между пикетами 59 и 53, находится карстологическая скважина С-1, которая вскрыла слой ангидритов на глубине 26 м. По данным ВЭЗ данный слой характеризуется сопротивлениями от 51 до 309 Омм. В районе пикетов 5, 4, 10, 16, 22, 28 наблюдаются повышенные значения удельного сопротивления.

На рисунке 1б представлен участок работ в деревне Заспалово, который включает в себя 3 параллельных профиля. Между пикетами 20 и 21 находится карстологическая скважина С-2, которая вскрыла слой ангидритов на глубине 21 м. По данным ВЭЗ данный слой характеризуется сопротивлениями от 106 до 580 Омм. В районе пикетов 1–3 и 24, 26, 27, 28, 29, 30 наблюдаются повышенные значения УЭС.

На рисунке 1в представлен участок работ в деревне Кочебахтино, состоящий из 6 профилей. Между пикетами 12 и 13 находится карстологическая скважина С-3, которая вскрыла слой ангидритов на глубине 27 м. По данным ВЭЗ данный слой характеризуется УЭС от 128 до 261 Омм.

На рисунке 1г представлен участок работ в деревне Шляпники, где выполнены 8 профилей наблюдений. Рядом с пикетом 23 находится карстологическая скважина С-5, которая вскрыла слой ангидритов на глубине 23 м. По данным ВЭЗ данный слой характеризуется УЭС от 68 до 182 Омм.

В целях выявления общих закономерностей распределения УЭС в слое ангидритов проведен статистический анализ данных как для каждого участка работ по отдельности, так и по всем вместе взятым участкам работ путем вычисления статистических параметров для всего массива значений УЭС (табл. 1).

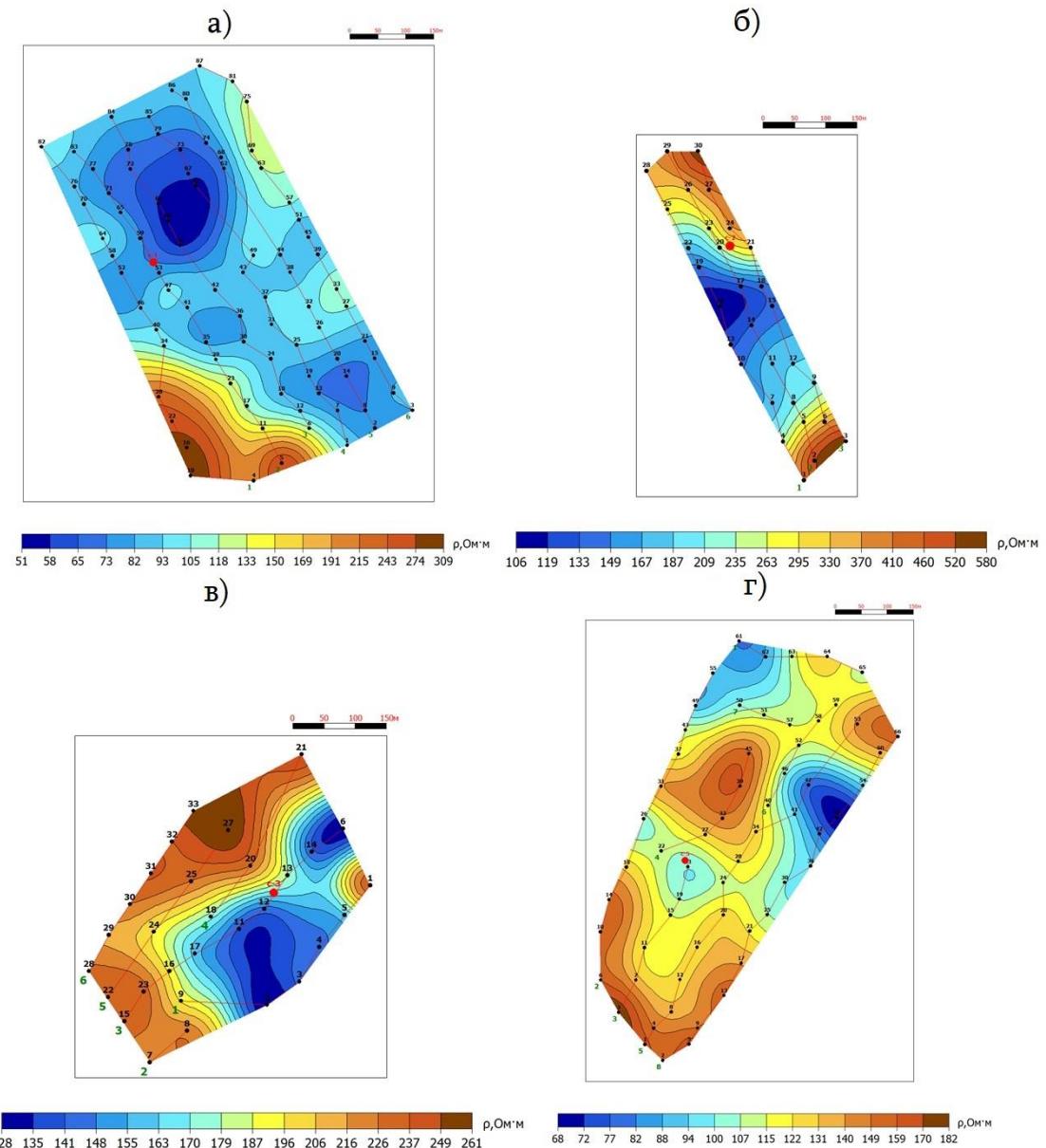


Рис. 1. Карты распределения УЭС кровли ангидритов для населенных пунктов Пермского края: а) – с. Зарубино, б) – д. Заспалово, в) – д. Кочебахтино, г) – д. Шляпники

Таблица 1

Статистические характеристики УЭС слоя ангидритов

	Заспа- лово	Зару- бино	Кочебах- тино	Шляп- ники	Обобщен- ные
Минимальные значения УЭС, Омм	85.00	31.90	94.00	10.50	10.50
Максимальные значения УЭС, Омм	880.00	460.00	327.00	271.00	880.00
Средние значения УЭС, Омм	253.20	100.58	200.13	116.95	142.68
Стандартное отклонение σ , Омм	199.81	69.08	61.52	61.54	112.02
Медиана, Омм	185.00	81.00	204.50	113.00	111.00

Исходя из полученных данных, минимальные значения в слое ангидритов равны 10.5 Омм, максимальные – 880.0 Омм. Такой широкий диапазон значений УЭС может быть связан с различными физико-механическими свойствами (плотность, степень выветривания, пористость, трещиноватость и т.д.) ангидритов, а также наличием грунтовых вод и степенью их минерализации. Кроме того, большой диапазон значений может свидетельствовать о наличии в полевых данных некоторой погрешности.

Поскольку значения УЭС имеют логнормальный характер распределения, они были соответствующим образом преобразованы для получения нормального распределения (рис. 2), затем были получены средние и граничные значения при сопоставлении логнормального и нормального распределений (табл. 2).

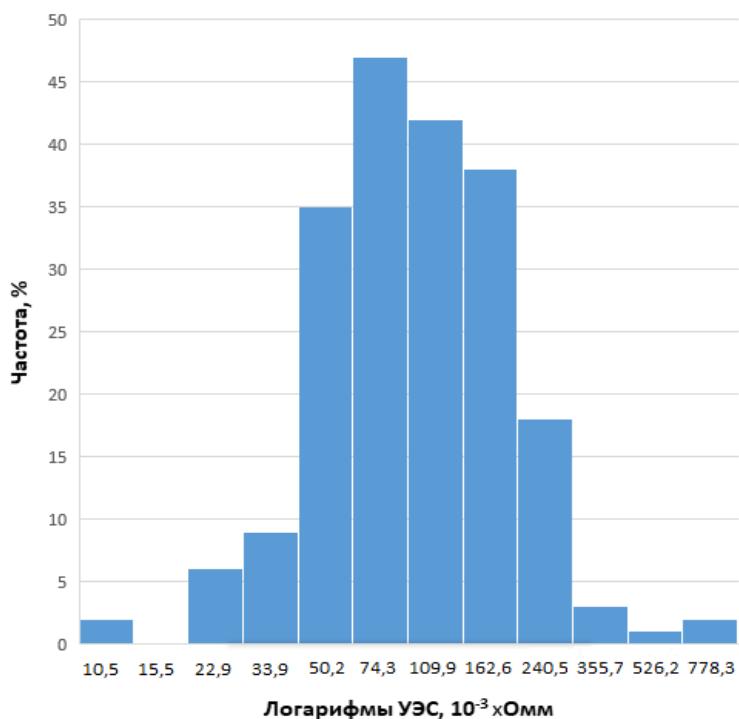


Рис. 2. Гистограмма распределения УЭС для слоя ангидритов

Таблица 2

Оценка диапазонов статистически значимых значений УЭС слоя ангидритов

Доверительный интервал	Логарифмы УЭС			УЭС		
	$\pm 1\sigma$	$\pm 2\sigma$	$\pm 3\sigma$	$\pm 1\sigma$	$\pm 2\sigma$	$\pm 3\sigma$
Среднее УЭС, Омм	2.06			114		
Нижняя граница, Омм	1.78	1.49	1.21	60.0	31.9	28.6
Верхняя граница, Омм	2.34	2.63	2.91	221.0	380.0	800.0

Оценки диапазонов значений, полученные путем логарифмирования значений УЭС, составили от 60.0 до 221.0 Омм, от 31.9 до 380 Омм и от 28.6 до 800.0 Омм для доверительных интервалов шириной $\pm 1\sigma$, $\pm 2\sigma$ и $\pm 3\sigma$, соответственно. В эти диапазоны попали 71.9%, 94.6% и 98.5% всех исходных данных по слою ангидритов, соответственно. Этим подтверждается близость эмпирического распределения, представленного на рисунке 2, к нормальному закону. Представленная методика позволяет

исключить выбросы в значениях УЭС и определять диапазоны статистически значимых значений этого параметра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колесников В.П. Основы интерпретации электрических зондирований. М.: Научный мир, 2007.– 248 с.
2. Комплекс АМС-1 [Электронный ресурс]. URL: <http://uralgeopole.ru/kompleks-ams-1/> (д.о. 28.01.2023).
3. Максимович Г.А., Горбунова Г.А. Карст Пермской области. Пермское книжное издательство г. ПЕРМЬ – 1958 г. 184 с.
4. Рекомендации по геофизическому исследованию закарстованности территорий, предназначенных для строительства [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4294815/4294815113.htm> (д.о. 28.01.2023).
5. Аникеев А.В. Провалы и воронки оседания в карстовых районах: механизмы образования, прогноз и оценка риска г. Москва: РУДН, 2017. – 328 с.
6. Дублянская Г.Н., Дублянский В.Н., Катаев В.Н. Карстоведение. Ч. 3. Инженерное карстоведение: Учеб. пособие / Перм. ун-т. – Пермь, 2010.
7. Максимович Г.А. Основы карстоведения. Том 1. Пермское книжное издательство г. ПЕРМЬ – 1969 г.
8. Матвеев Б.К. Электроразведка. Учебник для вузов г. Москва: Недра, 1990. – 368 с.
9. Марченко М.Н. Вертикальное электрическое зондирование. Учебное пособие М.: издательство МГУ, 2013 – 28 с.

DETERMINATION OF THE SPECIFIC ELECTRICAL RESISTANCE IN SOLVING CARSTICAL PROBLEMS IN THE CONDITIONS OF URBANIZED TERRITORIES OF THE PERM KRAI

¹Petrosyan Ruben, ²Ginzburg Evgenii, ³Zotin Nikita
PSU, Perm

¹petrosyan@antikarst.ru, ²ginzburg2014@mail.ru, ³zotin@antikarst.ru

Summary. Karst is a dangerous geological process, the development of which is difficult to predict. In order to predict the development of karst in the Kungur region, electrical exploration field observations were carried out using the method of vertical electrical sounding, followed by processing and interpretation using a priori drilling data. Based on the interpretation results, maps of the electrical resistivity distribution over the anhydrite layer were constructed. An analysis of the data was carried out, which made it possible to determine the statistically significant geoelectric characteristics of this layer.

Key words: karst, engineering geophysics, electrical exploration, VES, resistivity, Kungur.

УДК 55.550

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ГЕОМЕТРИИ ТРЕЩИН ГРП И ПРОНИЦАЕМОСТИ ПЛАСТА ПО ЦИКЛИЧЕСКИМ ТЕРМИЧЕСКИМ ИССЛЕДОВАНИЯМ СКВАЖИН

¹*Прилуцкий Александр Александрович*, ²*Никонорова Анастасия Николаевна*
Российский Государственный Университет нефти и газа им. И. М. Губкина, г. Москва
¹*yosahelp@gmail.com*, ²*anastasia.nikonorova@list.ru*

Аннотация. Непроизводительная закачка – одна из основных проблем недропользователей на сегодняшний день, создающая не только сложности при разработке, но и угрозу загрязнения пластовых вод. Непроизводительная закачка возникает в процессе реализации системы поддержания пластового давления путем закачки флюида. Нередко закачиваемая в пласт жидкость, может привести к возникновению нестабильных трещин гидроразрыва пласта (ГРП), по которым нагнетаемая вода может перетекать в выше- и нижележащие пласты-коллекторы. На данный момент времени актуальной задачей остается разработка методик и технологий исследования, анализа и диагностики трещин ГРП, а также способов своевременного предотвращение появления и развития нестабильных трещин. Авторами был рассмотрен метод термометрии, как основа количественной оценки и диагностики трещин ГРП, возникающих в процессе закачки с чрезмерно высоким давлением.

Ключевые слова: трещина ГРП; тепловое поле; непроизводительная закачка; термометрия скважин; разработка нефтяных месторождений; промысловогеофизические исследования; гидродинамические исследования; межпластовые перетоки.

С целью поддержания пластового давления на нефтяных месторождениях бурят нагнетательные ряды скважин, которые, зачастую, эксплуатируются на максимально возможных репрессиях, что может приводить к нарушению целостности как скважины, так и пласта. «Агрессивные» режимы работы нагнетательных скважин могут являться причинами закачки нагнетаемой воды в нецелевые объекты по различным каналам перетока. Так, под высокими давлениями могут образоваться трещины гидроразрыва в породах, а также при превышении забойного давления над давлением разрыва цементного камня происходит нарушение целостности заколонного пространства.

Вопрос своевременной диагностики и оценки происхождения перетоков по различным каналам стоит весьма остро для исследователей. Знание о происхождении канала перетока позволит более эффективно управлять разработкой месторождений, что в свою очередь способно позитивно отражаться на экономике проекта.

В представленной работе авторами рассматривается метод нестационарной термометрии как базовый при диагностике перетоков по трещинам и негерметичному заколонному пространству.

С помощью методов промысловой геофизики можно количественно оценить параметры трещины и установить условия образования трещин для различных типов коллекторов.

Метод термометрии является базовым методом решения данной задачи в нагнетательных скважинах уже на протяжении многих лет. Однако, вопрос, насколько информативен этот метод в условиях протяженных трещин, остается открытым.

Термометрия – базовый метод решения задач, связанных с появлением и развитием трещин в нагнетательных скважинах, но вопрос о информативности метода в условиях протяженных трещин остается неисследованным по сей день.

В предыдущих своих работах авторы обращали внимание, что с увеличением протяженности трещин темп релаксации теплового поля после остановки скважины происходит в несколько раз быстрее. Кроме того, весомый вклад в формирование теплового поля, помимо длины трещины, вносит также проницаемость пласта, интенсивность и продолжительность закачки.

Также, в ходе предыдущих исследований авторами было выявлено, что для оценки параметров трещин и проницаемости пласта весьма информативной является технология циклических термических исследований скважин при управлении временем и интенсивностью закачки.

Так, на одном из месторождений республики Татарстан была опробована данная технология, которая позволила авторам сделать экспрессную оценку длины трещины и проницаемости пласта по термическим исследованиям скважин.

На рисунке 1 приведен пример циклических исследований методом термометрии в нагнетательной скважине, где ярко видны особенности поведения теплового поля при возникновении трещин в пласте, отличающееся от классического представления. Высота отрицательных температурных аномалий существенно больше, чем толщина соответствующих коллекторов-объектов закачки. Крылья трещин распространяются за пределы коллекторов во вмещающие непроницаемые пласти, в связи с этим закачиваемая жидкость движется по крыльям, дополнительно охлаждая вмещающую толщу [1,2].

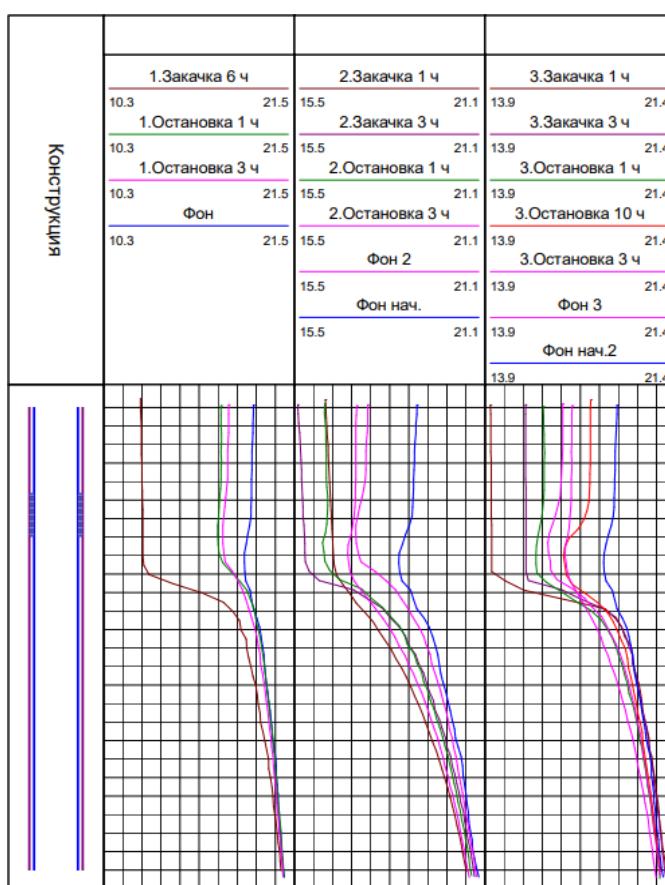


Рис. 1. Циклические промыслово-геофизические исследования в нагнетательной скважине

Для проведения анализа информативности термометрии в условиях формирования нестабильных трещин авторами было проведено термодинамическое моделирование в программной среде Eclipse на неравномерной сетке, сгущенной в областях плоскостей трещины, вблизи стенок скважины и в областях контрастных термобарических измерений в полости трещины.

В основе анализа использовалась классическая модель развития трещины, приведенная на рисунке 2. В данном представлении скважина – цилиндрическая поверхность, вскрывающая бесконечные по протяженности пластины-коллекторы, соединенные трещиной. Работа скважины задавалась под условия реальных исследований, то есть интенсивности и продолжительности циклов совпадают с программой промыслового-геофизических исследований.

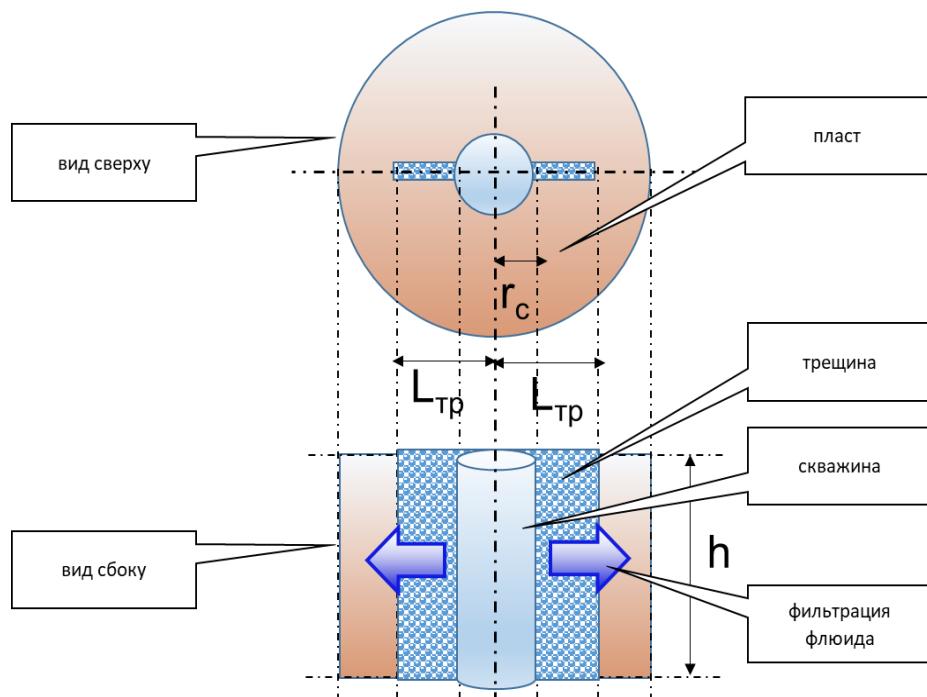


Рис. 2. Система «скважина-трещина-пласт»: L_{tr} – полудлина трещины, м; r_c – радиус скважины, м; h – высота трещины, м

Моделирование поведения теплового поля для анализируемой скважины в процессе поэтапной закачки в условиях образования трещины, длительность трех закачек составила 6, 3 и 4 часа соответственно, а длительность остановок – 12, 5 и 40 часов выполнено в среде Eclipse. Дебиты закачек – 93, 62 и 136 м³/сут.

В период второй высокодебитной, по сравнению с первой, закачки по поведению теплового поля было выявлено, что в этот момент произошло формирование трещины (по наличию расхождения релаксаций), нежели чем в первом малодебитном периоде закачки (рис. 2).

В результате моделирования была получена теоретическая палеточная зависимость для конкретных условий работы скважины, приведенная на рисунке 3. На палетке ярко выделена зона информативности в области всех средних значений проницаемости и длин трещин.

На оси абсцисс откладываются значения температуры при объеме закачки 136 м³/сут, на оси ординат – значения температуры при объеме закачки 62 м³/сут. Измерения температуры проводились при разном времени релаксации 3 и 4 ч и для различных длин трещин: 10, 50, 100 м. Температурное поле будет быстрее восстанавливаться при длинных трещинах.

Исходя из графических данных была определена протяженность трещины – 60 м, и проницаемость целевого пласта – 20-22 мД в анализируемой скважине в республике Татарстан, геофизические исследования которой приведены на рисунке 1.

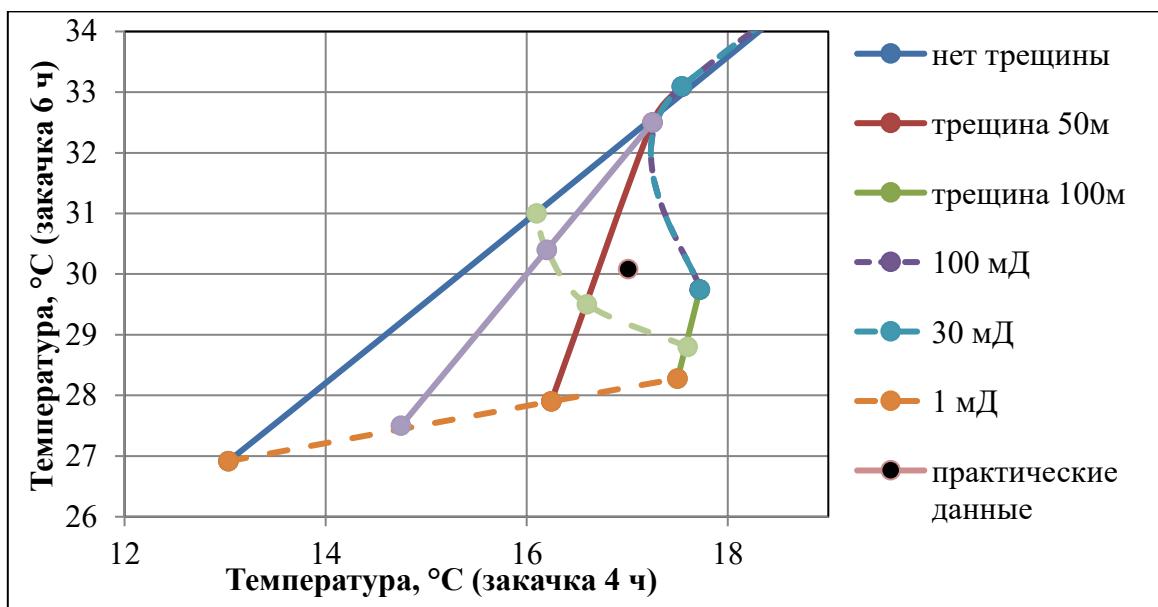


Рис. 3. График зависимостей температур при различном объеме закачки и разном времени релаксации

Из графика видно, что полученные результаты будут информативны в условиях трещин длиной до 50 м и проницаемостей целевого пласта до 30 мД. В условиях больших длин трещин и проницаемостей для проведения исследования необходимо большее время закачки. Для исследования трещин большей длины требуются большие объемы закачки для того, чтобы заполнить всю полость трещин нагнетаемыми водами и исследовать дальнейшее восстановление температурного поля, для маленьких длин трещин требуются меньшие объемы закачки.

На основе анализа циклических промыслового-геофизических исследований скважин на одной из скважин республики Татарстан были выявлены особенности теплового поля при наличии трещины гидроразрыва в пласте. На базе термодинамического моделирования получена теоретическая палеточная зависимость для конкретных условий проведения исследования на одной из скважин республики Татарстан. Оценены геометрические параметры трещины, а также проницаемость пласта по циклическим термическим исследованиям скважин на основе палеточной зависимости, полученной в ходе термодинамического моделирования условий проведения закачки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кременецкий М.И., Ипатов А.И., Гуляев Д.Н. Информационное обеспечение и технологии гидродинамического моделирования нефтяных и газовых залежей. – М. – Ижевск: Ижевский институт компьютерных исследований, 2011. – 896 с
2. Никонорова А.Н., Кременецкий М.И., Ерастова В.А., Наумов А.С. Диагностика и оценка трещин многостадийного ГРП в горизонтальных скважинах по результатам термических исследований. Горизонтальные скважины 2022. Сборник материалов 5-й научно-практической конференции. Москва, 2022. – С. 85-88.

QUANTITATIVE EVALUATION OF HYDRAULIC FRACTURE GEOMETRY AND FORMATION PERMEABILITY BY CYCLIC THERMAL SURVEYS OF WELLS

¹*Prilutskiy Alexander Alexandrovich, ²Nikonorova Anastasiya Nikolaevna²*

National University of Oil and Gas "Gubkin University", Moscow

¹yosahelp@gmail.com, ²anastasia.nikonorova@list.ru

Annotation. Unproductive injection is one of the main problems of subsoil users today, which creates not only difficulties in development, but also the threat of formation water pollution. Unproductive injection occurs in the process of implementing a reservoir pressure maintenance system by fluid injection. Often, the fluid injected into the reservoir can lead to the formation of unstable hydraulic fractures (HF), through which the injected water can flow into the overlying and underlying reservoirs. At this point in time, the development of methods and technologies for studying, analyzing and diagnosing hydraulic fractures, as well as ways to timely prevent the appearance and development of unstable fractures, remains an urgent task. The authors considered the thermometry method as the basis for the quantitative assessment and diagnosis of hydraulic fractures that occur during injection with excessively high pressure.

Key words: hydraulic fracture; thermal field; unproductive download; well thermometry; development of oil fields; field geophysical research; hydrodynamic studies; interlayer flows.

УДК 550.34.06

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УЧАСТКОВ, ПЕРСПЕКТИВНЫХ НА МЕДНО-КОЛЧЕДАННОЕ ОРУДЕНЕНИЕ, МЕТОДОМ ПРОФИЛЬНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Рахимов Эмиль Артурович

Санкт-Петербургский Горный Университет, г. Санкт-Петербург

rahimovball15@mail.ru

Аннотация. В статье анализируются возможности профильной сейсморазведки, выполненной на Юго-Востоке Республики Башкортостан, являющейся одной из наиболее перспективных территорий на Южном Урале в отношении поисков колчеданных руд. Приведены результаты интерпретации модельных данных, а также результаты интерпретации 2D профиля, проходящего через Северо-Мамбетовское и Гадилевское рудопроявления, находящихся в пределах Тубинско-Гайской СФЗ.

Ключевые слова: рудная сейсморазведка, дифракция, колчеданные месторождения, определение рудоконтролирующих структур, Южный Урал.

Колчеданные месторождения являются основной сырьевой базой медной промышленности Урала. Наряду с медью из колчеданных руд извлекаются цинк, сера, серебро, золото, кадмий и другие металлы [2]. Потенциальные методы геофизики традиционно и успешно использовались при разведке полезных ископаемых для оконтуривания перспективных рудоносных зон на мелких глубинах [1]. Однако единственным наземным методом, обеспечивающим высокую разрешающую способность и необходимую глубину проникновения, является метод сейсморазведки [6].

Рудные тела обладают различными размерами и формами так, к примеру, что кверк не имеет шансов проявиться в волновом поле на сколь либо значимой глубине. По этой причине необходимо перейти от изучения отражательных способностей рудных тел к изучению отражательной способности рудоконтролирующих структур. Такой подход по изучению структур рудных полей и месторождений позволит определять естественные границы оруденения и тем самым рационально проводить поисково-разведочные работы.

Основными структурными элементами колчеданных залежей являются: а) экструзивные купола; б) вулканические покровы; в) депрессии разного генезиса [7].

Тубинско-Гайская СФЗ в системе структур поздневенлокско-раннеэйфельской Западно-Магнитогорской островной дуги вмещает большую группу медно-цинковоколчеданных и золото-колчеданных месторождений (уральского и баймакского типов, соответственно) [4]. В ее пределах по особенностям строения иformationной принадлежности колчеданоносных вулканогенных комплексов выделяется несколько структурно-формационных подзон: Акъяр-Бурибайская, Гайско-Подольская (Макан-Гайская) и Тубинско-Баймакская подзона. Изучаемая в работе, Гайско-Подольская подзона образована непрерывной базальт-андезит-дацит-риолитовой формацией, со становлением которой связано образование крупнейших на Южном Урале месторождений медно-цинково-колчеданных руд: Гайского – на юге подзоны и Подольского – вблизи ее северного замыкания.

Профиль приурочен к Подольскому блоку Гайской-Подольской подзоны. Пробуренные вдоль профиля скважины позволили определить, что вулканиты колчеданосной непрерывной формации, залегающие в Подольском блоке в основании одноименной

впадины, представлены верхней частью ее разреза – преимущественно дацитовой толщой, а также риодакитовым экструзивным куполом, завершающим становление формации. Гадилевский штокообразный купол, формировавшийся внутри разреза дацитовой толщи сопряжен с депрессионной структурой, покрывающей поверхность дацитовой толщи и заполненной вулканомиктовыми породами и различными туфами. Эти образования – экструзивный купол и депрессионная структура являются основными палеоструктурными элементами изучаемой площади (рис.1).

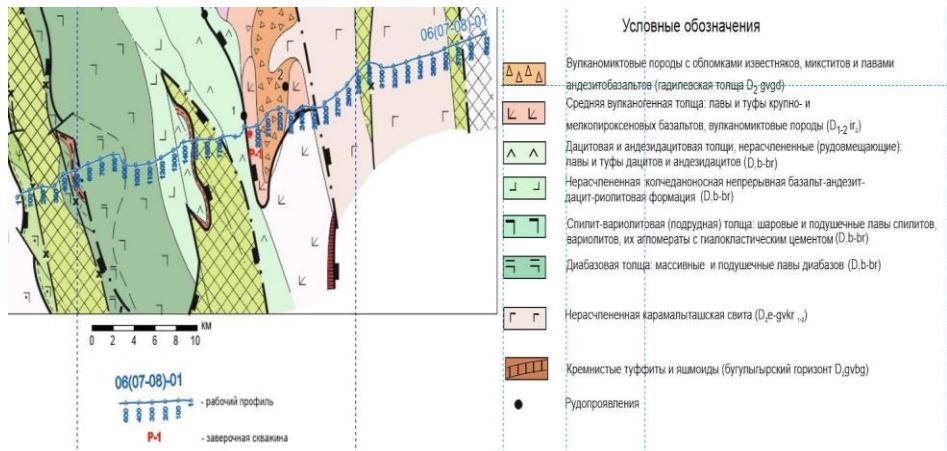


Рис. 1. Геологическая карта района работ. Цифрами 1 и 2 отмечены Северо-Мамбетовское и Гадилевское рудопроявление соответственно

Работы по визуализации подземных объектов проводятся достаточно давно [5]. В нашем случае для подтверждения возможности решения задач поиска рудоконтролирующих структур колчеданных месторождений с помощью сейсморазведки было выполнено математическое моделирование волновой картины в программе Tesseral [7]. Модель описывает простую геологическую обстановку с моноклинальным залеганием слоёв, которая осложняется лишь рудным телом изометричной формы. Тело приурочено к экструзиву ранней генерации, сложенному интенсивно гидротермально измененными, плагиоклазовыми дацитами. (рис. 2). При моделировании система наблюдения состояла из ПВ типа Surface и 801 ПП с шагом 12,5 м. Сейсмический источник представлял собой вейвлет Ricker с центральной частотой 50 Гц. Моделирование выполнялось с помощью акустического волнового уравнения.

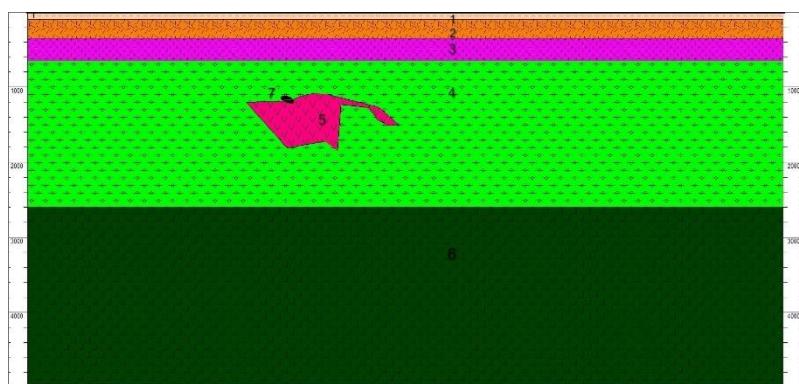


Рис. 2. Модельные данные

Значения скоростей и плотностей горных пород в моделях были определены по скважинным данным и приведены ниже (рис.3). Моделирование позволит изучить синтетическое волновое поле и корректно проанализировать реальные данные.

Модельный слой	$p \left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3} \right)$	$V_p \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$	$V_s \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$	Условные обозначения
1. Вулканогенно-молассовая формация. Туфы андезибазальтового состава	2,44	2300	1120	
2. Вулканомиктовые породы и лавы андезит базальтов. Туффиты, туфопесчаники, туфоалевролиты	2,62	2760	1450	
3. Лавы и туфы мелошприксеновые базальтов	2,68	2950	1620	
4. Дацитовая и андезидацитовая толща	2,78	4700	2250	
5. Экструзив ранний дацитового состава окварцованный, хлоритизированный, слабо гематитизированный)	2,71	4170	1960	
6. Базальт-андезит-дацитовая толща	2,92	5550	2860	
7. Рудное тело вкрапленное (приуроченное к экструзиву)	3,18	4850	2810	

Рис. 3. Значения скоростей и плотностей горных пород в модели по скважинным данным

Анализ волнового поля показал, что в области нахождения изучаемых объектов наблюдается серия парабол, связанных с рудоносной зоной (рис. 4).

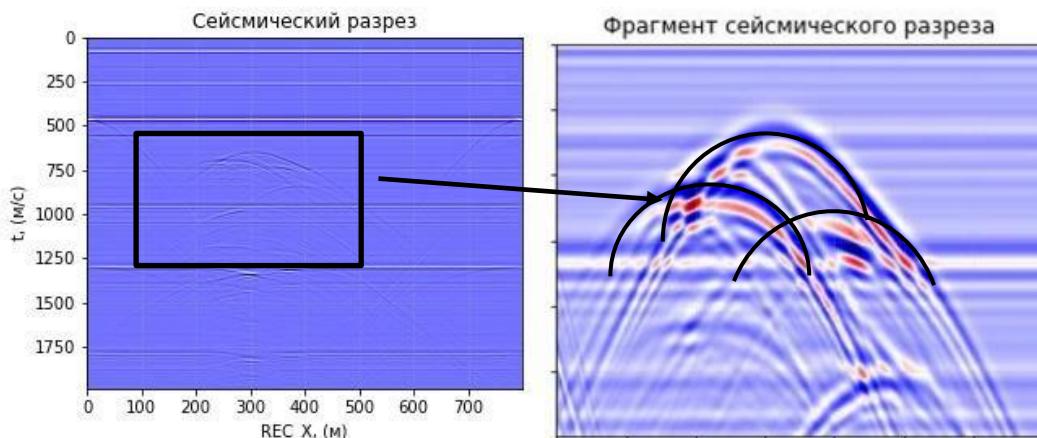
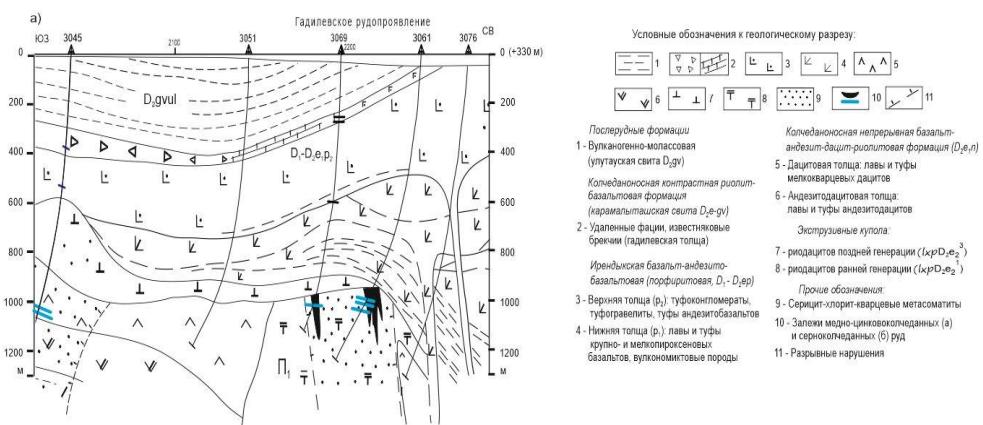


Рис. 4. Волновое поле полученное по модельным данным

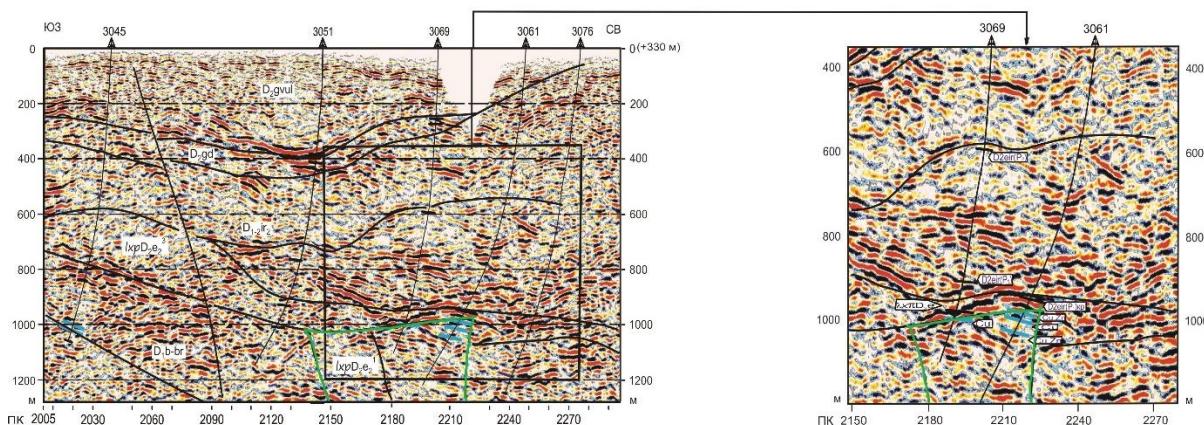
Такая дифракционная картина объясняется тем, что рудное тело располагается на контакте кислых пород с гидротермально измененными породами экструзивного купола.

На основании указанных результатов была выполнена аналогичная интерпретация данных, полученных в ходе сейсморазведочных работ. Рассматриваемый профиль является эталонным поскольку точно известно о нахождении рудоносной зоны.

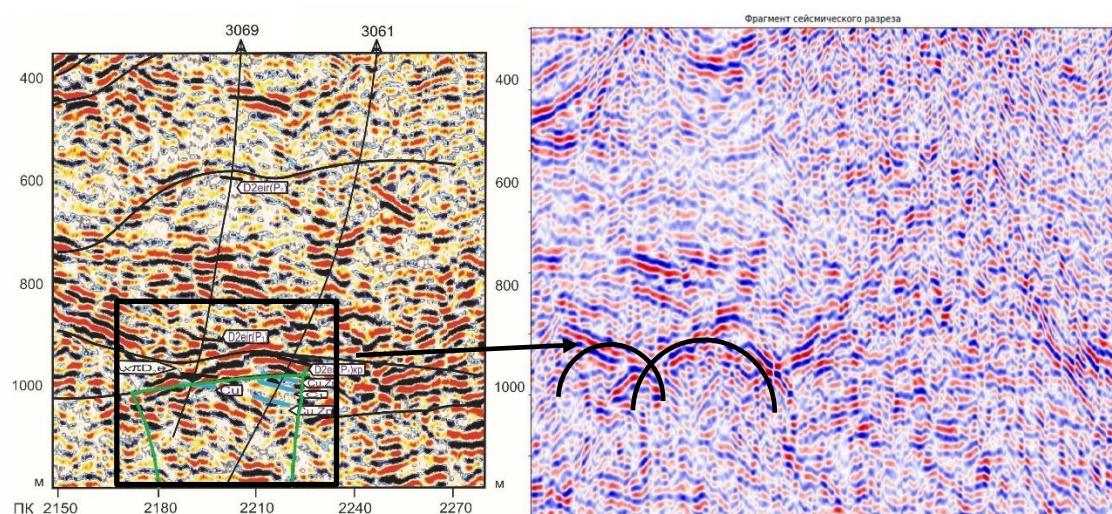
Источниками упругих колебаний выступали вибраторы марки СВ 14/150 в высокочастотном варианте с системой управления PELTON. Прием колебаний осуществлялся сейсмоприемниками GS-20DX. Шаг между ПП составлял 12,5 м., между ПВ – 25 м. Геологический разрез эталонного профиля представлен ниже (рис. 5).

**Рис. 5. Геологический разрез эталонного профиля**

Гадилевский экструзивный купол, вскрытый скважиной 3069 в виде риодазита ранней генерации, является рудоконтролирующей структурой, и он также отчётливо проявляется на сейсмическом разрезе (рис. 6).

**Рис. 6. Фрагмент глубинного разреза эталонного профиля. Зелёным цветом выделен рудоконтролирующий экструзив**

Также в районе купола прослеживается также дифракционная картина, что и наблюдалась на модельных данных (рис. 7).

**Рис. 7.. Волновое поле полученное по эталонному профилю**

По результатам исследования модельных и реальных данных можно сделать вывод, что сейсморазведка может использоваться как самостоятельный метод для поиска зон медно-колчеданного оруденения. Проявление рудоконтролирующих структур на сейсмическом разрезе можно распознавать, картировать и использовать в практике геологоразведочных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давыдов В. А., Назаров А. Н. Геофизические исследования на южном окончании Дегтярского колчеданного месторождения // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 2. С. 37–43 (In Eng.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-2-37-43
2. Прокин В.А. Закономерности размещения колчеданных месторождений на Южном Урале. М., «Недра», 1977, 176 с. (М-во геологии РСФСР Башкир. территор. геол. упр.). Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968. – 476 с.
3. Рудницкий В. Ф. Палеовулканические структуры уральских колчеданных месторождений// Известия Уральского государственного горного университета, 2001, 10 с.
4. Тубинско-Гайская структурно-формационная зона. // Кривцов А.И. и др. Типы рудных районов колчеданоносных провинций Южного Урала и Западного Казахстана. Труды ЦНИГРИ. вып. 105. М. 1973. – С. 55-67.
5. Gilles Grandjean. Imaging subsurface objects by seismic P-wave tomography: numerical and experimental validations // European Association of Geoscientists & Engineers, Near Surface Geophysics. 2006. No 4. Pp. 275-283.
6. Ernst Schetselaar, Gilles Bellefleur and Patricia Hunt. Elucidating the Effects of Hydro-thermal Alteration on Seismic Reflectivity in the Footwall of the Lalor Volcanogenic Massive Sulfide Deposit, Snow Lake, Manitoba, Canada// Minerals 2019, 9(6), 384; <https://doi.org/10.3390/min9060384>
7. Tesserall 2D User's Manual. Available at: geo.com/documentation/en/workstation/UserManual2D.pdf. Режим доступа: <http://tesserall> (дата обращения 15.01.2023)

DETERMINATION OF AREAS POSSIBLE FOR COPPER-PYRITE MINING BY THE METHOD OF PROFILE SEISMIC EXPLORATION.

*Rakhimov Emil Arturovich
Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg
rahimovball15@mail.ru*

Annotation. The article analyzes the possibilities of profile seismic surveys carried out in the South-East of the Republic of Bashkortostan, which is one of the most promising areas in the Southern Urals in terms of the search for pyrite ores. The results of interpretation of model data are presented, as well as the results of interpretation of a 2D profile passing through the Severo-Mambetovskoye and Gadilevskoye ore occurrences, located within the Tubinsko-Gai SFZ.

Key words: ore seismic exploration, diffraction, pyrite deposits, determination of ore-controlling structures, Southern Urals.

УДК 550.38

СИНГЛЕТЫ ${}_0S_2$ ПО ДАННЫМ ГЕОМАГНИТНОГО МОНИТОРИНГА НА ОБСЕРВАТОРИИ «МИХНЕВО» В ПЕРИОД ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ У БЕРЕГОВ ТОНГА, ПРОИЗОШЕДШЕГО 11 НОЯБРЯ 2022 Г.

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

Аннотация. 11 ноября 2022 г. в 10:48 по Гринвичу у берегов островного государства Тонга в Полинезии произошло землетрясение с магнитудой 7,3. В настоящей работе представлены результаты анализа спектров вариаций магнитного поля в приземном слое атмосферы, сопутствующих землетрясению, в частотном диапазоне, близком к частоте основной сфероидальной моды Земли ${}_0S_2$. Привлекались данные регистрации компонент магнитной индукции на Геофизической обсерватории «Михнево».

Ключевые слова: землетрясение, геомагнитные вариации, собственные колебания Земли, синглет, мультиплет.

Существует набор сфероидальных и крутильных собственных колебаний Земли (СКЗ) [1]. Проникновение их в атмосферу может привести к глобальным колебаниям атмосферы на частотах СКЗ [2]. В геомагнитном поле также могут появляться вариации, близкие по частотам к частотам СКЗ [3].

Самое низкочастотное СКЗ – сфероидальное колебание ${}_0S_2$, которое является предметом настоящих исследований. Колебание ${}_0S_2$ представляет собой мультиплет – расщепляется на 5 компонент [4, 5].

В настоящей работе на основе результатов инструментальных наблюдений за геомагнитным полем в период мощного землетрясения в Тихом океане, произошедшего 11 ноября 2022 г., исследуется спектр в частотном диапазоне, близком к частоте основной сфероидальной моды Земли ${}_0S_2$.

Землетрясение магнитудой 7,3 произошло в 10:48:45 UTC 11 ноября 2022 года у берегов островного государства Тонга в Полинезии (Южная часть Тихого океана), во внешней зоне субдукции Тонга (табл. 1). Эпицентр подземных толчков находился в 206 км от столицы королевства города Нукуалофа. По данным Геофизической службы США [6] очаг землетрясения залегал на глубине 24.8 км. Координаты эпицентра: 19.3181° ю.ш.; 172.1001° з.д.

Землетрясение с обратным разломом, произошедшее 11 ноября 2022 года, вызвало цунами [7]. Цунами было достаточно большим, чтобы его можно было четко наблюдать на новозеландских станциях DART NZF (0.36 см), NZG (0.62 см), NZH (2.22 см) и NZI (1.09 см) и на береговых станциях в Паго-Паго (Самоа) и Уинне (Новая Кaledония).

В настоящей работе в качестве исходных привлекались данные регистрации компонент магнитной индукции на земной поверхности, выполненной на Геофизической обсерватории «Михнево» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики геосфер имени академика М.А. Садовского Российской академии наук [8]. Географические координаты: 54.96° с.ш.; 37.77° в.д. Геомагнитный мониторинг

выполняется с помощью феррозондового магнитометра LEMI-018, расположенного в стационарно оборудованном геомагнитном павильоне.

Таблица 1

Параметры очага землетрясения у берегов Тонга [6]

Время UTC	Широта	Долгота	Глубина, км	Mw
10:48:45	19.3181° Ю.Ш.	172.1001° З.Д.	24.8	7.3

Исследуются спектральные характеристики вариаций модуля вектора индукции магнитного поля \mathbf{B} . Для анализа используются временные ряды цифровых данных, сформированные с дискретностью 1 сек.

С целью определения длины используемого ряда данных были проанализированы параметры магнитной активности (K , Ap и Kp индексы) в период и после землетрясения у берегов Тонга (табл. 2). Период с 10:48 UTC 11 ноября 2022 года (основной толчок землетрясения) до 18:00, характеризующийся отсутствием сильных геомагнитных возмущений, камуфлирующих относительно слабые проявления расщепления мультиплета, был использован при вычислении спектра.

Оценка спектра вариаций магнитного поля в приземном слое атмосферы выполнялась на основе метода параметрической авторегрессии [9, 10]. С целью повышения уровня дискриминации близких по периодам квазигармонических спектральных составляющих в дополнение к параметрическому спектральному анализу в настоящей работе применялся также метод выделения гармонических составляющих с помощью узкополосных адаптивных режекторных фильтров [11, 12], преимущество которых заключается в простоте выбора искомой частоты, перестройки полосы пропускания и практически неограниченном подавлении соседних частот.

Оцененные по данному алгоритму частоты синглета основной моды ϑS_2 сравнивались с рассчитанными по модели Земли 1 066 А частотами [13]. Частоты по модели Земли 1 066 А вычислялись с помощью метода возмущения для вычисления расщепления изолированной вырожденной собственной частоты [14].

Таблица 2

 K [8], Ap и Kp индексы [15] магнитной активности в период и после землетрясения у берегов Тонга

Дата	ApMos	KpMos	K
11.11.2022	009	11233323	01222212
12.11.2022	005	22221100	22211100
13.11.2022	007	12122321	12212321
14.11.2022	005	11121121	00111020
15.11.2022	004	11111101	00011001
16.11.2022	004	10010211	00010220
17.11.2022	003	00111001	00001001
18.11.2022	007	10113132	10111233
19.11.2022	004	21121111	20121010
20.11.2022	007	10011332	00001222
21.11.2022	007	22222212	22122112
22.11.2022	004	11111210	11011210
23.11.2022	003	00102110	00101120
24.11.2022	006	11112223	01112123
25.11.2022	016	22333344	22223344

Результаты оценки спектра вариаций магнитного поля во время землетрясения у берегов Тонга 2022 г. представлены на рис. 1. В поле рис. 1 приведены теоретические значения частот квинтета ${}_0S_2$ в виде вертикальных линий.

Из рисунка 1 видно, что, во-первых, в спектре геомагнитных вариаций отчетливо видны синглеты, во-вторых, значения частот, оцененные по данным вариаций магнитного поля во время этого землетрясения, близки к значениям частот, вычисленным по модели [4].

Оценки частот, полученные по экспериментальным данным, определяются с достаточно высокой точностью и имеют значения достаточно близкие к теоретическим (т.е. разность между наблюдаемыми и теоретическими значениями не превосходит 0.7 %).

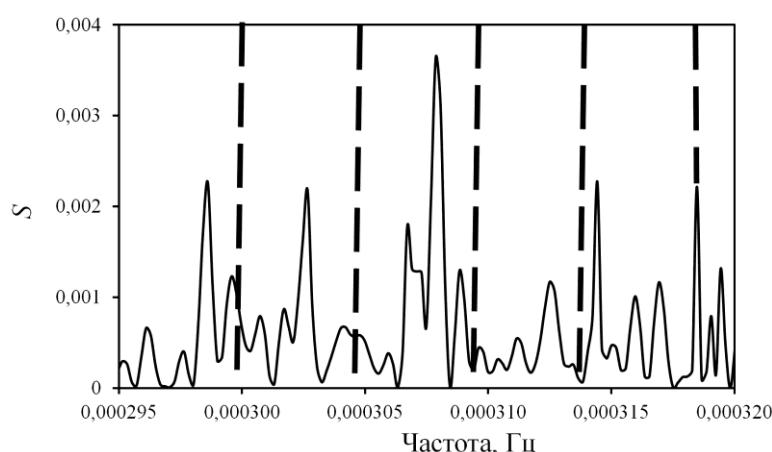


Рис. 1. Тонкая структура основной сфероидальной моды собственных колебаний Земли ${}_0S_2$ в геомагнитных вариациях на обсерватории «Михнево» после землетрясения у берегов Тонга 11.11.2022 г. (вертикальные линии – теоретические значения частот квинтета ${}_0S_2$)

Экспериментальные исследования выполнены в рамках государственного задания ИДГ РАН № 1220329000185-5 "Проявление процессов природного и техногенного происхождения в геофизических полях", интерпретация результатов выполнена в рамках государственного задания ИФЗ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адушкин В.В., Спивак А.А., Харламов В.А. Проявление лунно-солнечного прилива и собственных колебаний Земли в вариациях магнитного поля // Физика Земли. – 2018. – № 6. – С. 59–71.
2. Рябова С.А., Спивак А.А. Геомагнитные эффекты в приповерхностной зоне Земли. М.: Графитекс, 2019. – 150 с.
3. Рябова С.А., Спивак А.А., Харламов В.А. Проявление квинтета основной сфероидальной моды собственных колебаний Земли ${}_0S_2$ в электромагнитных вариациях на ГФО "Михнево"// Процессы в геосредах. – 2019. – № 3(21). – С. 399–403.
4. Riabova S., Spivak A. Study of the splitting of the football mode ${}_0S_2$ in geomagnetic variations // Conference Proceedings, 81st EAGE Conference and Exhibition 2019. – 2019. – Vol. 2019. –doi:10.3997/2214-4609.201901054.
5. Shved G.M., Petrova L.N., Polyakova O.S. Penetration of the Earth's free oscillations at 54-minute period into the atmosphere // Annales Geophysicae. – 2000. – Vol. 18. – P. 566–572.

6. Геофизическая служба США. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.usgs.gov/> (дата обращения: 23.01.2023)
7. Gusman A.R., Wang X., Burbidge D.R., Fry B. Tsunami DART observations and simulation of the 11 November 2022 Tonga Mw 7.4 earthquake // Lower Hutt (NZ): GNS Science. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://doi.org/10.21420/DD16-XK63> (дата обращения: 23.01.2023)
8. Геофизическая обсерватория «Михнево» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики геосфер имени академика М.А. Садовского Российской академии наук. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://idg-comp.chph.ras.ru/~mikhnevo/> (дата обращения: 23.01.2023)
9. Рябова С.А., Спивак А.А. Исследование атмосферного прилива по данным регистрации барических вариаций на среднеширотной обсерватории «Михнево» // Ученые записки физического факультета Московского университета. – 2018. – № 4. – Р. 1840406–1–1840406–7.
10. Канасевич Э.Р. Анализ временных последовательностей в геофизике. М.: Недра. 1985. – 400 с.
11. Марпл С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. М.: Мир. 1990. – 584 с.
12. Уидроу Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов. М.: Радио и связь, 1989. – 440 с.
13. Dahlen F.A., Sailor R.V. Rotational and elliptical splitting of the free oscillations of the Earth // Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society. – 1979. – Vol. 58. – P. 609–623.
14. Gilbert F., Dziewonski A.M. An application of normal mode theory to the retrieval of structural parameters and source mechanism from seismic spectra // Philosophical Transactions of the Royal Society A. – 1975. – Vol. 278. – P. 187–269.
15. Мировой Центр Данных по солнечно-земной физике в Москве. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.wdcb.ru> (дата обращения: 23.01.2023)

**SINGLETS OF ${}_0S_2$ ACCORDING TO GEOMAGNETIC MONITORING
DATA AT THE MIKHNEVO OBSERVATORY DURING THE
EARTHQUAKE OFF THE COAST OF TONGA ON NOVEMBER 11,
2022**

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

Summary. On November 11, 2022 at 10:48 GMT, the earthquake with a magnitude of 7,3 struck off the coast of the island nation of Tonga in Polynesia occurred. This paper presents the results of an analysis of the spectra of variations in the magnetic field in the near-surface layer of the atmosphere, accompanying an earthquake, in a frequency range close to the frequency of the main spheroidal mode of the Earth ${}_0S_2$. The registration data of the magnetic induction components at the Mikhnevo Geophysical Observatory were used.

Key words: earthquake, geomagnetic variations, natural vibrations of the Earth, singlet, multiplet.

УДК 551.510.53+551.21

ВАРИАЦИИ f_0F2 НА СТАНЦИИ «РИМ» В ПЕРИОД АКТИВНОСТИ ВУЛКАНА СТРОМБОЛИ В НОЯБРЕ-ДЕКАБРЕ 2020 Г.

^{1,2}*Рябова Светлана Александровна, ¹Шалимов Сергей Львович*

¹*ИФЗ РАН, г. Москва*

²*ИДГ РАН, г. Москва*

^{1,2}*riabovasa@mail.ru, ¹pmsk7@mail.ru*

Аннотация. С использованием наземного вертикального зондирования ионосферы на станции «Рим» анализируется отклик критической частоты F2-слоя ионосферы на активность вулкана Стромболи (Италия). Рассматриваются периоды сильной вулканической активности с ноября по декабрь 2020 г. Показано, что активная стадия вулканического извержения сопровождалась возмущением f_0F2 , что связано с воздействием на ионосферу атмосферных акустико-гравитационных волн, генерируемых вулканической активностью, и обусловливающих возникновение в ионосфере долгоживущих возмущений.

Ключевые слова: вулканическое извержение, критическая частота, F2-слой, ионосфера, вариации.

Извержения вулканов сопровождаются многочисленными геофизическими эффектами, которые наиболее ярко проявляются на эксплозивной стадии вулканической активности [1, 2]. В частности, в ряде исследований ионосферный отклик на подобные события установлен на основе анализа измерений вариаций полного электронного содержания (ПЭС) посредством ГНСС, см. например [3, 4].

В настоящей работе проведен анализ поведения ионосферы в области максимума слоя F2 в период сильной активности вулкана Стромболи в ноябре – декабре 2020 г.

Действующий вулкан Стромболи расположен на одноименном маленьком вулканическом острове, в архипелаге Липарских островов, в Тирренском море, примерно в 75 км к северу от о. Сицилия. Географические координаты: 38.786° с.ш.; 15.218° в.д. Вулкан Стромболи состоит из более древнего и разрушенного андезитового конуса и современного базальтового усеченного конуса, кратер расположен на высоте свыше 700 км [5]. Вулкан периодически активен.

Нами были рассмотрены четыре крупных взрыва, список которых и характеристики представлены в таблице 1. Следует отметить, что период выполнения инструментальных наблюдений характеризовался достаточно спокойной магнитной обстановкой (табл. 2), что значительно упростило изучение ионосферного отклика на вулканическое извержение.

В качестве характеристики ионосферы в нашем исследовании использовались результаты определения критической частоты F2-слоя на основе анализа ионограмм, полученных в ходе высотно-частотного зондирования ионосферы на станции наземного зондирования ионосферы «Рим», расположенной на расстоянии от вулкана ~450 км. Координаты ионосферной станции: 41.9° С.Ш.; 12.5° В.Д. Зондирование на станции выполняется каждые 15 мин с помощью ионозонда DPS-4 [6].

Таблица 1

Список крупных эксплозий вулкана Стромболи. Дата, время и особенности событий взяты из бюллетеней Национального института геофизики и вулканологии Италии (INGV) [7]

Дата	Время, UTC	Основные характеристики	Номер еженедельного отчета INGV
10.11.2020	20:04:21 20:04:51	Последовательность эксплозий на юго-восточном склоне, за которой следовало несколько импульсов на юго-западном склоне и в центральной части	47/2020
16.11.2020	09:17:45	Образование плотного облака пепла в ходе эксплозий на юго-восточном и юго-западном склонах и в центральной части расширяющегося горизонтально, как роза. Пирокластический поток по Скьярадель-Фуоко раскинувшийся по поверхности моря на ~250 м. Выпадение пепла в Иль Пиццо.	47/2020, 48/2020
21.11.2020	00:33:17.	Последовательность трех эксплозивных событий на юго-западном склоне и центральной части	48/2020
06.12.2020	05:12:44	Два импульса. Выброс газопылевой массы до высоты 300 м, пепловый шлейф, Два пирокластических потока по Скьяра-дель-Фуоко.	50/2020

Таблица 2

Ар и Кр индексы магнитной активности в период извержений вулкана Стромболи в ноябре-декабре 2020 г.

Дата	ApMos	KpMos	ApBou	KpBou
10.11.2020	006	22221111	005	31221000
16.11.2020	010	23232322	010	33122212
21.11.2020	012	32233422	008	32132212
06.12.2020	007	11122321	005	20221202

Ионограммы и результаты их автоматической обработки программой Autoscala размещены на сайте итальянского Национального института геофизики и вулканологии [8].

Обработка и анализ данных наземного вертикального зондирования ионосферы на станции «Рим» показали, что во всех рассматриваемых случаях после эксплозий и приблизительно через 15–30 мин после них в ионосфере станцией зондирования регистрировались достаточно продолжительные по времени (порядка часа-четырех) волновые возмущения.

В качестве примера на рисунке 1 представлены результаты регистрации суточного хода критической частоты f_0F2 за 16.11.2020 г. на станции «Рим».

По данным анализа [7] сейсмических сигналов серия крупных эксплозий и оползневых явлений началась в 10:17 LT 16.11.2020 (9:17 UTC) и продолжалась четыре минуты. Событие началось с "пыхтения" в центре кратера, за которым последовало быстрое

распространение трещины середины вулкана к южно-восточному склону. Это вызвало наклонное движение вверх северо-восточного края конуса, при котором образовались две трещины на северо-восточном склоне и возникла декомпрессия самого верхнего канала. Это вызвало мощную эксплозию на южном склоне Стромболи. Взрывная активность вулкана привела к образованию плотного облака пепла, которое поднялось на 1 км, и в течение нескольких минут привело к выпадению пепла и лапилли в г. Стромболи, примерно в 2 км на северо-восточном побережье острова. Одновременно два пирокластических потока, формирующиеся вдоль Скьяра-дель-Фуоко, начали распространяться вниз по склону и к побережью. Поток достиг моря через 42 с и покрыл поверхность моря примерно в радиусе около 250 м.

Анализ данных, представленных на рисунке 1, показал следующее. Значительные вариации f_0F2 в Риме наблюдались в период с 9:30 по 13:45 UTC. С 9:30 по 10:00 значение f_0F2 снизилось с 6.45 до 5,15 МГц, затем увеличилось до 6.75 (10:30), далее снизилось до 5 МГц к 12:00 UTC, за снижением последовало увеличение до 7.25 МГц (12:45 UTC) с последующим снижением до 5.7 МГц (13:45 UTC).

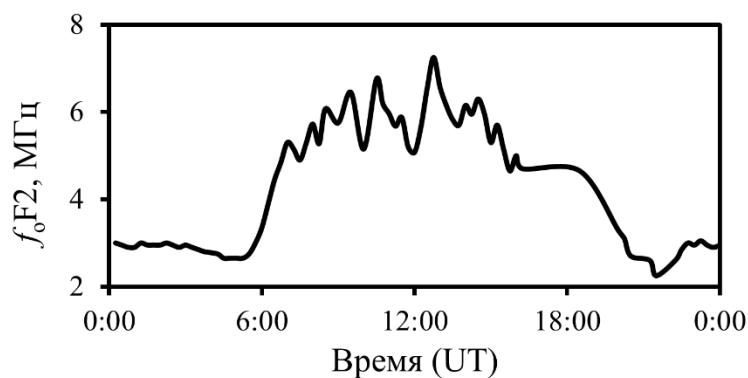


Рис. 1. Вариации критической частоты F2-слоя ионосферы f_0F2 за 16.11.2022 г. по данным станции «Рим»

Если принять во внимание данные мониторинга итальянского Национального института геофизики и вулканологии, то можно увидеть, что приблизительно через 15 мин после вулканической активности Стромболи ионозондом были зарегистрированы достаточно продолжительные по времени (порядка четырех часов) волновые возмущения. Время начала возмущения соответствует распространению акустического импульса до верхней ионосферы. Рост амплитуды возмущения приблизительно через 45 минут, вероятно, обусловлен приходом атмосферной внутренней волны на высоты F-слоя. Зарегистрированные периоды возмущений (порядка 30–40 мин) также соответствуют внутренним волнам.

Экспериментальные исследования выполнены в рамках государственного задания ИДГ РАН № 1220329000185-5 "Проявление процессов природного и техногенного происхождения в геофизических полях", интерпретация результатов выполнена в рамках государственного задания ИФЗ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Спивак А.А., Рыбнов Ю.С., Рябова С.А., Соловьев С.П., Харламов В.А. Акустический, магнитный и электрические эффекты извержения вулкана Стромболи (Италия) в июле-августе 2019 г. // Физика Земли. – 2020. – № 5. – С. 117–130.

2. Спивак А.А., Рябова С.А. Магнитный и электрические эффекты эксплозивной стадии извержения вулкана Stromboli (03.07.2019 г., Италия) // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2020. – Т. 493. – № 1. – С. 54–57.
3. Dautermann, T., Calais E, Mattioli G.S. Global Positioning System detection and energy estimation of the ionospheric wave caused by the 13 July 2003 explosion of the Soufriere Hills Volcano, Montserrat // Journal of Geophysical Research. – 2009. – Vol. 114. – No. B02202. – doi: 10.1029/2008JB005722.
4. Manta F., Occhipinti G., Hill E.M., Perttu A., Assink J., Taisne B. Correlation between GNSS-TEC and eruption magnitude supports the use of ionospheric sensing to complement volcanic hazard assessment. // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. – 2021. Vol. 126. – doi: 10.1029/2020JB020726.
5. Giordano G., De Astis G. The summer 2019 basaltic Vulcanian eruptions (paroxysms) of Stromboli // Bulletin of Volcanology. 2021. – Vol. 83. – doi: 10.1007/s00445-020-0143-2
6. Reinisch B. The digisonde portable sounder – DPS. Technical manual. University of Massachusetts Lowell Center for Atmospheric Research. 2007. Version 4.3. – 404 p. https://www.digisonde.com/pdf/Digisonde4DManual_LDI-web.pdf
7. Бюллетени Национального института геофизики и вулканологии Италии (INGV). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ct.ingv.it/index.php/monitoraggio-e-sorveglianza/prodotti-delmonitoraggio/bollettini-settimanali-multidisciplinari> (дата обращения: 28.01.2023)
8. Национальный институт геофизики и вулканологии Италии (INGV). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ct.ingv.it/> (дата обращения: 28.01.2023)

VARIATIONS OF f_0F2 AT ROME STATION DURING STROMBOLI VOLCANO ACTIVITY IN NOVEMBER-DECEMBER 2020

^{1,2}**Riabova Svetlana, Shalimov Sergey¹**

¹**IPE RAS, Moscow**

²**IDG RAS, Moscow**

^{1,2}**riabovasa@mail.ru, ¹pmsk7@mail.ru**

Summary. The response of the critical frequency of the F2-layer of the ionosphere to the activity of the volcano Stromboli (Italy) is analyzed. We use ground-based vertical sounding at the Rome ionospheric station. The periods of strong volcanic activity from November to December 2020 are considered. It is shown that the active stage of the volcanic eruption was accompanied by f_0F2 disturbance, which is associated with the influence on the ionosphere by atmospheric acoustic-gravity waves generated by volcanic activity and causing long-lived disturbances in the ionosphere.

Key words: volcanic eruption, critical frequency, F2-layer, ionosphere, variations.

УДК 550.34

ГЕОДИНАМИКА И СЕЙСМИЧНОСТЬ НА СЕЙСМИЧЕСКОМ ЛИНЕАМЕНТЕ ЭРЗРУМ-БОРЖОМИ-КАЗБЕК (ЭБК)

¹*Саакян Бабкен Вазгенович, ²Мкртчян Мери Артушовна,*

³*Геодакян Эдуард Григорьевич, ⁴Оганесян Севада Мкртичевич,*

⁵*Карапетян Джон Костикович*

ИГИС НАН РА, г.Гюмри, Республика Армения

¹*sahakyan_babken@mail.ru, ²mary-mary-86@mail.ru, ³geodakyan.e@mail.ru,*

⁴*iges@mail.ru, ⁵jon_iges@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются отражения пространственно-временных развитий сейсмичности за период (1896-2000 гг.) по крупному сейсмическому линеаменту Эрзрум-Боржоми-Казбек (ЭБК) в геодинамике орогенов Большого и Малого Кавказа, а также установление его связи с выявленными геодезическими и морфоструктурными данными современных движений этих орогенов. Показано, что выявленные по сейсмологическим данным периоды миграционных процессов и заключенные между ними временные интервалы перестройки и перераспределение сейсмодеформационных процессов, адекватно отображают выявленные по геодезическим данным кратковременные эпохи опускания и поднятия орогенов Малого и Большого Кавказа. Полученные результаты позволяют использовать сейсмологические данные для реконструкции современных движений, а также в исследованиях, направленных на решение проблемы долгосрочного прогноза землетрясения.

Ключевые слова: сейсмический линеамент, сейсмотектоническая деформация, пространственно-временной канал, геон, миграция, флюктуация.

Горные системы Большого и Малого Кавказа расположены в зоне коллизии Аравийской и Скифской литосферных макроплит и подвергаются воздействию сложных геодинамических процессов, происходящих в земной коре этого региона. Многочисленные исследования геотектонического строения данного региона указывают, что Аравийская плита, с относительной скоростью $v=25$ мм/год, по двум основным шовным зонам, представляющая собой крупные сейсмогенные линеаменты вклинивается в структуры Малого и Большого Кавказа. Аравийская плита подвергает раздвигающему воздействию Черноморскую и Анатолийскую мезоплиты на запад, Южно-Каспийскую и Иранскую мезоплиты на восток, а расположенные в передовой зоне Аравийской плиты Южно-Армянский и Закавказский блоки подвергаются воздействию близмеридионально направленных [2, 3, 10] сжимающих напряжений (рис. 1).

Анализы стереограмм механизмов очагов сильных землетрясений указывают на то, что в вершинах дуг наблюдаются движения взбросо-сдвигового типа, а соответственно западные и восточные фланги разломов представляют [3, 11] собой левосторонние и правосторонние сдвиги (рис. 1).

Детальные исследования современных тектонических движений по комплексу геодезических и геоморфологических данных исследуемой территории проведены Лилиенбергом и Ященко [9]. В связи с изучением процессов подготовки катастрофического Спитакского землетрясения они выявили ряд характерных особенностей проявления геодинамических процессов в Кавказском регионе. На основе данных многократных, циклических, высококлассных, региональных нивелировок с их стороны, было выявлено, что на фоне общей инверсии геодинамики в орогене Малого Кавказа наблюдаются

краткопериодные, 20-30 лет, вариации вертикальных тектонических движений, приуроченных к шовным зонам морфоструктурных блоков разного порядка. Аналогичный механизм и его взаимосвязь с вариациями сейсмичности наблюдается также для горной системы Большого Кавказа. Показано, что в пространственно-временном отношении современные вертикальные движения в этих крупных орогенах находятся как бы в противофазах. Эпоха активизации сжатия и поднятия Большого Кавказа соответствует эпохе растяжения и опускания Малого Кавказа и наоборот [1, 5, 9]. Этот важный геодинамический вывод авторы связывают с наличием одновременно действующих в регионе, сменяющихся во времени механизмов, сжимающих и растягивающих тектонических напряжения. Показано, что наиболее интенсивные современные вертикальные движения наблюдаются в орогене Малого Кавказа, где переход от эпохи опускания, в период с 1911/1929-го по 1940/1953-ый год, к эпохе поднятия, в период с 1940/1953-го по 1972/1974-ый год, происходит со скоростями 7-12 мм/год.

В настоящей работе нами была поставлена цель – выявить, как отражаются эти сложные геодинамические процессы в пространственно-временном распределении сильных землетрясений в этом крупном сейсмическом линеаменте. Для этой цели рассматривался пространственно-временные изменения сейсмичности по сейсмическому линеаменту Эрзрум-Боржоми-Казбек (ЭБК), представляющий собой северную шовную зону взаимодействия Аравийской и Скифской литосферных плит (рис.1).

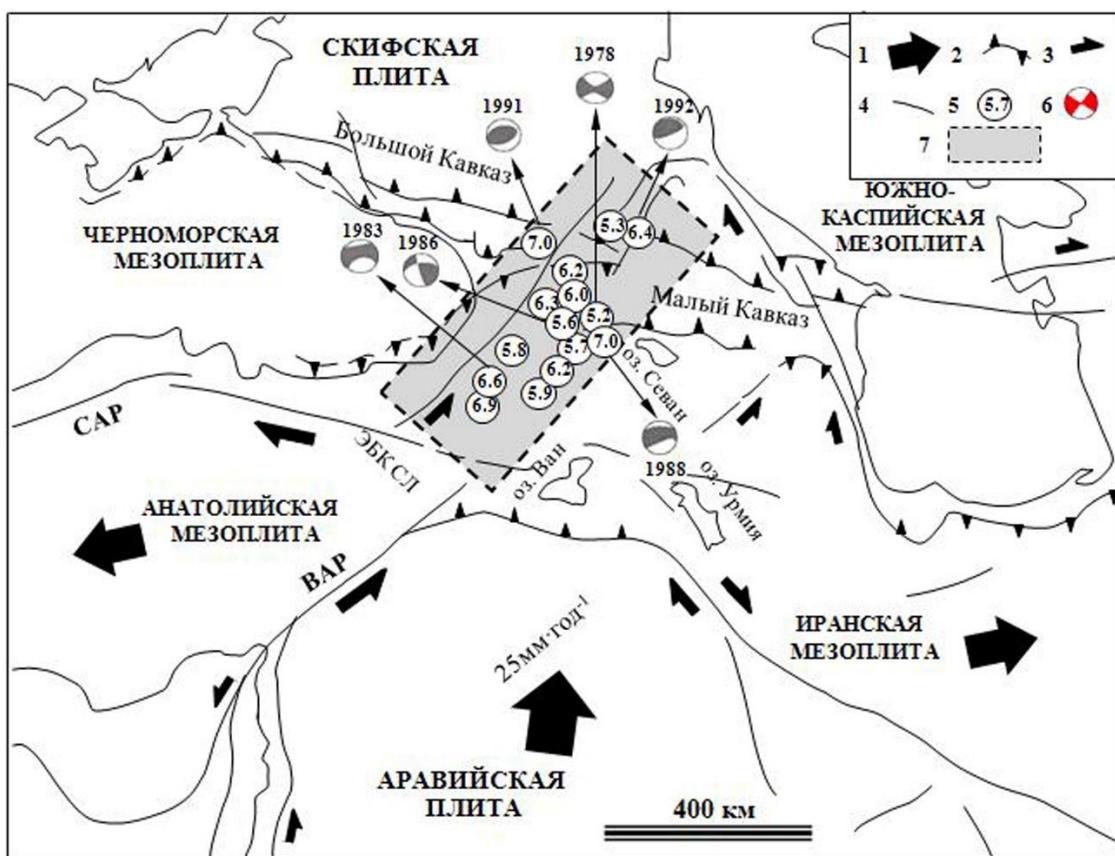


Рис. 1. Основные плитотектонические элементы Армении и сопредельных регионов: 1 – направления движений литосферных плит; 2 – взбросовые и сбросовые подвижки; 3 – сдвиговые подвижки; 4 – активные глубинные разломы: североанатолийский разлом (САР) и восточноанатолийский разлом (ВАР); 5 – эпицентры землетрясений с магнитудами $M>5$; 6 – стериограммы известных фокальных механизмов очагов землетрясений; 7 – зона динамического влияния сейсмического линеамента Эрзрум-Боржоми-Казбек.

Географически линеамент ЭБК простирается от крупного Эрзрумского сейсмотектонического узла по направлению северо-восток, последовательно пересекая ороген Малого Кавказа, Рионо-Курийскую депрессию с выходом на ороген Большого Кавказа к району горы Казбек [4, 8].

Для изучения взаимосвязи вышеизложенных сложных, геодинамических процессов в орогенах Большого и Малого Кавказа с сейсмичностью рассматривалось развитие сейсмических событий в зоне динамического влияния этого крупного сейсмического линеамента, охватывающий период циклических геодезических наблюдений в период с 1896-го по 2000-ый годы.

В качестве исходных данных были выбраны из мировых и региональных каталогов землетрясения с магнитудным уровнем M больше 5. С одной стороны такой уровень является нижним уровнем представительности сейсмичности для данного района, с другой стороны учитывает, что накопления тектонических напряжений и деформаций в очаговых зонах таких землетрясений обусловлены непрерывно протекающими в земной коре сложными региональными геодинамическими процессами.

Для детального исследования напряженно-деформационного состояния земной коры и флюктуационного поведения сейсмического процесса, мы использовали предложенную Уломовым геодинамическую модель миграционных процессов, передвигающихся в геологической среде, локализованных деформационных волн, так называемых геонов. Из теории физики твердого тела известно, что породы, которые находятся под воздействием региональных тектонических напряжений, невозможно перемещать по всей длине по энергетическим соображениям. Следовательно, в таких случаях, передача напряжений и деформаций в геологической среде выполняется по частям с помощью вышеприведенных геонов [8]. Для образного описания динамики сейсмических процессов, мы построили годограф зависимости расстояния эпицентров землетрясений от времени (рис. 2а), который представляет из себя пространственно-временной канал (ПВК) перемещения геонов.

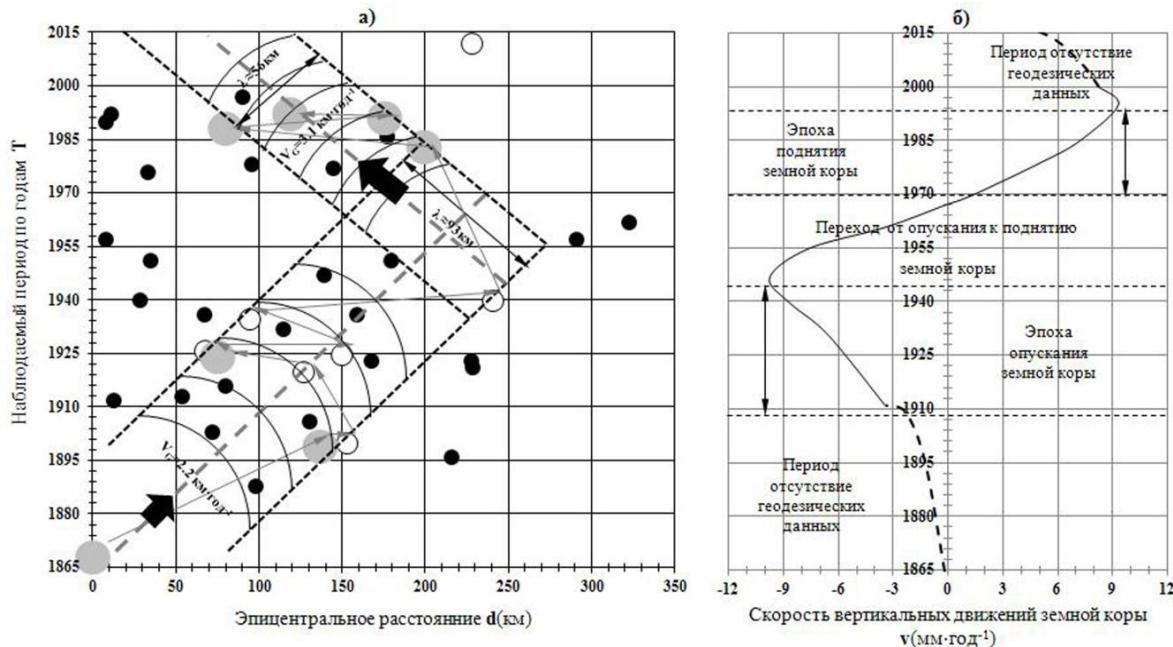


Рис. 2. Пространственно-временной канал (ПВК) перемещения геонов (а) и современные движения земной коры (б)

На графике пунктиром выделяется ПВК, а стрелка, изображенная темным цветом, показывает направление генерации и величину кинематической характеристики

движения деформированных геонов, где λ -ширина пространственно-временного канала, а VG-скорость геонов. Согласно графику, волновые фронты с шириной $\lambda=93$ км, пересекающие ПВК в период с 1896-1950 годах, в любой момент времени показывают скорость геонов $VG=2.2$ км/год, величина, которая сохранилась до конца относительного сейсмического затишья в 1970-ые годы. Флуктуационные явления одновременных сейсмических процессов в виде перестройки и перераспределения тектонических напряжений, начиная с 1970-го года, привели к резкому возрастанию скорости движения геонов до $VG=3.1$ км/год и к убыванию ширины $\lambda=56$ км ПВК.

Диссипация, а затем торможение локализованных деформационных волн 1896-го 1950го годов, по всей вероятности, связаны с большой шириной ПВК, а также с малой скоростью перемещения геонов и наличием Джавахетской буферной зоны. В указанном отрезке времени выделяются пространственно-временные гармонические фазы эпицентров землетрясений от очаговой зоны Эрзрума к Ахалкалакскому вулканическому нагорью и наоборот. Картина иная в 1970-ый 2000-ый годы, где волны, передающие напряжения и деформации, имеющие сравнительно малую амплитуду ПВК и большую скорость перемещения геонов, распространяясь дошли до Большого Кавказа.

Особо следует отметить, что накопления и разрядки сейсмотектонических деформаций на первом этапе миграционного процесса проявляются в локальном масштабе, охватывая в основном ороген Малого Кавказа.

Иная картина наблюдается во втором периоде миграционного явления, в котором процессы накопления и разрядки сейсмотектонических деформаций, протекающих на региональном уровне, охватывают весь сейсмический линеамент. Анализ временного хода сейсмичности на всем протяженности линеамента показывает, что начала обоих этапов миграционных явлений сейсмического процесса формируются в орогене Малого Кавказа проявление в виде Ахалкалакского, 1899 г. $M=6.3$, и Дманийского, 1978 г. $M=5.2$, землетрясений, а затем завершаются в орогене Большого Кавказа проявление в виде Гудамакарского, 1947 г. $M=5.2$, и Барисахского, 1992 г. $M=6.4$, землетрясений.

Исходя из этого, можно сделать вывод, что относительно малый по размеру и соответственно более раздробленный ороген Малого Кавказа чувствительно реагирует на сложные региональные глубинные геодинамические процессы, происходящие в этих орогенах.

Полученные сейсмологические данные позволяют провести их сопоставительный анализ с выявленным по геодезическими и морфоструктурными данными, сложными геодинамическими процессами, происходящими в орогене Большого и Малого Кавказа.

Для этой цели краткопериодные вариации вертикальных тектонических движений, выраженные интервалами эпох поднятий и опусканий, были сопоставлены с пространственно-временным ходом сейсмичности в виде графика пространственно-временного канала (ПВК) перемещения геонов (рис. 26). На графике ПВК четко выделяются корреляции этапов ПВК миграционных явлений с эпохами поднятия и опускания земной коры орогена Малого Кавказа. Первый этап миграционного явления с 1896-го по 1950-ый год совпадает с эпохой опускания с 1911/1929-го по 1940/1953-ий год в области орогена Малого Кавказа. Второй этап миграционного явления с 1970-го по 2000-ый год, наблюдаемый по всей длине сейсмического линеамента связан с эпохой одновременного поднятия орогена Малого Кавказа и опускания орогена Большого Кавказа. Выделенный на графике ПВК, временной период перераспределения и перестройки сейсмодеформационного процесса обусловлен явлением перехода от эпохи опускания к эпохе поднятия земной коры Малого Кавказа.

Анализы, приведенные в работах [7, 9] и количественные значения современных движений земной коры в исследуемых областях показывают, что эпохи опускания и поднятия происходят с разными скоростями. Эти данные были сопоставлены с

расчетными значениями скоростей геонов для этих эпох. Установлено, что эти два процесса происходят синхронно, однако в эпохе опускания, где $VG_1 \approx 2.2$ км/год, $v_1 = -7$ мм/год, как скорости современных движений, так и скорости деформационных частиц, меньше соответствующих значений эпохи поднятия, где $VG_2 \approx 3.1$ км/год, $v_2 = 12$ мм/год.

Обобщая результаты вышеприведенного сопоставительного анализа, мы приходим к заключению, что возникновение сильных землетрясений и их пространственно-временное развитие на сейсмическом линеаменте, несмотря на их дискретность, адекватно отображает выявленные по геодезическим и морфоструктурным данным эпохи опускания и поднятия современных движений в орогенах Большого и Малого Кавказа. Полученные, по сейсмологическим данным, миграционные процессы флюктуационных явлений и характерные особенности проявления современных движений на линеаменте ЭБК позволяют использовать их для реконструкции современных движений в периоды, когда отсутствуют геодезические и морфоструктурные данных, а также в исследованиях, направленных на решение проблемы долгосрочного прогноза землетрясения на этом важном региональном сейсмическом линеаменте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балян С.П., Лилиенберг Д.А., Милановский Е.Е. Новейшая и современная тектоника сейсмоактивных орогенов Армении и района Спитакского землетрясения // Геоморфология №4, 1989г. – С. 3-15.
2. Габриелян А.А., Саркисян О.А., Симонян Г.П. Сейсмотектоника Армянской ССР. Изд-во Ереванского университета. 1984г. – 284 с.
3. Габриелян Г.А., Клешев К.А., Шеин В.С. Возможные нефтегазоносные бассейны Армении и их углеводородных потенциал: Геология нефти и газа №1, 2002г. С. 21-30.
4. Геодакян Э.Г., Саакян Б.В. Сейсмогеодинамические процессы на территории Северной Армении // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы девятой международной сейсмологической школы Республика Армения, 8-12 сентября 2014 г. Обнинск, 2014. – С. 122-126.
5. Горшков А.И., Жидков М.П., Ранzman Е.Я., Тумаркин А.Г. Морфоструктура Малого Кавказа и места возможных землетрясений ($M \geq 5.5$) // Физика Земли №6, 1991г. – С. 30-36.
6. Оганесян С. М., Геодакян Э.Г., Карапетян Дж.К., Саакян Б.В., Мурадян А.Р., Оганесян А.С. Трехсторонний квазистатический изгиб прямоугольного параллелепипеда, как модель подготовки очага тектонического землетрясения // Труды VIII Международной конференции. Проблемы динамики взаимодействия деформируемых сред, сентябрь 22-26, 2014г, Горис-Степанакерт, Ереван 2014. – С. 330-334.
7. Саакян Б.В., Мурадян А.Р., Оганесян А.Л. Глубинное строение и напряженно-деформационное состояние земной коры Северной Армении. IV Всероссийская молодежная геологическая конференция “Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий”. 19-23 сентября 2016 г. Республика Башкортостан, Уфа. – С. 313-319.
8. Уломов В.И., Данилова Т.А., Медведева Н.С., Полякова Т.П. О сейсмогеодинамике линеаментных структур горного обрамления Скифско-Туранской плиты. // Физика Земли, 2006, №7.
9. Ященко В.Р., Ямбаев Х.К. Геодезический мониторинг движений земной коры (по материалам Кавказского региона) - М.: Изд-во МИИГАиК, 2007, – 208 с.
10. Cisternas A., Philip H. Seismotectonics of the Mediterranean region and the Caucasus. Historical and Prehistorical Earthquakes in the Caucasus// NATO ASI Series. Yerevan, Armenia July 11-15, 1996. P. 313-333.

11. Jackson J.A., Ambraseys N.N. Convergence between Eurasia and Arabia in Eastern Turkey and the Caucasus. Historical and Prehistorical Earthquakes in the Caucasus // NATO ASI Series. Yerevan, Armenia. July 11-15, 1996. P. 79-91

GEODYNAMICS AND SEISMICITY ON THE ERZRUM-BORJOMI-KAZBEK SEISMIC LINEAMENT (EBK)

*¹Sahakyan Babken Vazgen, ²Mkrtyan Mary Artush, ³Geodakyan Eduard Grigor,
⁴Hovhannisyan Sevada Mkrtich, ⁵Karapetyan Jhon Kostik*

IGES, NAS RA, Gyumri, Armenia

*¹sahakyan_babken@mail.ru, ²mary-mary-86@mail.ru, ³geodakyan.e@mail.ru,
⁴iges@mail.ru, ⁵jon_iges@mail.ru*

Abstract. The paper considers reflections of spatio-temporal developments of seismicity for the period (1896-2000) along the large seismic lineament Erzrum-Borjomi-Kazbek (EBK) in the geodynamics of orogens of the Greater and Lesser Caucasus, as well as establishing its connection with the identified geodetic and morphostructural data recent movements of these orogens. It is shown that the periods of migration processes identified from seismological data and the time intervals of restructuring and redistribution of seismic-deformation processes between them adequately reflect the short-term epochs of subsidence and uplift of the Lesser and Greater Caucasus orogens identified from geodetic data. The results obtained make it possible to use seismological data for the reconstruction of modern movements, as well as in studies aimed at solving the problem of long-term earthquake prediction.

Key words: seismic lineament, seismotectonic deformation, space-time channel, geon, migration, fluctuation.

УДК 550.8

НАХОЖДЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КЕРН-ГИС ДЛЯ ЗАВОЛЖСКОГО ГОРИЗОНТА ОДНОГО ИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

*Сабитов Эмиль Артурович
ФГАОУ ВО КФУ ИГиНГТ, г. Казань
emilsabitovkzn@gmail.com*

Аннотация. В работе рассмотрены отложения заволжского горизонта Безымянного месторождения Республики Татарстан, построена зависимость $K_{\text{пкерн}} - \phi_{\text{керн}}$, $K_{\text{пкерн}} - \Delta T_{\text{ркерн}}$, рассчитаны регрессионные уравнения для зависимостей. Использованы коэффициенты из регрессионного уравнения для расчёта $\phi_{\text{п}}$ по ГГК-П и АК каротажу, проведен анализ полученных данных и написан вывод.

Ключевые слова: ГИС, керн, каротаж, ГК, радиоактивность, пористость, плотность.

Введение.

В данной работе рассматривается отложения заволжского горизонта одного из месторождений юго-востока Республики Татарстан. Целью данной работы является сопоставление данных каротажа и данных исследований керна на примере Безымянного месторождения Республики Татарстан. Объектом исследования является заволжский горизонт Безымянного месторождения Республики Татарстан. В процессе работы проводились исследования кернового материала, обработка и интерпретация геолого-геофизических материалов, сопоставление полученных данных.

Увязка данных гамма-спектрометрии керна с материалами ГИС.

С целью уточнения глубины отобранного кернового материала проведена гамма-спектрометрия отобранного керна. В результате получены данные по суммарному гамма-излучению. В дальнейшем выполнена увязка с данными ГИС. Эта процедура позволяет проверить правильность укладки керна и определить место истинного положения интервала, в случае его неверного размещения в деревянные ящики на буровой. [6]

Исследования естественной радиоактивности полноразмерного керна проводились при помощи прибора спектрометра-радиометра гамма-излучения «Кратор» производства ООО «ЭкогеоСПром» (Тверь, Россия).

Для увязки керна по глубине с результатами ГИС использовались кривые суммарной радиоактивности. Процедура проводилась в программном пакете «ПРАЙМ». На планшеты были загружены кривая гамма-каротажа, проведенного на скважине после бурения, и кривая суммарной радиоактивности полноразмерного керна, полученная в лаборатории.

Петрофизическое обеспечение интерпретации данных ГИС.

Для точной интерпретации комплекса ГИС необходимы петрофизические зависимости по керновому материалу. [2] В данной работе рассчитаны две зависимости для данных, полученных на стандартных образцах керна при атмосферных условиях. Зависимость коэффициент открытой пористости (керн) – объемная плотность (керн), зависимость коэффициент открытой пористости (керн) – интервальное время продольной волны на стандартном образце. [1]

Зависимость пористость – пористость. По результатам сопоставления величины объемной плотности породы и коэффициента открытой пористости (рис. 1) было установлено значение плотности скелета известняков Заволжского горизонта ($\delta_{\text{ск}}$), равное

2,7057 г/см³. Зависимость представлена на рисунке 1. Аппроксимирующая зависимость имеет общий вид (1), где δ_p – объемная плотность породы, г/см³, а K_{π} – коэффициент открытой пористости, %.

$$\delta_p = 2.7057 - 0.0285 \times K_{\pi} \quad (1)$$

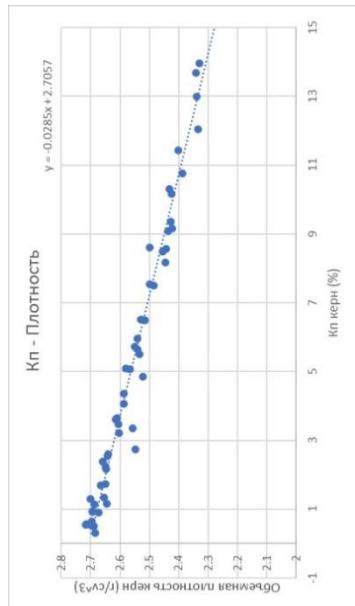


Рис. 1. Сопоставления величины объемной плотности породы и коэффициента открытой пористости

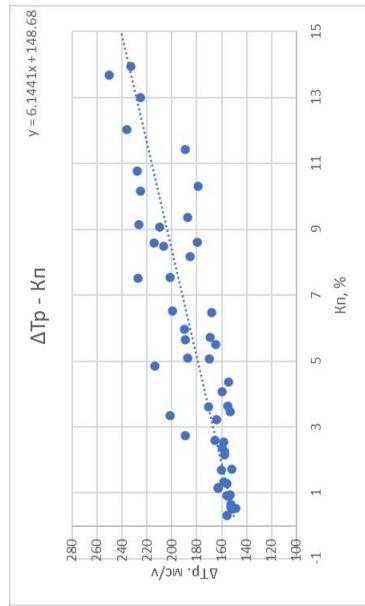


Рис. 2. Сопоставления интервального времени продольной волны и коэффициента открытой пористости

Зависимость пористость – интервальное время. По результатам сопоставления интервального времени продольной волны и коэффициента открытой пористости (рис. 2) величина интервального времени пробега продольной волны в скелете известняков Верейского горизонта ($\Delta T_{ск}$) равна 148,68 мкс/м. Зависимость представлена на рисунке 2.

Аппроксимирующая зависимость имеет вид (2), где ΔT_p – интервальное время пробега продольной волны, мкс/м.

$$\Delta T_p = 148.68 + 6.1441 \times K_{\pi} \quad (2)$$

Интерпретация данных

При написании данной работы была проведена качественная и количественная интерпретация данных ГИС на Безымянном месторождении в отложениях заволжского горизонта по данным скважины №1. Для интерпретации использовалась интегрированная система сбора, обработки и хранения данных ГИС «ПРАЙМ».

Качественная интерпретация представлена в виде схемы сопоставления данных интегральной составляющей гамма-спектрометрии по керну и гамма-каротажа. Количественная интерпретация представляет собой определение коэффициентов пористости. Коэффициент пористости рассчитан по комплексу ГИС: АК, ГГК-П.

Для убеждения в достоверности рассчитанных параметров пластов-коллекторов по ГИС используют сопоставление «керн-ГИС» [4]. Обычно сопоставление K_{π} керн-К_пГИС строится по пластопересечениям, характеризуемым следующими признаками: 1) толщина пласта не менее 1,5 м; 2) вынос керна из исследуемых пластов не менее 80%; 3) плотность анализов не менее 3-5 на 1 м вынесенного керна. При этом керновые данные усредняются в пределах однородного по стандартному комплексу ГИС пласта [5].

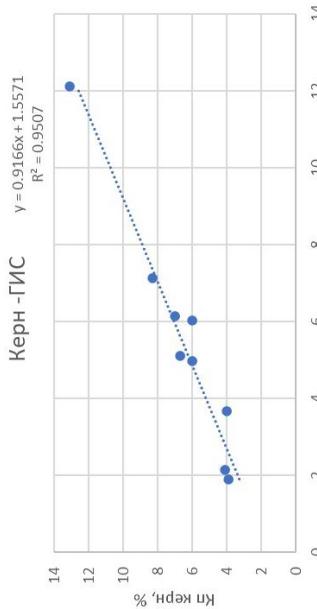


Рис. 3. Сопоставление Кпкерн–КпГГК-П

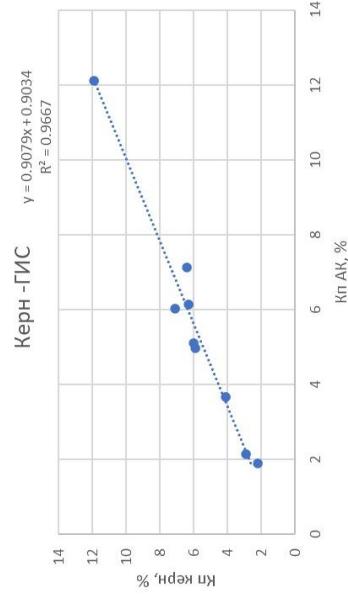


Рис. 4. Сопоставление Кпкерн–КпАК

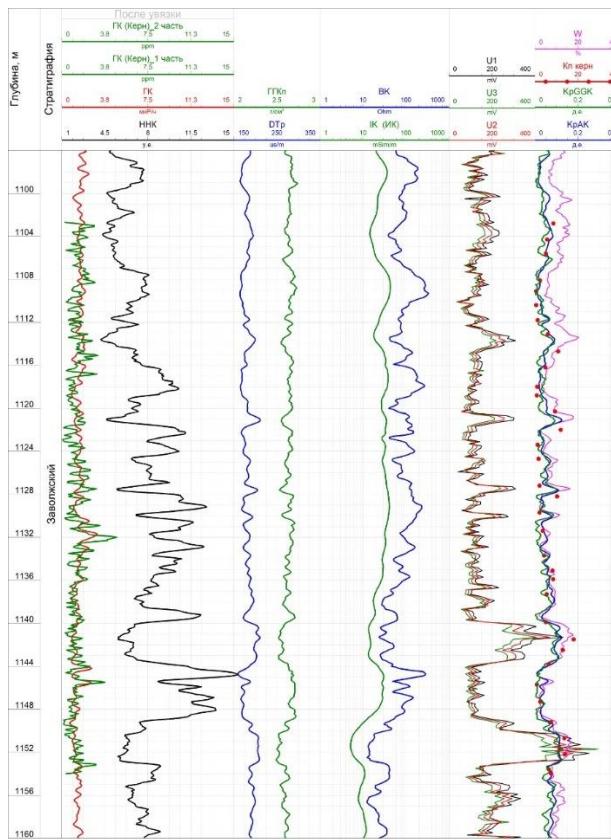


Рис. 5. Геофизический планшет скважины №1

К сожалению, вышеупомянутые требования выполняются для незначительного количества пластопересечений. Невыполнение требований, главным образом, связано с малыми толщинами проницаемых пропластков, а также с недостаточной плотностью анализов, которой зачастую приходилось пренебрегать.

Результаты зависимостей Кпкерн–КпГИС, где КпГИС – рассчитана по двум методам (АК, ГГК-П), представлены на рисунках 3 и 4. где видна достаточно хорошая корреляция пористости по керну и по ГИС.

На рисунке 5 представлен планшет с комплексом ГИС, а также результатом интерпретации.

Заключение.

В ходе написания данной работы была произведена качественная и количественная интерпретация материалов геофизических исследований скважин и кернового материала. Качественная интерпретация заключалась в получении результата по увязке данных керн – ГИС, что в дальнейшем позволило с большей уверенностью использовать результаты лабораторных исследований кернового материала для оценки эффективности методов ГИС. Количественная интерпретация заключалась в расчете коэффициентов пористости и глинистости.

Стоит отметить необходимость полноценного отбора образцов из керна для петрофизического обеспечения интерпретации данных ГИС. Недостаточное количество данных лабораторных исследований может затруднить получение петрофизических зависимостей. А для точного позиционирования стандартных петрофизических исследований следует выполнять процедуру измерения естественной радиоактивности полноразмерного керна, с последующей его увязкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Латышова М.Г., Мартынов В.Г., Соколова Т.Ф. Практическое руководство по интерпретации данных ГИС. // М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2007.
2. Стандарт организации «ТАТНЕФТЬ» — Интерпретация ГИС алгоритмы определения параметров продуктивных пластов нефтяных месторождений Республики Татарстан, // Альметьевск, 2013 г.
3. Геофизические исследования скважин: Учеб. пособие / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2004. – 122 с.
4. Стрельченко В.В. Геофизические исследования скважин. Учебник для вузов. – М.: Недра. – 2009. – 551 с.
5. Методические рекомендации по подсчету геологических запасов нефти и газаобъемным методом. Под редакцией В.И. Петерсилье, В.И. Пороскуна, Г.Г. Яценко. – Москва-Тверь: ВНИГНИ, НПЦ «Тверьгеофизика», 2003.
6. РД 39-0147716-505-85. Руководящий документ порядок отбора, привязки, хранения, движения и комплексного исследования керна и грунтов нефтегазовых скважин.

FINDING THE KERN-GIS DEPENDENCE FOR THE ZAVOLZHSKY HORIZON OF ONE OF THE DEPOSITS OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

*Emil Arturovich Sabitov
FSAEI HE KFU IoGaPT, Kazan
emilsabitovkzn@gmail.com*

Summary. In this research work considers the deposits of the Zavolzhsky horizon of the Bezymyanny field of the Republic of Tatarstan. A dependency was found between φ_p core - σ core, φ_p core - ΔT pcore. A regression equation was found for these dependencies. The coefficients from the regression equation were used to calculate φ_p according to GGK-P and AK logging, the analysis of the obtained data was carried out and a conclusion was drawn.

Keywords: well logging, core, gr, radioactivity, porosity, density.

УДК 622.248.9

NEOTRON – ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ПРИБОР НЕЙТРОННОГО КАРТАЖА С АППАРАТУРОЙ ДЛЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ И ОСТАНОВКИ РЕАКЦИИ СИНТЕЗА

¹*Сайдов Саиджон Сухробович*, ²*Оvezov Батыр Аннамухамедович*,

³*Щербакова Ксения Олеговна*

МГРИ, Москва

¹*saidgoh03@gmail.com*, ²*ovezovba@mri.ru*, ³*sherbakovak@mri.ru*

Аннотация. NeoTron – нейтронный каротаж для облучения, скважины и пород нейтронами от стационарного ампульного источника и измерении плотности потоков тепловых нейтронов, образующихся в результате ядерных реакций рассеяния и захвата нейтронов. Основная проблематика исследования скважины – разнообразные поломки. Трубы могут подвергаться смятию, разрывам, обрывам или поломкам вследствие скручивания. Буровые долота могут разбиваться, замковые соединения могут отвинчиваться от колонны труб и сами трубы могут часто застревать в скважине. Необходимо разобраться с аналогичными разработками и методиками посредством сравнительного анализа, изучить принцип работы, определить преимущества, разработать усовершенствованную технологию.

Ключевые слова: каротаж, нейтрон, бурение, прихват, гамма-излучение, альфа-частица, извлекаемый источник.

Сегодня во всем мире передовые нефтегазовые компании активно используют технологии каротажа в процессе бурения как для разведки новых, так и для оптимальной разработки уже эксплуатируемых месторождений.

С совершенствованием технологии в последние десятилетия LWD (LoggingWhileDrilling – каротаж в процессе бурения) в настоящее время широко используется для бурения (включая геонавигацию) и оценки пласта (особенно для скважин в реальном времени и с большим углом наклона) (рис. 1) [8].

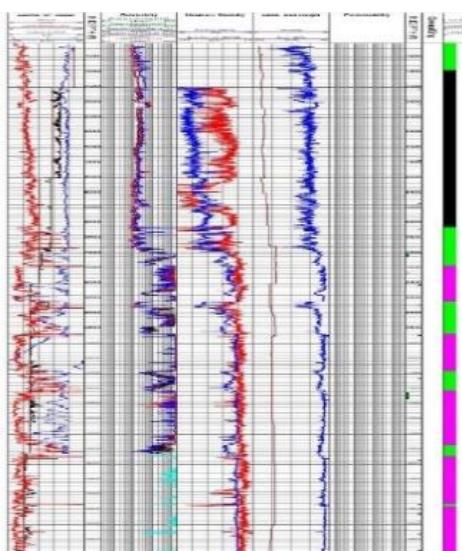


Рис.1. Модуль нейтрон-нейтронного каротажа

LWD системы служат для обеспечения проводки скважины по проектной траектории, осуществляя контроль искривления, литологии, насыщения и оперативного управления бурением. LWD системы, кроме измерения инклинометрических и технологических параметров, дополнены аппаратурой для измерения свойств разбуриваемых пород. Информация о траектории ствола и свойствах разбуриваемых горных пород, получаемая в режиме реального времени, позволяет более точно направлять ствол скважины относительно интересующих коллекторов и зон различной насыщенности.

Модификации радиоактивного каротажа применяются с импульсными источниками нейтронов (импульсный нейtron-нейtronный каротаж, импульсный нейtronный гамма-каротаж) и гамма-излучения (импульсный гамма-гамма-каротаж).

Возникновение какого-либо вида осложнений или аварий зависит от многих причин, главным образом, от соответствия технологии бурения геологическим условиям, а также от исправности бурового оборудования. Прихват бурильной колонны – это непредвиденная потеря подвижности колонны труб вследствие: прилипания под действием перепада давления; заклинивания в желобах, в местах сужений; в результате обвала, осыпания горных пород со стенок скважины или оседания шлама за счет нарушения режима промывки, а также из-за образования сальника на бурильной колонне (рис. 2).

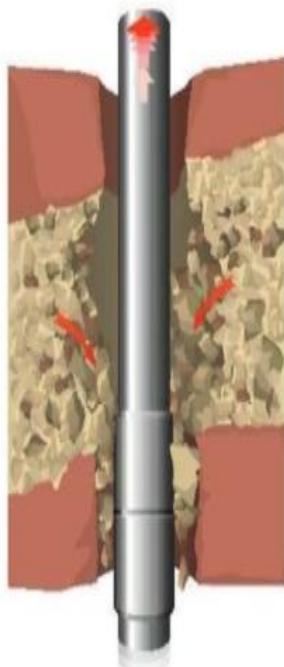


Рис. 2. Изображение прихвата бурильного инструмента

Любой прихват сопровождается затяжками бурильной колонны. Затяжка бурильной колонны – это кратковременная потеря подвижности бурильной колонны, которая сопровождается периодичным увеличением веса на крюке. В следствие чего происходит застревание труб при проведении геофизических исследований скважин, что несет за собой прихваты и оставление в скважине каротажного кабеля, приборов, грузов, шаблонов, торпед и других устройств. Этот тип – самый распространенный вид аварии во время ГИС [7].

Буровые компании на постоянной основе несут огромные убытки по причине прихвата бурильного инструмента:

- Траты времени на его ликвидацию;

- Потеря части бурильной колонны;
- Необходимость бурения бокового в обход, оставленного в скважине;
- Потеря скважины [4].

Нейтрон-нейтронный каротаж основан на облучении скважины и пород нейтронами от стационарного ампульного источника и измерении плотности потоков тепловых нейтронов, образующихся в результате ядерных реакций рассеяния и захвата нейтронов [3].

NeoTron разрабатывается специально для совместной работы с аппаратурой импульсного нейтронного каротажа, в его конструкции предусмотрено извлечение источника гамма-излучения в случае аварийной ситуации.

Источник в данной конструкции исследует и передает информацию об уровне пористости пласта, после процесса бурения гидравлическими забойными двигателями и передачи информации материнской телесистеме, с применением контролируемого радиоактивного излучения.

Наличие радиоактивных химических источников случае аварии создает опаснейшую ситуацию – радиоактивное захоронение [5, 9].

В нейтронном каротаже есть три процесса, представляющие интерес: эмиссия нейтронов, рассеяние нейтронов и поглощение нейтронов (рис. 3). Эффективность поглощения нейтронов варьируется от элемента к элементу. Единственными элементами, которые проявляют значительное поглощение нейтронов и существуют в разумных количествах в горных породах, являются водород и хлор. В нейтронном каротаже детекторы измеряют эпiterмальные нейтроны, некоторые тепловые нейтроны и некоторые гамма-лучи, испускаемые при поглощении нейтрона.

Чем меньше тепловых нейтронов возвращается в детектор, тем большее количество водорода находится в горной породе. Чем выше водородный индекс, тем выше пористость.

Цель разработки NeoTron — это постоянный контроль над процессом излучения нейтронов. Вылетевшая из америция альфа-частица попадает в бериллий, и он превращается в радиоактивный углерод, который избавляется от лишнего нейтрона [1, 2].

Реакция синтеза углерода и нейтронов: $\text{Am}^{241}\text{Be} \rightarrow \text{Np}^{237} + \text{He}^4$; $\text{He}^4 + \text{Be}^9 \rightarrow \text{C}^{12} + \text{n}$.

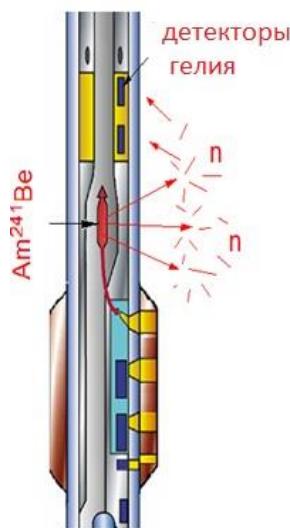


Рис. 3. Химическая реакция во время исследования пласта

Таким образом на каждый миллион альфа-частиц, вылетевших из америция, получается всего 30 нейтронов. Свободные нейтроны не возникают естественным путем.

Они образуются при бомбардировке атомов бериллия альфа-частицами из распадающегося америция.

NeoTron будет производить в 10 раз больше нейтронов при втрое большей энергии химического источника.

Основные технические характеристики:

- Герметичный корпус высокого давления содержит 55 ГБК трития;
- Под давлением газа SF₆ (фторид серы (VI)) для предотвращения образования высоковольтной дуги;
- Генерирует ~ 108 нейтронов при ~ 14 МэВ [7] (рис. 4).

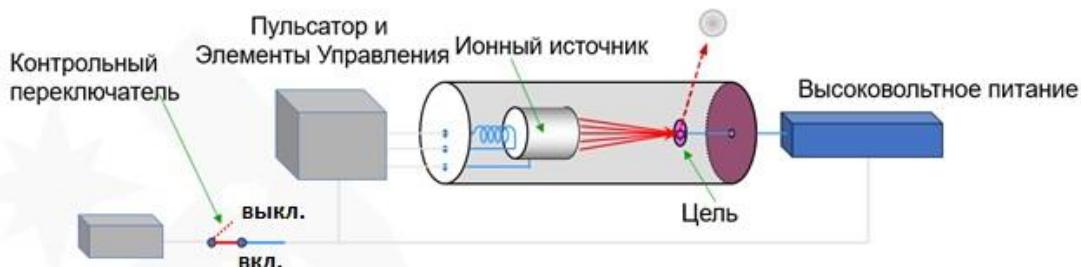


Рис. 4. Схематичное изображение комплекса NeoTron

Данное устройство позволяет минимизировать негативное воздействие на экологическую обстановку. Основные преимущества NeoTron – радиационная безопасность, высокое качество материала, отсутствие химического источника нейтронов, наличие импульсного режима работы нейтронного генератора, извлекаемый источник гамма-квантов.

На российском рынке не представлено ни одного вида прибора, имеющего функцию отключения питания, ведь при потере радиоактивного элемента конструкции радиоактивное загрязнение будет катастрофическим и отравлять окружающую среду на протяжении 500-600 лет. Данная разработка прибора избавит компании по бурению от штрафов и административной ответственности. К тому же, с финансовой точки зрения, механизм не является сложным, но значительно облегчит эксплуатацию.

Нынешняя разработка позволит избежать опасных ситуаций при использовании источника ядерной реакции и при его утрате в скважине [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Внедрение наддолотного модуля. Мефодьева А.В., Машкова А.М., Соловьев Н.В., Щербакова К.О., Оvezov B.A. В книге: Молодые - Наукам о Земле. Тезисы докладов X Международной научной конференции молодых ученых. В 7-ми томах. Редколлегия: Ю.П. Панов, Р.Н. Мустаев. Москва, 2022. – С. 264-266
2. Золоева Г.М., Петров Л.П., Хохлова М.С. Интерпретация результатов геофизических исследований скважин. Учебное пособие. Макс-Пресс, 2009.
3. Календарова, Л. Р. Новый вид канала передачи данных в телеметрии / Л. Р. Календарова, Б. А. Оvezов // Молодые - Наукам о Земле: Материалы IX Международной научной конференции молодых ученых. В 7-ми томах, Москва, 23 октября 2020 года / Редколлегия: В.А. Косьянов, В.Ю. Керимов, В.В. Куликов. Том 4. – Москва: Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, 2020. – С. 157-160. – EDN: JNWHVK.
4. Машкин К.А., Рыскаль О.Е., Коротченко А.Г., Гайнэтдинов Р.Г., Глухов В.Л., Огнев А.Н., Шабиев И.Х. Расширение области применения ядерно-геофизических методов в сложных геолого-технических условиях // Каротажник. 2012. № 4. – С. 19-28.

5. Троценко Ю. Импульсный нейтрон-нейтронный каротаж. Основы, устройство, методы обработки, сравнение результатов, практическое применение, 2010.
6. Под ред. Черепанова В.В. Развитие технологии многозондового нейтронного каротажа для исследования газонасыщенности в обсаженных скважинах. Методология и практика применения / М.-Тверь: «ПолиПРЕСС», 2018. – 238 с.
7. Черепанов В.В., Ахмедсафин С.К., Кирсанов С.А., Егурцов С.А., Иванов Ю.В., Лысенков А.И., Меркулов А.В. Применение технологий нейтронного каротажа скважин при разработке нефтегазоконденсатных месторождений. Состояние и перспективы развития // Газовая промышленность. 2019. №S1 (782).
8. Ovezov, B. A. iMAG / B. A. Ovezov, N. V. Solovev, A. M. Mashkova // Topical issues of rational use of natural resources: Scientific conference abstracts, St Petersburg, 17–19 июня 2020 года. – St Petersburg: Санкт-Петербургский горный университет, 2020. – Р. 94-96.
9. Анализ существующей проблемы с вибрациями в телеметрических системах и модернизация алгоритмов работы / Б. А. Оvezов, К. О. Щербакова, Л. Р. Календарова, Д. А. Кузнецова // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2023. – № 1(361). – С. 20-25. – DOI 10.33285/0130-3872-2023-1(361)-20-25. – EDN SXDZRG.

NEOTRON - NEUTRON LOGGING GEOPHYSICAL INSTRUMENT FOR EXCITATION AND STOP OF THE SYNTHESIS REACTION

¹*Saidov Saidjon Sukhrobovich*, ²*Ovezov Batyr Annamuhamedovich*,

³*Shcherbakova Kseniia Olegovna*

MGRI, Moscow

¹*saidgoh03@gmail.com*, ²*ovezovba@mgri.ru*, ³*sherbakovak@mgri.ru*

Annotation. NeoTron - neutron logging for irradiating boreholes and rocks with neutrons from a stationary ampoule source and measuring the density of thermal neutron fluxes resulting from nuclear reactions of neutron scattering and capture. The main problem of well exploration is a variety of breakdowns. Pipes can be crushed, torn, broken or broken due to twisting. Drill bits can break, tool joints can unscrew from the pipe string, and the pipes themselves can often become stuck in the well. It is necessary to deal with similar developments and techniques through comparative analysis, study the principle of operation, determine the advantages, develop an improved technology.

Key words: logging, neutron, drilling, sticking, gamma radiation, alpha particle, recoverable source.

УДК 537.67

ПАЛЕОМАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОРОД ЛОХКОВСКОГО ЯРУСА О. ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН В СВЕТЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЕВОНА

¹Сальная Наталья Викторовна, ^{1,2}Иосифиди Александр Георгиевич

¹ГИН РАН, г. Москва

²СПбФ ИЗМИРАН, г. Санкт-Петербург

¹natasavi@inbox.ru, ^{1,2}iosag@mail.ru

Аннотация. Девонский период был и остается проблемным периодом для палеомагнетизма. В настоящее время имеется недостаточное количество палеомагнитных данных как для магматических, так и для осадочных пород. Однако, данные по магматическим породам свидетельствуют о возможном аномальном поведении магнитного поля в девонское время. Нашей целью является получение новых палеомагнитных данных на основе изучения девонских осадочных пород на Восточно-Европейской платформе и ее обрамлениям. В данной работе мы приводим результаты магнитостратиграфических исследований разреза лохковского яруса нижнего девона о. Шпицберген.

Ключевые слова: палеомагнетизм, девон, лохковский ярус, Шпицберген.

Актуальным вопросом палеомагнетизма палеозоя остается проблема девонского поля. Имеющиеся на настоящий момент данные носят весьма противоречивый характер, а получение надежных палеомагнитных данных осложняется широко распространённым перемагничиванием горных пород девонского возраста. К настоящему времени большинство качественных определений для девонского времени получено на основе исследований магматических пород [1–4]. Результаты этих работ свидетельствуют о сложной конфигурации магнитного поля (м. п.) девона, что, в совокупности с низкой палеонапряженностью поля [5,6] может указывать на его мультипольность. Это, в свою очередь, ставит под сомнение и палеотектонические реконструкции и шкалы магнитной полярности для девонского времени, поскольку в их основе лежит гипотеза центрального осевого диполя.

Реконструкция поля девонского времени по магматическим породам все же не позволяет, несмотря на комплексность и современный научно-методический уровень работ, восстанавливать непрерывную палеомагнитную запись. Поэтому для утверждения гипотезы мультипольности геомагнитного поля девона необходимо найти и изучить объекты не только магматических, но и осадочных пород. Исследование осадочных пород девона затруднено вследствие слабой намагниченности и перемагничивания пород. Поэтому, несмотря на усилия коллег [7–13] качественных палеомагнитных исследований по осадочным породам все еще недостаточно, однако они не подтверждают предположение о мультипольном состоянии м.п. девона, сделанное на основе палеомагнитных исследований магматических пород.

Поэтому для ответа на вопрос о конфигурации геомагнитного поля девона необходимо наращивание базы палеомагнитных определений по девону, в частности, по Восточно-Европейской платформе и ее обрамлениям. Одними из самых перспективных объектов для подобных исследований выступают разрезы горных пород девонского возраста о. Шпицберген, мощность которых составляет порядка 8 км.

Мы представляем результаты исследований коллекции образцов, отобранных из свиты Френкельрюгген (D1, серия Ред-Бей) в 80-х годах прошлого столетия. Апробированный разрез мощностью 200 метров (50 стратиграфических уровней) сложен коричнево-красными, зеленовато-серыми разнозернистыми, часто косослоистыми песчаниками и алевролитами. Компонентный анализ естественной остаточной намагниченности позволил установить характеристические компоненты прямой и обратной полярности. Компонента A, выделяется в интервале 250–550°C с близкими к современным направлениям м.п., и связана, вероятно, с вязким намагничиванием горных пород в кайнозойское время. Высокотемпературная биполярная компонента D1, выделяется в интервале температур 610–695°C и 400–510–650°C, имеет северо-восточные и юго-западные направления с низкими наклонениями в стратиграфической системе координат. Тест складки для компоненты A неопределенный, а для D1 – положительный [14]. Тест обращения полярности [15] для компоненты D1 положителен, класс С, ($\gamma/\gamma_{kp} = 11^{\circ}/14^{\circ}$).

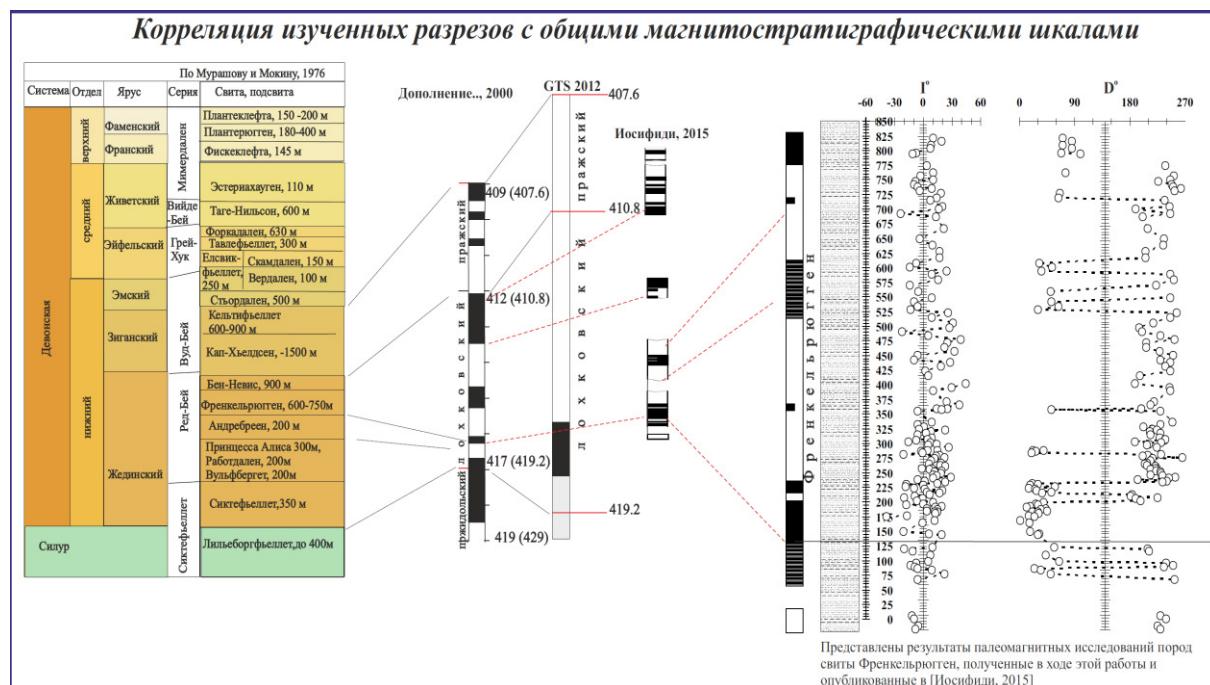


Рис. 1. Магнитостратиграфическая схема свиты Френкельрюгген, построенная на основе данных из [11] и данной работы с общими магнитостратиграфическими шкалами [16, 17]

Результаты палеомагнитных исследований свидетельствуют о возможности выделения древних компонент естественной остаточной намагниченности в раннедевонских отложениях о. Шпицберген, что подтверждается положительными результатами полевых и сходимостью с общей магнитостратиграфической шкалой, разработанной под руководством А.Н. Храмова на основе анализа мировых и собственных данных [16] (рис. 1). Однако, существующие варианты общей магнитостратиграфической шкалы фанерозоя [16, 17] имеют сильные различия для раннедевонской эпохи.

Исследования осадочных разрезов девонского возраста о. Шпицбергена являются частью нашей общей работы по палеомагнитному исследованию осадочных пород девонского возраста по Восточно-Европейской платформе и ее обрамления.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 23-27-00461.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kravchinsky V.A., Konstantinov K.M., Courtillot V. et al. Palaeomagnetism of East Siberian traps and kimberlites: two new poles and palaeogeographic reconstructions at about 360 and 250 Ma // Geophys.J. Int. – 2002. – V. 148. – P. 1-33.
2. Баженов М.Л., Левашова Н.М. Амплитуда вековых вариаций направления геомагнитного поля в верхнедевонских вулканитах Северного Тянь-Шаня // Физика Земли. – 2011. – № 12. – С. 74-86.
3. Константинов К.М., Стегницкий Ю.Б. Позднесилурийская-раннедевонская естественная остаточная намагниченность кимберлитов и траппов Якутской алмазоносной провинции // Докл. РАН. – 2012. – Т. 442. (№ 3). – С. 394-400.
4. Шацилло А.В., Павлов В.Э. Систематика палеомагнитных направлений раннего-среднего девона минусинских впадин: новые данные и старые проблемы// Физика Земли. – 2019. – № 3. – С. 97-116.
5. Shcherbakova V.V., Biggin A.J., Veselovskiy R.V., Shatsillo A.V., Hawkins L.M.A., Shcherbakov V.P., Zhidkov G.V. Was the Devonian geomagnetic field dipolar or multipolar? Palaeointensity studies of Devonian igneous rocks from the Minusa Basin (Siberia) and the Kola Peninsula dykes, Russia // Geophys. J. Int. – 2017. – V. 209(2). – P. 1265-1286.
6. Hawkins, L.M.A., Anwar T., Shcherbakova V.V., Biggin A.J., Kravchinsky V.A., Shatsillo A.V., Pavlov V.E. An exceptionally weak Devonian geomagnetic field recorded by the Viluy Traps, Siberia // Earth Planet. Sci. Lett. – 2019. – V.506. – P.134-145. DOI: 10.1016/j.epsl.2018.10.035
7. Гуревич Е.Л., Храмов А.Н., Родионов В.П., Деккерс М., Федоров П.В. Палеомагнетизм ордовикских и девонских осадочных пород северо-запада Русской платформы: новые данные о кинематике Балтики в палеозое и о пермо-триасовом перемагничивании. Физика Земли. – 2005. – №7. – С. 48-64.
8. Родионов В.П., Храмов А.Н., Гуревич Е.Л., Томша В.А. Палеомагнетизм девона северо-востока главного девонского поля: ключевой палеомагнитный полюс и магнитостратиграфия верхнего франа // Палеомагнетизм и магнетизм горных пород; теория, практика, эксперимент: материалы международной школы-семинара. - СПб: СОЛО. – 2010. – С. 121-126.
9. Русецкая Г.А., Тарабенко А.Б., Вербицкий В.Р., Храмов А.Н., Журавлев А.В., Евдокимова И.О., Иосифиди А.Г., Томша В.А., Сокирян Е.В. Стратопип бурегских слоев (франский ярус); главное девонское поле // Литосфера. – 2013. – № 5. – С. 42-56.
10. Hansma, J., Tohver, E., Yan, M., Trinajstic, K., Roelofs, B., Peek, S., Slotznick, S.P., Kirschvink, J., Playton, T., Haines, P., Hocking, R. Late Devonian carbonate magnetostratigraphy from the Oscar and Horse Spring Ranges, Lennard Shelf, Canning Basin, Western Australia // Earth Planet. Sci. Lett. – 2015. – V.409. – P. 232-242. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.10.054>.
11. Иосифиди А.Г. Магнитостратиграфия раннедевонских отложений острова Шпицберген // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2015. – Т.10. – №4. – http://www.ngtp.ru/rub/2/37_2015.pdf
12. Иосифиди А.Г., Попов В.В., Журавлев А.В. Верхнедевонские отложения (франский ярус) северо-запада Русской платформы: палеомагнитные данные // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2020. – Т.15. – №4. – http://www.ngtp.ru/rub/2020/42_2020.html
13. Иосифиди А.Г., Попов В.В. Палеомагнитные исследования средне-верхнедевонских отложений Воронежской антеклизы (Павловский карьер) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2021. – Т.16. – №4. http://www.ngtp.ru/rub/2021/39_2021.html

14. Watson G.S., Enkin R.J. The fold test in paleomagnetism as a parameter estimation problem // *Geophys. Res. Lett.* – 1993. – V. 20. – P. 2135-2137.
15. McFadden P.L., McElhinny M.W. Classification of reversal test in palaeomagnetism // *Geophys. J. Int.* - 1990. – V. 103(3). – P. 725-729. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1990.tb05683.x>
16. Дополнения к Стратиграфическому кодексу России / Отв. ред. А.И. Жамойда. - СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. – 112 с.
17. A Geological Time Scale. Editors F.M. Gradstein, J.G. Ogg, M.D. Schmitz. Cambridge University Press, 2004. Cambridge, 589 p.

PALEOMAGNETIC STUDIES LOCHKOVSKY STAGE ROCKS FROM WEST SPITSBERGEN ISLAND IN THE LIGHT OF THE DEVONIAN GEOMAGNETIC FIELD PROBLEM

¹*Natalia Salnaia, ^{1,2}Aleksandr Iosifidi*

¹*GIN RAS, Moscow*

²*SPbF IZMIRAN, Saint-Peterburg*

¹*natasavi@inbox.ru, ^{1,2}iosag@mail.ru*

Summary. The Devonian period was and remains a problematic period for paleomagnetism. At present, not enough paleomagnetic data is available for both magmatic and sedimentary rocks. However, the data on igneous rocks indicate a possible anomalous behavior of the magnetic field in the Devonian time. Our goal is to obtain new paleomagnetic data based on the study of Devonian sedimentary rocks on the East European Platform and surroundings. In the present work, we present the results of magnetostratigraphic studies of the Lower Devonian section (Lokhkovskii stage) from Spitsbergen.

Key words: paleomagnetism, Devonian, Lochkovian Stage, Spitsbergen (Svalbard).

УДК 550.83

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОЛЩИНЫ ОБСАДНОЙ КОЛОННЫ НА ПОКАЗАНИЕ ДАТЧИКА ПРИ ГАММА-ГАММА ЦЕМЕНТОМЕТРИИ

*Се Минцюнь
ПГНИУ, г. Пермь
yiranxmtj@mail.ru*

Аннотация. Представлены результаты моделирования гамма-гамма цементометрии методом Монте-Карло с использованием разработанной программы GGCM на основе программного комплекса Geant4. Проанализировано влияние изменения толщины колонны на гамма-счет детекторов при заполнении разными средами внутри и за колонной.

Ключевые слова: гамма-гамма цементометрия, прямое моделирование, метод Монте-Карло, Geant4.

В настоящее время роль контроля технического состояния скважины становится важнее при разработке нефтегазовых скважин. Возможности гамма-гамма цементометрии, как одной из основных технологий контроля состояния обсадной колонны и цементного кольца, ещё не полностью раскрыты. Ранние исследования радиоактивного каротажа в значительной степени полагались на натурные скважины и эмпирические данные. С развитием компьютерного оборудования и программного обеспечения метод Монте-Карло все чаще используется при исследованиях ядерных каротажей. Основные программы анализа, используемые для моделирования Монте-Карло, включают MCNP и Geant.

Чтобы изучить влияние толщины колонны на гамма-счет детекторов при гамма-гамма цементометрии в обсаженной скважине, автором совместно с С.В. Беловым разработана программа моделирования гамма-гамма цементометрии GGCM на основе программного комплекса метода Монте-Карло «Geant4». Применимость и способность этой программы были рассмотрены в работе [1].

Разработанная программа включает 7 блоков: материал, геометрия, физические процессы, инициализация гамма-кванта, управление и отслеживание процесса, запись и хранение результатов, чтение и анализ данных. Совместная работа всех блоков обеспечивает моделирование процессов того, что гамма-квант излучает из источника, взаимодействует с прибором, промывочной жидкостью, обсадной колонной, цементном кольцом и горной породой, и, наконец, исчезает или захватывается детектором прибора.

В данной программе блок «геометрия» отвечает за построение геометрической модели, которая состоит из прибора, жидкости внутри колонны, колонны, среды в кольцевом пространстве и горной породе. Модель прибора построена на основе натурного гамма-гамма цементометра Карсар-8-ГП, включая корпус прибора, радиоактивный источник, близкий детектор, 8 дальних детекторов, алюминиевые трубы вокруг детектора, окружающий их свинцовый экран и вытеснитель на внешней стороне прибора при условии диаметра колонны 168 мм. Расстояние близкого и дальних детекторов до источника составляют 18,5 и 41,0 см соответственно. Геометрическая модель представлена на рис. 1. При моделировании диаметр прибора составлял 100 мм, диаметр скважины – 216 мм, прибор располагался в центре скважины. Остальные настраиваемые параметры представлены в таб. 1.

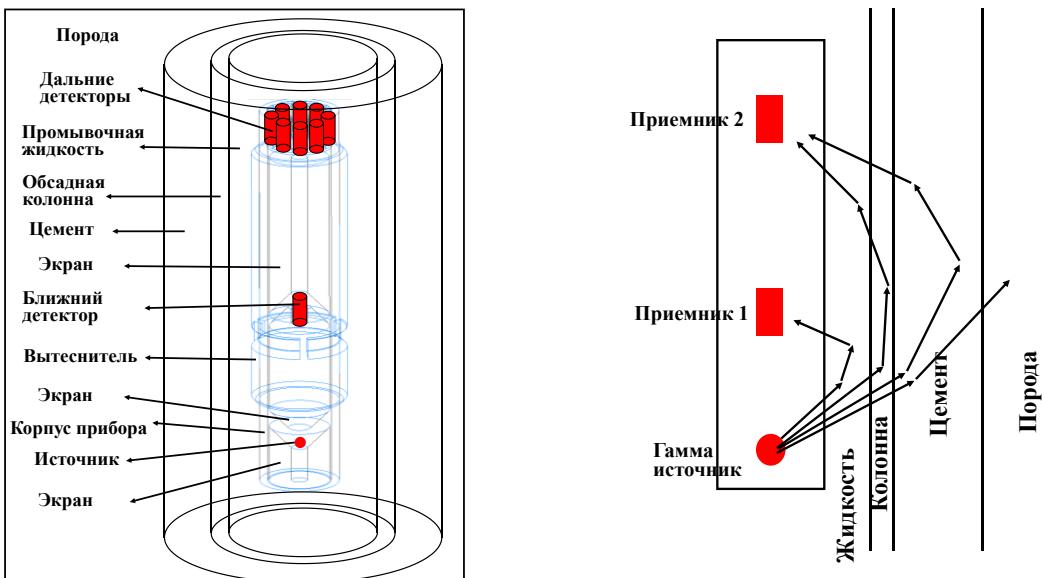


Рис. 1. Геометрическая модель и схема физического принципа гамма-гамма-цементометрии

Таблица 1

Настраиваемые параметры при моделировании в ПО Geant4

Толщина ОК, мм	Плотность среды за колонной, г/см ³	Плотность ПЖ, г/см ³	Диаметр ОК, мм
6	1.0 (вода)	1.0 (вода)	146
8	1.50 (слабый цемент)	1.3 (рассол)	168
10	1.98 (хлоридом калия)		
12	2.40 (песчаник)		
	2.71 (мрамор)		

В исследовании для уточнения влияния толщины колонны на результаты моделирования было проведено моделирование 80 групп моделей с использованием разработанной программы. В моделях прибор и колонна центрированы. Пространство за колонной заполнено однородной средой и не различает цементное кольцо и горную породу. С учетом толщины обсадной колонны в качестве единственной переменной эти модели можно разделить на 20 наборов, соответствующих различным типам сред внутри и за колонной и разным наружным диаметрам обсадных колонн. Анализ показывает, что результаты моделирования этих 20 наборов моделей обладают схожими формами и характеристиками.

На рис. 2 представлены нормализованные энергетические спектры ближнего (рис. 2а) и дальних (рис. 2б) детекторов при толщине колонны 6, 8, 10 и 12 мм соответственно в условии диаметра колонны 146 мм, заполненного водой ствола скважины и заполненного слабым цементом пространства за колонной. В отличие от изменения плотности среды за колонной, которое четко отражено только на энергетическом спектре дальнего детектора [1], изменение толщины колонны оказывает значительное влияние как на спектр дальних детекторов, так и на спектр ближнего детектора. Высота пика на спектрах снижается с увеличением толщины колонны. Для моделей с разными толщинами колонны диапазон энергии гамма-квантов одинаков от 0,07 МэВ до 0,45 МэВ. Энергетический пик дальнего детектора составляет около 0,17 МэВ, а энергетический пик ближнего детектора около 0,26 МэВ.

На рис. 3 показано распределение количества гамма-квантов, захваченных ближним (рис. 3а) и дальними (рис. 3б) детекторами, по максимальному радиусу проникновения, который представляет максимальное радиальное расстояние гамма-кванта до оси прибора при его распространении в скважинных средах и может отражать изменение плотности среды в радиальном направлении. На рис. 3 точки А, Б, В отмечают границы прибора и промывочной жидкости, промывочной жидкости и колонны, колонны и среды за колонной соответственно. Координаты точек Б₆, Б₈, Б₁₀ и Б₁₂ составляют 67, 65, 63 и 61 мм, что соответствует расстоянию от внутренней стенки колонны до оси прибора при четырех толщинах колонны. Координата точки С составляет 73 мм, что равно внешнему радиусу колонны. Отмечено, что максимальный радиус проникновения гамма-кванта, достигающего ближнего детектора, в основном расположен в стенке стальной колонны, а для дальнего детектора, в основном, находится в затрубной среде.

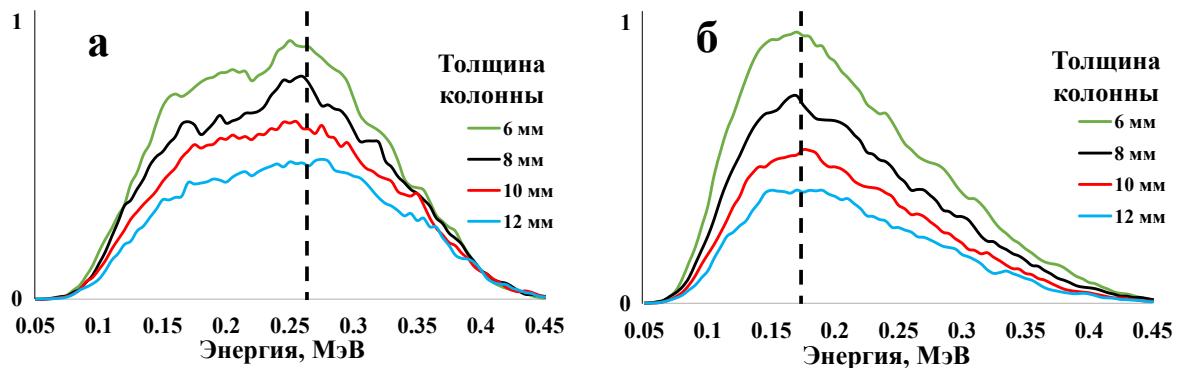


Рис. 2. Нормализованные энергетические спектры ближнего (а) и дальних (б) детекторов при моделировании ГГЦ

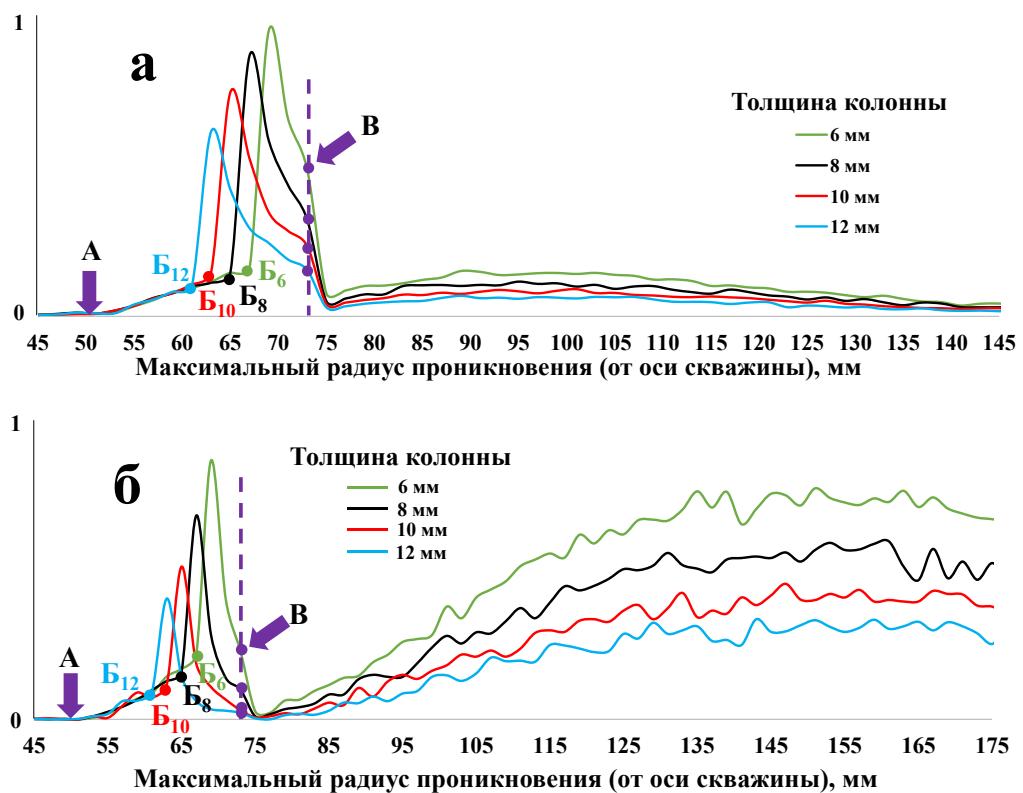


Рис. 3. Распределение количества гамма-квантов, захваченных ближним (а) и дальними (б) детекторами, по максимальному радиусу проникновения

Для изучения влияния толщины колонны на кривую гамма-гамма цементометрии в исследовании построены зависимости гамма-счета ближнего детектора от толщины колонны при разных средах за колонной в условии заполнения пространства внутри скважины водой (рис. 4а) и рассолом (рис. 4б). Количество гамма-квантов, достигающих ближнего детектора, линейно уменьшается с увеличением толщины колонны. Значение R^2 линейной регрессии во всех случаях больше 0,99.

На рис. 4 также представлены зависимости нормализованного гамма-счета дальних детекторов от толщины колонны при разных средах за колонной при условии заполнения пространства внутри скважины водой (рис. 4в) и рассолом (рис. 4г). Количество гамма-квантов, достигающих ближнего детектора, экспоненциально уменьшается с увеличением толщины колонны.

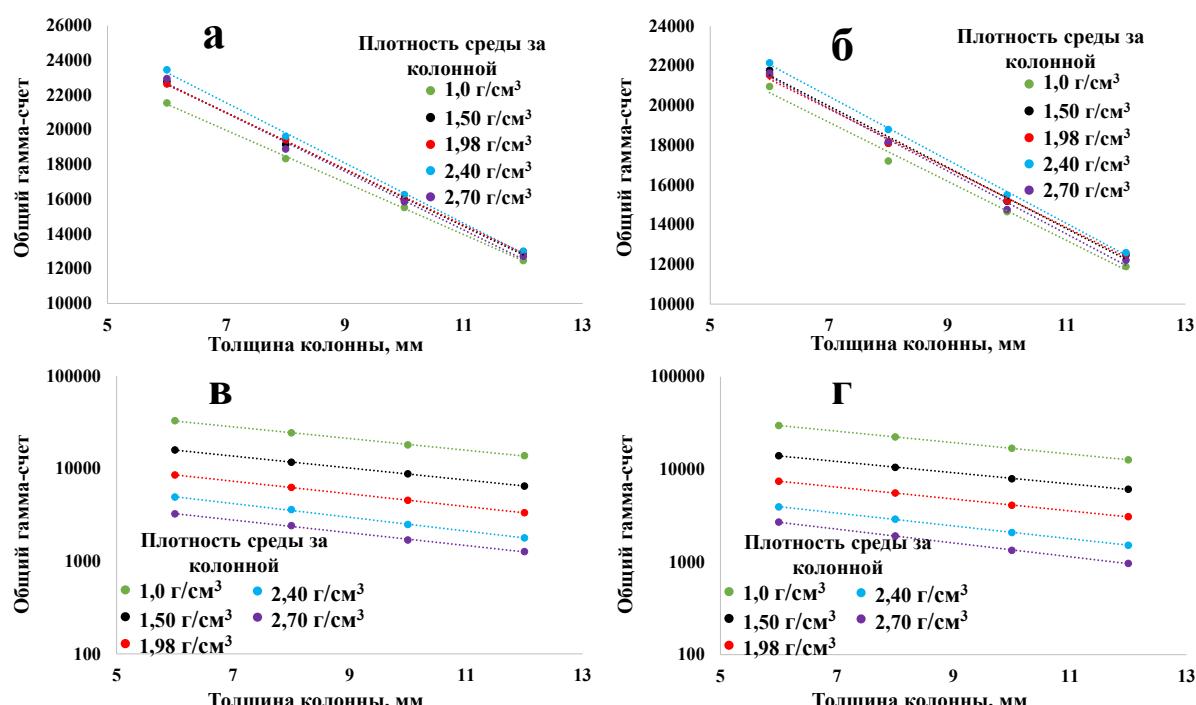


Рис. 4. Зависимости гамма-счета ближнего и дальнего детекторов от толщины колонны при разных плотностях среды за колонной и в условии заполнения пространства внутри скважины водой и рассолом NaCl

Таблица 2

Результаты анализа регрессии зависимости гамма-счета дальних детекторов от толщины колонны

Типы среды за колонной	ПЖ - вода		ПЖ – рассол	
	Регрессия	Стандартные отклонения	Регрессия	Стандартные отклонения
Вода	$I = 77701e^{-0.145t}$	0,403%	$I = 69680e^{-0.142t}$	0,146%
Слабый цемент	$I = 38503e^{-0.149t}$	0,225%	$I = 32216e^{-0.139t}$	0,336%
Хлорид калия	$I = 21902e^{-0.157t}$	0,150%	$I = 18096e^{-0.148t}$	0,152%
Песчаник	$I = 13803e^{-0.171t}$	0,724%	$I = 10310e^{-0.16t}$	0,415%
Мрамор	$I = 8419.6e^{-0.158t}$	0,853%	$I = 7518.4e^{-0.171t}$	0,656%

В таб. 2 представлены результаты анализа регрессии. В этой таблице I представляет собой общее гамма-счета дальних детекторов и Т составляет толщину колонны. При заполнении скважины водой для моделей с разными средами за колонной стандартные отклонения гамма-счета от линии регрессии составляют 0.40% (вода), 0.23% (слабый цемент), 0.15% (хлорид калия), 0.72% (водонасыщенный песчаник с пористостью 15%) и 0.85% (мрамор). При заполнении скважины рассолом стандартные отклонения гамма-счета от линии регрессии составляют 0.15% (вода), 0.34% (слабый цемент), 0.15% (хлорид калия), 0.42% (водонасыщенный песчаник с пористостью 15%) и 0.66% (мрамор). Ошибка линейной регрессии очень мала. Поэтому можно сделать вывод, что натуральный логарифм гамма-отсчета дальнего детектора линейно связан с толщиной обсадной колонны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Се, М. Белов С.В. Прямое моделирование гамма-гамма цементометрии методом Монте-Карло // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики: Сборник научных трудов X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Пермь, 2022. – С. 170-176.

SIMULATION OF THE INFLUENCE OF CASING THICKNESS ON THE SENSOR READING DURING GAMMA-GAMMA CEMENT LOGGING

Xie Mingjun
PSU, Perm
yiranxmj@mail.ru

Summary. The simulation results of gamma-gamma cement logging by the Monte Carlo method using the developed GGCM program based on the Geant4 software package are presented and the influence of changing the column thickness on the gamma count of detectors when filled with various media inside and behind the column is analyzed.

Key words: gamma-gamma cement logging, direct modeling, Monte Carlo method, Geant4.

УДК 551.214

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПОИСКЕ САМОРОДНОГО СЕРЕБРА НА УЧАСТКЕ ХАЧАКЧАН В ПРЕДЕЛАХ АЛЛАРО-САХСКОГО РУДНОГО УЗЛА (ВОСТОЧНАЯ ЯКУТИЯ)

Сотников Антон Александрович
Воронежский Государственный Университет, г. Воронеж
Anton.sotnikov.01@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются результаты наземной площадной съемки, включающей в себя магниторазведку, электротомографию и гамма-спектрометрию, на участке Хачакчан в пределах Аллара-Сахского рудного узла (Восточная Якутия). Интерпретация результатов геофизических исследований проведена с использованием комплекса спектрально-корреляционного анализа данных «КОСКАД 3D». По первичным данным, аномальное магнитное поле ΔT_a , были получены карты статистических характеристик, анализ которых позволил уточнить тектоническое строение участка, а в дальнейшем, выявить зоны, перспективные на обнаружение рудопроявлений самородного серебра.

Ключевые слова: самородное серебро, комплекс геофизических методов, технология «КОСКАД 3D».

Хачакчанская рудная поле охватывает северо-западную часть Аллара-Сахского рудного узла и расположено в бассейнах среднего течения ручья Хачакчан. В структурном отношении участок приурочен к северному крылу Аллара-Сахской антиклинали, сложенной осадочными породами тоберьденской, дадойской, опуонской свит перми и нижними свитами триасовой системы – сакандинской и сиреньской. Слагающие породы имеют довольно однообразный литологический состав и представлены переслаиванием алевролитов, аргиллитов и песчаников. Рудные минерализованные зоны связаны с многочисленными, в большинстве своем непротяженными (первые километры) тектоническими нарушениями. Поисковые геофизические исследования выполнялись с целью уточнения тектонического строения участка и выявления и прослеживания потенциальных рудовмещающих структур в плане и на глубину [1, 2].

Для решения поставленных задач был использован следующий комплекс методов: магниторазведка, гамма-спектрометрия масштаба 1:5000 и электротомография по профилям длинной от 400 до 1600 м. Сеть наблюдений задавалась вкрест простирания предполагаемых тектонических разломов – с юго-запада на северо-восток, всего 59 профилей по 360 пикетов. Очертания сети наблюдений и точек наносились в программе ArcGis, затем переносились в GPS-навигаторы.

Магниторазведка. Использование этого метода на участке применялось впервые за все предыдущие годы изучения исследуемой области. Ранее считалось, что карты аномального магнитного поля на данном участке малоинформативны, так как магнитное поле малоамплитудное и сильно осложнено шумовой компонентой. Однако результаты опытно-методических работ показали, что в комплексе с гамма-спектрометрией и электротомографией магниторазведка позволяет выделить зоны тектонического дробления.

Сеть наблюдений выбиралась исходя из размеров исследуемых объектов, опыта геофизических партий с похожей геологической ситуацией. Таким образом, шаг наблюдений составил 5 м, профиля через 50 м. Для повышения точности съемки вместо одного

измерения на пикете производились по 3 замера. Место для магнитовариационной станции (МВС) было выбрано путем проведения съемки на небольшом по площади участке и определении на нем наименее градиентного места. В качестве МВС выступал магнитометр того же типа и производителя, что и на маршрутной съемке. Все измерения выполнялись при помощи оверхаузеровского магнитометра MiniMag производства компании ООО «ГЕОДЕВАЙС». Несмотря на то, что данный магнитометр укомплектован GPS-модулем, в ходе съемки мы пользовались сторонним GPS-навигатором, т.к. система GPS в магнитометре не обладала желаемой точностью.

Гамма-спектрометрия. Съемка проводилась с помощью гамма-спектрометра Gamma Surveyor Vario производства компании GF Instruments (Чехия). Время измерения составляло 30 сек и было выбрано эмпирическим путем – прохождение одного и того же опытно-методического профиля с разными временными интервалами, затем проводилось сравнение полученных результатов и выбор относительно точного и быстрого метода измерения.

Электротомография. Электротомография проводилась 3-х электродной установкой. Съемка выполнялась при помощи измерителя SGD-EEM Medusa-B2 производства компании «Сибгеофизприбор». Используемый коммутатор был ручной сборки и поддерживал до 20 подключаемых электродов; электроразведочные косы также были собственного производства и позволяли подключать до 20 электродов. В пределах участка работ абсолютная глубина исследования составляла 100 м. Основной задачей электротомографии являлась заверка аномальных объектов, полученных по данным магнитометрии и гамма-спектрометрии.

Обработка отснятых материалов по магниторазведке и гамма-спектрометрии производилась в следующих программах: MS Excel, Golden Software Surfer и «КОСКАД 3D». В программе MS Excel велась вся база данных, выполнялось внесение поправок. В программе Golden Software Surfer формировались карты полного модуля магнитного поля и карты распределения радиоактивных элементов по данным гамма-спектрометрии. Расчеты статистических характеристик в скользящем окне были выполнены с использованием комплекса спектрально–корреляционного анализа данных «КОСКАД 3D» [3-7].

Компьютерная технология статистического и спектрально-корреляционного анализа данных «КОСКАД 3D» предназначена для анализа цифровой геоинформации методами вероятностно-статистического подхода [4]. Статистические атрибуты, рассчитанные в скользящем окне, широко используются для геофизических полей и часто несут дополнительную полезную информацию, позволяющую решить геологические задачи. Как известно, наиболее интересны области экстремальных значений таких характеристик, как дисперсия, асимметрия и эксцесс, которые контролируют области нарушения статистической стационарности геофизических полей, приуроченные к геологическим границам или тектоническим зонам [3].

По значениям ΔT_a была получена карта средних значений, для которой затем были рассчитаны такие статистические атрибуты, как дисперсия, асимметрия и эксцесс. Параметры скользящего окна, установленные в ходе вычислительных экспериментов, составили 5 на 5 точек.

В результате анализа карт статистических атрибутов составлена предварительная тектоническая схема участка исследований. Предположительные тектонические нарушения отмечаются на картах асимметрии и эксцесса положительными аномалиями. Полученные результаты согласуются с априорными геологическими данными: так разломные зоны, выделенные в хорошо изученной западной части участка, совпадают с рудовмещающими структурами, заверенными горными работами.

Интерпретация геофизических данных будет продолжена. В дальнейшем планируется усилить полезный сигнал, подавив профильные аномалии и рассчитать

статистические характеристики в скользящем окне для локальной составляющей магнитного поля. Планируется также использовать другие возможности программного комплекса «КОСКАД 3D»: расчет и анализ градиентных характеристик, выполнение компонентного анализа с привлечением данных гамма-спектрометрии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амузинский В.А., Андрианов Н.Г., Жданов Ю.Я., Лескова Н.В. Природная амальгама серебра рудопроявления Хачакчанская. // Редкие самородные металлы и интерметаллиды коренных и россыпных месторождений Якутии. Якутск: ЯНЦ СО РАН. 1992. – С. 64-69.
2. Костин А.В., Окунев А.Е., Денисов Г.В., Осипов Л.В. Особенности серебряной минерализации Нижнеимнеканского и Аллара-Сахского рудных узлов (Восточная Якутия) // Отечественная геология. 2011. № 5. – С. 3-11.
3. Никитин А.А., Петров А.В. Возможности интерпретационной обработки геологогеофизических данных методами вероятностно-статистического подхода в компьютерной технологии «КОСКАД 3D 2021»
4. Никитин А.А., Петров А.В. Теоретические основы обработки геофизической информации. Учебное пособие. – М., 2017. – 127 с.
5. Петров А.В., Юдин Д.Б., Соели Хоу. Обработка и интерпретация геофизических данных методами вероятностно-статистического подхода с использованием компьютерной технологии «КОСКАД-3D» // Науки о Земле. № 2. 2010. – С. 126-132.
6. Петров А.В. Адаптивные процедуры интерпретационной обработки нестационарных геополей в компьютерной технологии «КОСКАД-3D» // Международная научно-практическая конференция. – М., 2018. – С. 418-420.
7. Комплекс спектрально-корреляционного анализа данных «КОСКАД 3D» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.coscad3d.ru> (дата обращения: 31.01.2023)

INTEGRATION OF GEOPHYSICAL METHODS IN THE SEARCH FOR NATIVE SILVER AT THE KHACHAKCHAN SITE WITHIN THE ALLARA-SAKHA ORE NODE (EASTERN YAKUTIA)

*Sotnikov Anton Aleksandrovich
Voronezh State University, Voronezh
Anton.sotnikov.01@mail.ru*

Summary. The results of a ground-based areal survey, including magnetic prospecting, electrotomography and gamma-ray spectrometry, at the Khachakchan site within the Allara-Sakha ore node (Eastern Yakutia) are considered. The interpretation of the results of geophysical studies was carried out using the complex of spectral correlation analysis of data «KOSKAD 3D». According to the primary data, anomalous magnetic field ΔT_a , maps of statistical characteristics were obtained, the analysis of which made it possible to clarify the tectonic structure of the site, and in the future, to identify zones promising for the detection of ore occurrences of native silver.

Keywords: native silver, complex of geophysical methods, «KOSKAD 3D» technology.

УДК 550.83

ПРИМЕНЕНИЕ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИИ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ ВЫЗВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ НАД РУДНЫМИ ТЕЛАМИ (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ БУ-АЗЗЕР, МАРОККО)

¹*Станишевская Юлия Львовна, ¹Филина Татьяна Владимировна,*

²*Андреенок Анжелика Васильевна, ³Саид Илмен*

¹*СЗГК «Геокомплекс», г. Санкт-Петербург*

²*СПГУ, г. Санкт-Петербург*

³*Университет Ибн Зор, г. Уарзазат, Королевство Марокко*

¹*katacimuri@gmail.com, ¹www2325962@gmail.com, ²An.andreenok@gmail.com,*

³*ilmensaid@gmail.com*

Аннотация. В период с 04.10.2021 по 24.12.2021 гг. ООО «СЗГК «Геокомплекс» совместно с геологической компанией ООО «ОЗГЕО» проводила комплексные геофизические работы на флангах месторождения Бу-Аззер (Марокко), включающие в себя электроразведку методом вызванной поляризации (ВП), магниторазведку и гамма-спектрометрию. Цель работ – прослеживание контакта массива серпентинитов, с которой связано кобальтовое оруденение, а также выделение на площади работ ранее неизвестных аномальнообразующих объектов. Методом электроразведки ВП было выявлено две интересные, с точки зрения рудной минерализации, аномалии. В комплексе с электроразведкой и магнитразведкой применялась гамма-спектрометрия.

Ключевые слова: геофизика, электроразведка, гамма-спектрометрия, поисковые работы, полиметаллические руды, кобальтовые руды, Бу-Аззер, Марокко.

Введение.

Площадная гамма-спектрометрическая съемка проводилась при помощи современного портативного гамма-спектрометра RS-125 по сети 100x20 м.

Отношения U/Th, U/K, Th/K в общем являются индикаторами гидротермально- и метасоматических измененных пород (далее просто измененные породы). В некоторых случаях, когда происходили интенсивные процессы изменения, бывает сложно определить истинную природу аномалий индикаторных значений. Однако, наблюдается некоторая закономерность. Так, было отмечено, что многие кобальтовые месторождения связаны с повышенными значениями показателей U/Th, U/K. Например, рудная минерализация на участке Bou-Azzer (кобальтовая руда) связана с дискретной зоной повышенных значений U/K. Также наблюдаются повышенные значения отношения U/Th. В свою очередь, для участка El Bleida (медные руды), характерны более характерны проявления аномалий Th/K и умеренные значения U/K, U/Th (по данным ранее проведенных работ компаний Geotech Ltd методом аэрогамма-спектрометрии).

По опыту работ, индикаторные отношения в неизмененных породах будут находиться в среднем в одном диапазоне значений. О гидротермальных и метасоматических изменениях в породах будут свидетельствовать изменения отношений Th/K, U/K, U/Th.

Краткое описание геологии района работ.

Район работ находится в пределах Центрального Антиатласского домена на северной границе Западноафриканского кратона и включает в себя поднятие Бу-Аззер-Эль-Граара. В региональном масштабе Анти-Атлас представляет собой орогенную фронтальную область, сформировавшуюся в период герцинской орогении. Упрощенная геологическая схема Бу Аззера, показывающая три основных террейна – дуга, офиолит и континентальная окраина, и контур участка работ представлена ниже на рисунке 1.

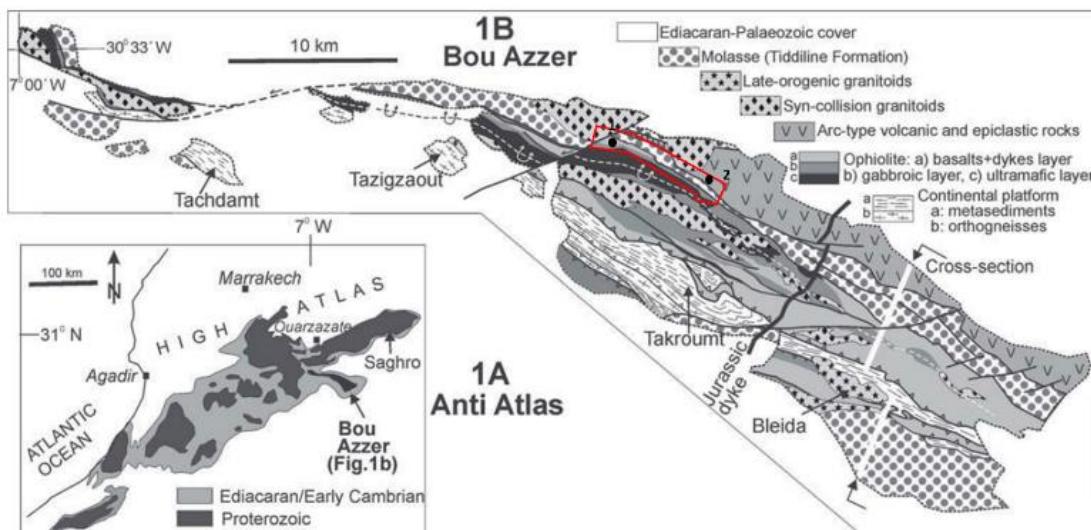


Рис. 1. Упрощенная геологическая схема Бу-Аззера с обозначением участка работ

В горном районе Бу-Аззер-Эль-Граара находятся около сотни проявлений и месторождений Со и Си, включая кобальтовые и медные рудники Бу-Аззер и Блейда.

Электроразведкой методом ВП было выделено несколько интересных аномалий кажущейся поляризуемости (далее просто поляризуемости) (рис.1). Первая выделена электротомографией методом ТЭЗ-ВП на юго-западе участка вблизи границы серпентинитов, в базальтах. Вторая – площадной электроразведкой методом ВП-СГ на северо-востоке участка, в пепловых туфах, в основании которых залегает песчано-туфовая толща.

Обработка данных площадной наземной спектрометрии проводилась с учетом фона.

Результаты. Аномалия ВП №1.

Рудные тела приурочены в основном к серпентинитам и их контактам с кварцевыми диоритами (гранитами), базальтами, габбро и вулканитами. Месторождения Со-Ni-Fe-арсенидов структурно контролируются и состоят из сложной системы транснапряженных, субвертикальных разломов-выступов, пламеневидных рудных тел, плоских линзовидных и кармановидных тел, жил, прожилок, цементированных брекчий внутри жил и заполнений оперяющих разломов растяжения.

На графике аномального магнитного поля резкими скачками на ПК1000 выделяется граница массива серпентинитов (рис 2а, на рис.2в черная линия), на ПК1600 тектоническое нарушение (рис.2а). Поляризующийся объект (ПК1300-1600) контактирует с предполагаемым тектоническим нарушением в районе ПК1500-1600 (рис.2в). В этой области наблюдается наиболее характерная зона повышенных аномальных значений U/K (полигон с синей штриховкой) (рис.2б). Также повышенные аномальные значения U/K присутствуют над объектом в районе ПК1400. Дискретные аномальные пики U/Th

(оранжевые полосы внутри полигонов с синей штриховкой), наблюдающиеся над объектом, тяготеют к краям аномалий U/K.

На повышенные аномальные значения U/K и сопутствующие им дискретные пики U/Th в районе ПК1100-1300 влияет близость контакта с серпентинитами, поэтому характер этих аномалий немного отличается от аномалий непосредственно над объектом.

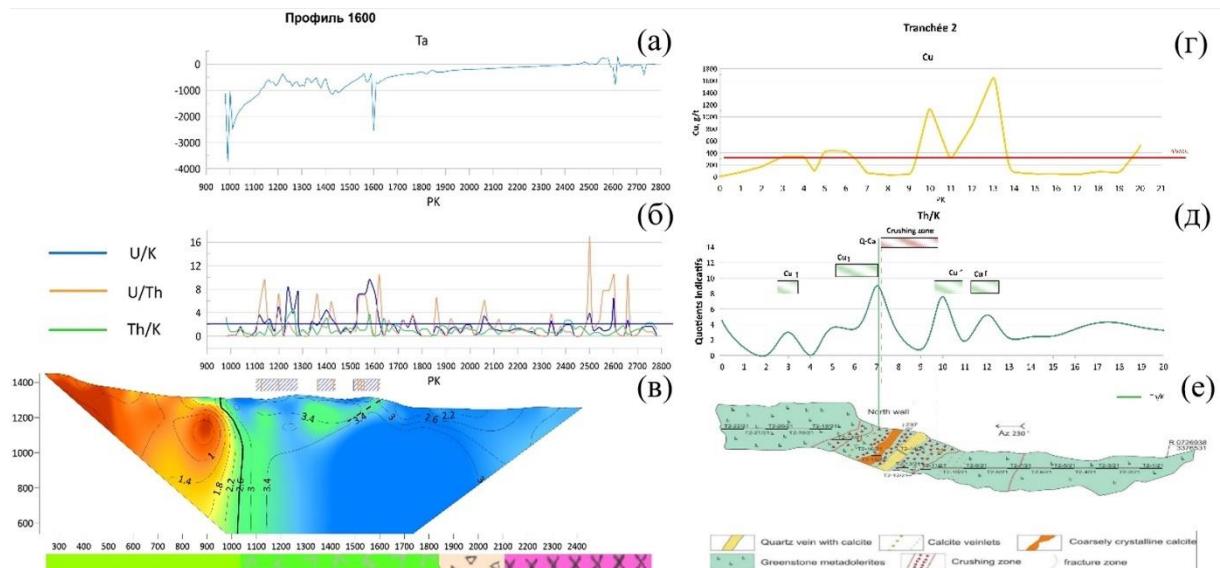


Рис. 2. (а) – График аномального магнитного поля; (б) – График отношений U/K, U/Th, Th/K; (в) – Разрез кажущейся поляризуемости с наложенными изолиниями по удельному кажущемуся сопротивлению (УЭС); (г) – График содержание меди (Cu), (д) График Th/K; (е) – Геологический разрез по траншее с указанием геохимических проб [2]

Результаты. Аномалия №2.

Отметим наличие в данном районе медной минерализации вулканогенно-осадочной серии с общим структурным и литологическим контролем. Структурные исследования в районе медных месторождений показали пространственную и генетическую связь минерализованных тел и их минералогической зональности с разломами карбонат-кварцевого заполнения. Причем по возрасту и степени формации эти рудоконтролирующих разломы похожи на разломы в районе месторождения Бу-Аззер [1].

Для увязки данных наземной спектрометрии с геологией проводились измерения вдоль стенки траншеи (рис.2г,д,е). Траншея вскрыла небольшую кварц-карбонатную жилку, по линии траншеи вблизи тектонических нарушений (вне зоны дробления), приуроченных к жиле по геохимическим данным [2] наблюдаются повышенные значения меди, что подтверждает факт миграции меди по трещинам.

Взятие геохимических проб и гамма-спектрометрия проводились в разные дни, что может влиять на расхождении точек съемки.

Фиксируется зона изменения параметра Th/K от средних значений с ПК 3 до ПК 12. Причем, перспективной на обнаружение медной минерализации считаем точки/зоны с повышенным значением Th/K (прямоугольником с зеленой штриховкой) вблизи кварц-карбонатной жилы (рис.2д) Сама зона жилы и сопутствующая ей зона дробления (прямоугольник с красной штриховкой) выделяется падением значения Th/K. На рисунке 2г видна корреляция зон повышенных значений Th/K в области изменения Th/K с содержанием меди, что подтверждает связь отношения Th/K с медной минерализацией в данном регионе. Причем стоит отметить, что зоны изменения Th/K маркируют

не саму медь, а зоны гидротермальных изменений пород, которые могут сопутствовать медной минерализации.

Для статистической обработки данных был выбран факторный анализ методом главных компонент, так как он несет в себе информацию о дисперсии и корреляции, а дисперсию радиоактивных и других химических элементов можно рассматривать как реальную меру вероятности появления рудных концентраций в полях метаморфических преобразований пород [3].

На первом этапе была построена карта второй компоненты факторного анализа (далее PCA2), отвечающая за повышение значений параметра Th/K и Th, при почти неизменном калии. Уран в данной компоненте проявляется как нейтральный элемент. Для наглядности по всей площади работ были построены линеаменты по PCA2 (рис.3а). В данном случае имеются в виду линии, проведённые по осям аномалий (линии черного цвета).

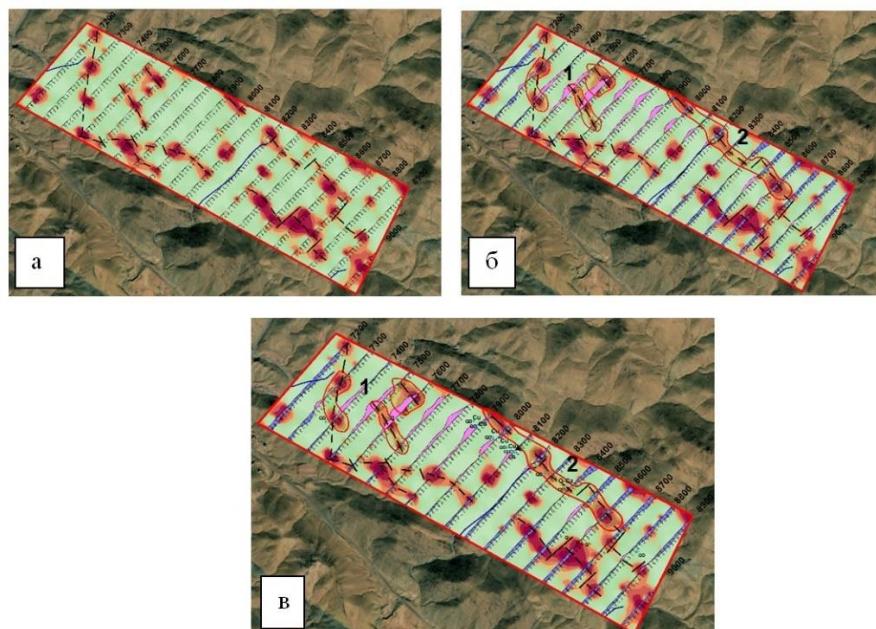


Рис. 3. а) – Карта PCA2; б) – аномалия ВП на карте PCA2 с выделенными перспективными зонами (красный полигон с штриховкой); в) – аномалия ВП на карте PCA2 с выделенными перспективными зонами и точки геологического маршрута

Видно, что повышенные значения второй компоненты оконтуривают аномалию поляризуемости (рис.3б). Исходя из особенностей рудных тел, характерных для данного района, и учета возможности влияния рельефа были выбраны наиболее перспективные области (цифры 1 и 2 рис. 3б) для поиска медной минерализации (красные полигоны с зеленой штриховкой) Для заверки выбранной аномалии проводились специальные геологические маршруты с целью поиска признаков медной минерализации. В результате были обнаружены кварцевые диориты с медной минерализацией (QD) и кварцевые жилы (Q). В основном они проявлены вдоль области 2 (рис.3в), там же была обнаружена небольшая выработка на ПР8100 (черный треугольник). Несколько проявлений кварцевых диоритов и кварцевых жил присутствует и в области 1 (рис.3в).

Выводы.

В результате работ наземной гамма-спектрометрией была подтверждена связь: (1) параметра Th/K (в виде второй компоненты факторного анализа) в данном случае с областью измененных пород рядом с кварцевыми диоритами, кварцевыми жилами, с которыми могут быть приурочены к объектам медной минерализации, (2) параметра U/K в

дополнении с U/Th – с областью измененных пород, с которой могут быть приурочены к объектам кобальтовой минерализации. Таким образом, было выдвинуто предположение о том, что источник аномалии ВП №1 – объект с кобальтовой минерализацией, а аномалии ВП №2 – объект с медной минерализацией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Maacha L. Minéralisations sulfurées de Cuivre de la série de plateforme de Bleïda boutonnière de Bou Azzer-El Grâara (Anti-Atlas occidental)/ Elghorfi M, Zouhair M, Sadiqui O [et al] // Actes du 8ème colloque international du magmatisme, métamorphisme et mineralisations associées – 2013. URL: (PDF) Minéralisations sulfurées de Cuivre de la série de plate-forme de Bleïda. Boutonnière de Bou Azzer-El Grâara (Anti-Atlas occidental) (researchgate.net)
2. «Об экспертных исследованиях, выполненных миссией ООО «ОЗГЕО» за период 2019-2020 / 2021-2022 гг. и планы работ на перспективу в контурах сектора Ihrtem –Ait-Ahmane рудного района Bou Azzer»; Информационный отчет: 22-26 / ООО «ОЗГЕО»; рук. Лебедев.В.И; исполн.: Прокопьев И.Р. [и др] – М., 2022. – 93 с.
3. Соболев И.С. Использование элементов многомерной статистики для обработки данных наземной гамма-спектрометрии при поисках гидротермальных месторождений золота - Известия Томского политехнического университета. Инженеринг георесурсов. 2018. Т. 329. № 7. – С. 104–115.

APPLICATION OF GAMMA-RAY SPECTROMETRY FOR SEPARATION OF IP ANOMALIES OVER ORE BODIES (ON THE EXAMPLE OF THE BOU-AZZER DEPOSIT, MOROCCO)

¹*Stanishevskaya Julia, ¹Filina Tatiana, ²Andreenok Anzhelika, ³Said Ilmen*
¹*LLC "SZGGK "Geocomplex", Saint Petersburg*

²*Mining University, Saint Petersburg*

³*University Ibn Zohr, Ouarzazate, Morocco*

¹*katacimuri@gmail.com, ¹www2325962@gmail.com, ²An.andreenok@gmail.com,*
³*ilmensaid@gmail.com*

Annotation. In the period from 04.10.2021 to 12/24/2021, LLC "SZGGK "Geocomplex", together with the geological company OZGEO LLC, carried out complex geophysical work on the flanks of the Bu-Azzer field (Morocco), including electrical exploration by the method of induced polarization (IP), magnetic exploration and gamma spectrometry. The purpose of the work is to trace the contact of the serpentinite massif, which is associated with cobalt mineralization, as well as the allocation of previously unknown anomalous objects on the work area. Two anomalies of interest, from the point of view of ore mineralization, were revealed by the method of electrical exploration of the IP. Gamma-ray spectrometry was used in combination with electrical and magnetic exploration.

Keywords: geophysics, electrical exploration, gamma-spectrometry, prospecting, polymetallic ores, cobalt ores, Bu-Azzer, Morocco.

УДК 550.834.52

СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ ВОЗБУЖДЕНИЯ УПРУГИХ ВОЛН ПРИ МАЛОГЛУБИННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ МОВ-ОСТ

Сулюянова Ксения Владимировна

Санкт-Петербургский Государственный Университет, г. Санкт-Петербург

ksilyanova@ya.ru

Аннотация. В настоящей работе предлагается сравнение традиционного и многокомпонентного способов возбуждения волнового поля. Исследование возможностей применения такого метода осуществляется путем проведения малоглубинных сейсмических исследований на территории Ленинградской области. Приведены граф обработки данных и анализ результатов работ.

Ключевые слова: малоглубинная сейсморазведка, МОВ-ОСТ, продольные волны, поперечные волны, верхняя часть разреза, многоволновая сейсморазведка, Ленинградская область.

Изучение верхней части геологического разреза (ВЧР) является востребованной и актуальной задачей как при расчете и вводе поправок, учитывающих неоднородности ВЧР при решении задач нефтегазовой сейсморазведки, так и при инженерно-геофизических работах, когда ВЧР является непосредственно объектом исследования. Это связано со значительными латеральными изменениями геометрических и физических свойств объектов, слагающих ВЧР, а также ее подверженности природным и техногенным процессам [9].

Размеры объектов, представляющих интерес для специалистов, могут достигать нескольких метров, что обуславливает необходимость повышения разрешающей способности геофизических методов [4]. Кроме того, следует учитывать также и экономическую составляющую – проведение работ не должно иметь запредельно высокую стоимость. Следовательно, необходимо ограничить использование таких геофизических методов, которые позволят получить лишь общие, интегральные характеристики исследуемой среды.

С целью получения большого объема информации с высокой детальностью при минимальных физических и экономических затратах предполагается использование многоволновой сейсморазведки (МВС), основополагающей идеей которой является совместное использование различных типов упругих волн – продольных (P-) и поперечных, поляризованных в ортогональных направлениях (Sv- и Sh-волны).

Сочетание волн сжатия-растяжения и волн сдвига обеспечивает МВС ряд преимуществ перед остальными методами: более точный прогноз литологии по соотношению скоростей продольной волны к поперечной, что обуславливается значительной дифференциацией скоростей продольной (V_p), и поперечной (V_s) волн в горных породах [7].

Традиционно в малоглубинной сейсморазведке используют двухкомпонентные наблюдения [6], исследуя вертикальную (Z) и горизонтальную (чаще всего Y, направленную перпендикулярно профилю) компоненты. Такие работы позволяют прослеживать границы обводненных горных пород с помощью поперечных волн и упрощают обработку за счет использования продольных волн, когда поверхностные волны перекрывают целевые отражения поперечных волн [1]. Кроме того, поперечные волны представляют интерес при сейсмомикрорайонировании (СМР) для определения параметра V_{s30} [11].

При выполнении такого вида исследований и применении однокомпонентных сейсмоприемников необходимо дважды проводить возбуждение упругих колебаний (сначала вертикально, потом горизонтально). Для экономии времени при условии двухкомпонентной регистрации существует технология «плюс-минус» [1], заключающаяся в последовательном возбуждении колебаний перпендикулярно линии профиля в двух противоположных направлениях («плюс» и «минус» соответственно), как представлено на рисунке 1.

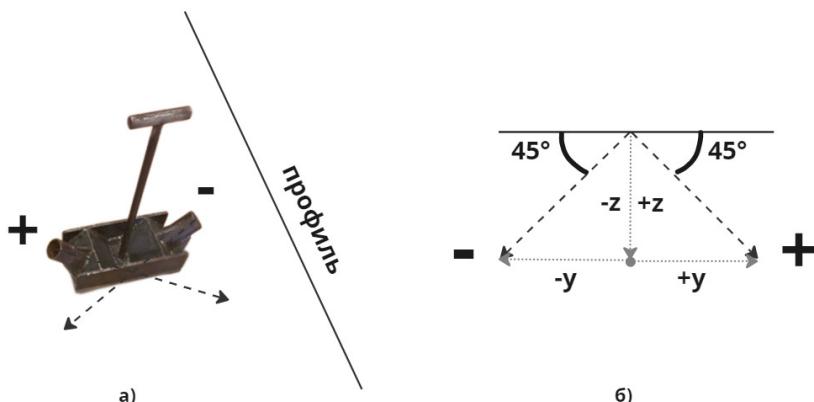


Рис. 1. Схематичное расположение установки для возбуждения поперечных волн:
а) – положение относительно профиля; б) – разложение компонент «плюс» и «минус» на составляющие по осям Z и Y

Таким образом, согласно теоретическим представлениям о разложении вектора направления удара на компоненты, в результате отдельной регистрации компонент «плюс» и «минус», и суммирования полученных сейсмограмм остается только вертикальная составляющая колебаний, а в результате вычитания – горизонтальная.

Использование трех компонент Р-, SV- и SH-волн одновременно обладает по сравнению с двухкомпонентной регистрацией рядом особенностей: возможностью изучения закономерностей распределения скоростей продольных и поперечных волн, а также их взаимного соотношения в пространстве; различия в свойствах зарегистрированных событий, полученные при использовании МВС, несут дополнительную информацию о геологическом разрезе [5].

Для такого рода исследований требуется либо трижды менять направление возбуждения и приема при использовании однокомпонентной регистрации, либо дважды использовать возбуждение «плюс-минус» с изменением направления горизонтальной компоненты волнового поля. При использовании трехкомпонентных регистраторов остается вопрос минимизации времени выполнения работ, поскольку возбуждение по технологии «плюс-минус» подразумевает по крайней мере 4 удара без учета накоплений (X_+ , X_- , Y_+ , Y_-).

В настоящей работе опробован вариант возбуждения упругих волн, когда основной вектор приложения силы направлен под углом 45° к земной поверхности и под углом 45° к линии профиля. Такое «диагональное» расположение направления возбуждения позволяет аналогично технологии «плюс-минус» разложить вектор силы уже на три ортогональных составляющих (Z, X, Y), как показано на рисунке 2.

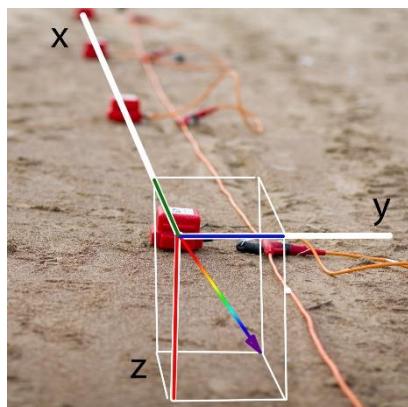


Рис. 2. Разложение компонент «плюс» и «минус» на составляющие по осям X, Y и Z при многокомпонентной технологии возбуждения упругих колебаний

Цель работы – исследование возможности применения многокомпонентного возбуждения упругих волн при трехкомпонентной регистрации при малоглубинных сейсмических работах.

Задачами работы являются сравнение результатов малоглубинных сейсмических исследований МОВ-ОСТ, выполненных по традиционной технологии, и с использованием предлагаемого многокомпонентного возбуждения упругих волн.

В качестве объекта исследования была выбрана палеодолина, расположенная на территории Ленинградской области (г. Сестрорецк) в береговой зоне Финского залива, где уже были проведены геофизические исследования [2, 10]. Особенностью этого района является высокая дифференциация плотностных и скоростных характеристик погребенных врезов по сравнению со вмещающими их толщами [3]. Методика полевых работ заключается в возбуждении продольных колебаний двумя способами: «стандартным» (при помощи металлической плашки) и многокомпонентным (при помощи специальной установки). На рисунке 3 представлены варианты возбуждения колебаний, используемые при полевых работах.



Рис. 3 Воздействие продольных колебаний (слева), многокомпонентное воздействие колебаний (справа)

Регистрация колебаний проводилась при помощи трехкомпонентной телеметрической сейсморегистрирующей системы ТЕЛСС-403.

Обработка результатов сейсморазведочных работ проводилась в ПО SeisPro по методике МОВ-ОСТ. Граф обработки включал следующие операции: применение полосового фильтра, интерактивный анализ скоростей, расчет и ввод кинематических поправок и суммирование. Автоматическая регулировка усилий (АРУ) не применялась. Основную сложность при обработке данных представляло наличие высокоинтенсивного конуса поверхностных волн на сейсмограммах. Применение двумерной фильтрации в F-K области не привело к удовлетворительному результату.

Наилучший вариант временного разреза, был получен в результате применения нижнего мьютинга, с помощью которого поверхностные волны были просто удалены с сейсмограмм (рис. 4). Автор отдает себе отчет, что безусловно, в этом варианте обработки пострадала и полезная часть сигнала. Для многокомпонентного способа возбуждения применялся аналогичный граф обработки.

Полосовая фильтрация вводилась с параметрами 90-100-300-400 Гц, полученный спектр для полезного сигнала приведен на рисунке 4. Наличие таких высоких частот является довольно интересным результатом для возбуждения упругих колебаний кувалдой, поскольку для источника типа «падающий груз» характерен диапазон колебаний 20-100 Гц [8].

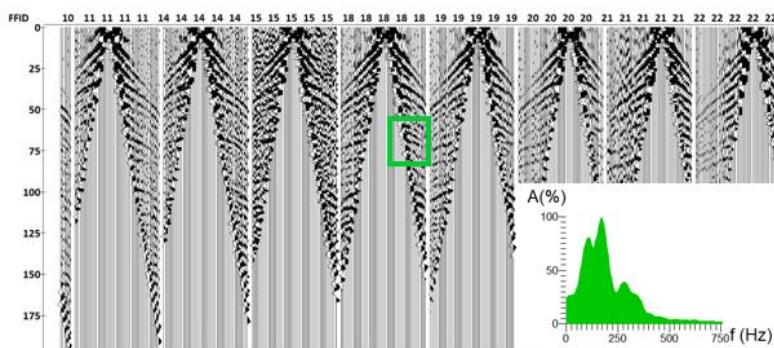


Рис. 4. Подавление поверхностных волн посредством мьютинга

В результате обработки получены временные разрезы для традиционного и многокомпонентного способов возбуждения продольных колебаний, представленные на рисунке 5. Невооруженным глазом видно, что традиционный способ возбуждения позволяет проследить отражающие горизонты намного детальнее даже без применения АРУ и деконволюции. При многокомпонентном способе возбуждения предполагалось какое-то ухудшение временного разреза, однако качество полученных данных оставляет желать лучшего, что указывает на необходимость применения наиболее «чистых» в плане направленности источников упругих волн. В дальнейшем планируется сравнение указанных подходов возбуждения волн для поперечных волн и комплексное заключение о возможности применения многокомпонентного способа. Также планируется расширить график обработки данных применением специальных процедур для повышения качества результатов работ.

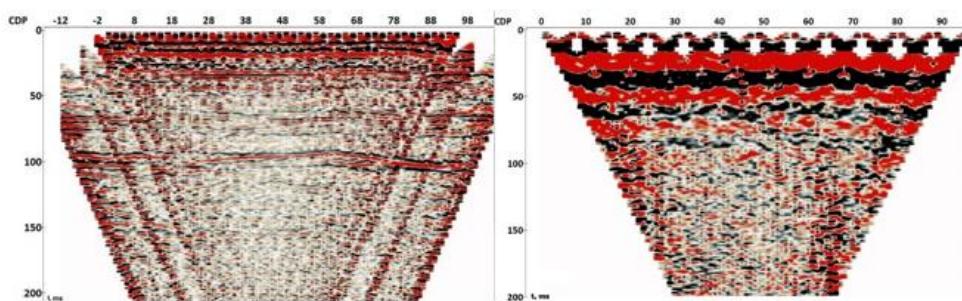


Рис. 5. Временной разрез по результатам традиционного (слева) и многокомпонентного (справа) методов возбуждения

Автор выражает благодарность директору Научного центра «Наука о Земле» к.ф.-м.н. О.О. Адамовичу за помощь при выполнении обработки данных, профессору кафедры геофизики, д.т.н. А.П. Сысоеву за ценные советы и рекомендации, студентам группы РГС-20, РГ-20, РГ-21 за участие в проведении полевых работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байдиков Д.В. Оценка разрешающей способности малоглубинной сейсморазведки при определении глубины залеганий скальных пород. СПб: СПГУ, 2019. – 75 с.
2. Буданов Л.М., Сенчина Н.П., Шнюкова О.М., Горелик Г.Д. Исследования палеовреза с помощью гравиметрических наблюдений // Геосистемы переходных зон, 2020. т. 4, № 3. – С. 288–296.
3. Дацко Р.Э. и др. Особенности инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга // Развитие Городов И Геотехническое Строительство, 2011. № 13. – С. 25-71.
4. Кузнецов В.М., Шехтман Г.А., Череповский А.В. Методика наблюдений в многоволновой сейсморазведке // Технология сейсморазведки, 2013. № 2. – С. 37-59.
5. Куликов В.А., Куликов В.М., Подбережный М.Ю. Многоволновая сейсморазведка: Курс лекций. Новосибирск: НГУ, 2006. – 100 с.
6. Пузырев Н.Н. Многоволновые сейсмические исследования. Новосибирск: Наука, 1987. – 213 с.
7. Тропарева С.А. Эффективность многоволновой сейсморазведки // Материалы IX Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум», 2017.
8. Чирков А.В. Сравнительная характеристика источников упругих волн в малоглубинной сейсморазведке // Стратегия и процессы освоения георесурсов: материалы ежегодной научной сессии ГИ УрО РАН по результатам НИР в 2009 г., 2010. С. 159-161.
9. Шехтман Г.А., Кузнецов В.М., Жуков А.П., Короткое И.П., Бурлаков А.В. Расширение типов волн, используемых в сейсморазведке: предпосылки и результаты // Технологии сейсморазведки, 2014. №3. – С. 30-34.
10. Gorelik G., Budanov L., Ryabchuk D., Zhamoida V., Neevin I. Application of CDP seismic reflection method in buried paleo-valley study DOI: 10.3997/2214-4609.201901777 // Материалы 15-ой юбилейной научно-практической конференции и выставки «Инженерная и рудная геофизика 2019», 2019. Т. 2019. С. 1-7.
11. Movchan, I. B. Refined assessment of seismic microzonation with a priori data optimisation / I. B. Movchan, A. A. Yakovleva // Journal of Mining Institute, 2019. Vol. 236. P. 133-141.

COMPARISON OF EXCITATION METHODS DURING SHALLOW-DEPTH CDP STUDIES

*Suluyanova Ksenia Vladimirovna
Saint Peterburg State University, Saint Petersburg
suluyanova@ya.ru*

Annotation. In this paper, we propose a comparison of the traditional and multicomponent methods of wave field excitation. The study of the possibility of using this method is carried out by conducting shallow seismic surveys on the territory of the Leningrad region. The graph of data processing and analysis of the results of the work are given.

Key words: shallow seismic, CDP, compressional waves, transverse waves, upper part of the section, multiwave seismic, Leningrad region.

УДК 550.8.052+550.839

ВЫЯВЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ РАССТАНОВКИ СЕЙСМОДАТЧИКОВ В ПАССИВНОМ МЕТОДЕ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО

¹*Сюраева Ксения Васильевна*, ²*Живаева Вера Викторовна*
Самарский Государственный Технический Университет, г. Самара
¹*syuraeva94@mail.ru*, ²*bngssamgtu@mail.ru*

Аннотация. В статье представлены результаты оконтуривания углеводородной залежи на модельных данных с применением метода Монте-Карло, и выявлена оптимальная расстановка приборов для проведения микросейсмического зондирования. Полный алгоритм расчета реализован на языке программирования Python с использованием свободно распространяемых библиотек.

Ключевые слова: оконтуривание залежей углеводородов, метод Монте-Карло, микросейсмические исследования (МСИ), низкочастотное сейсмическое зондирование (НСЗ), обработка микросейсмических сигналов, интерпретация данных НСЗ.

В настоящее время на стадии поисково-оценочных работ стали применяться методы пассивной сейсморазведки. Эти методы ведут измерения без использования искусственных источников, вместо этого они полагаются на естественные сейсмические волны, генерируемые землетрясениями или атмосферными возмущениями. Эти волны регистрируются сейсмометрами или группами сейсмометров, которые затем анализируются для определения и свойств недр.

Метод низкочастотного сейсмического зондирования (НСЗ) [3] является одним из методов пассивной сейсморазведки наряду с мониторингом гидроразрыва пласта (ГРП) [4] в отсутствии наблюдательных скважин. Метод НСЗ включает в себя запись и анализ низкочастотных сейсмических волн, обычно в диапазоне 1-10 Гц, генерируемых естественными источниками. Сейсмические волны раскладываются на спектры, и каждый спектр анализируется на наличие аномалии [1]. Эта информация полезна для оконтуривания залежи углеводорода, что в свою очередь, позволяет выдавать рекомендации по заложению глубоких скважин.

Целью данного исследования стало выявление оптимального количества приборов и расстояния между ними при оконтуривании модельной залежи углеводорода методом Монте-Карло.

Для исследования создаются три группы массива данных. Первая группа массивов – это геологические модели с расположением предполагаемых залежей. Чтобы проанализировать как можно больше вариантов расположения залежей было смоделировано 3933 моделей, в которых изменяется количество и размер залежей. Углеводородная залежь задается разным диапазоном значений, чтобы показать различную интенсивность энергии сигнала, исходящего от залежи (рис. 1) [2]. Вторая группа массивов содержит данные по сейсмоприемникам (датчикам) (рис. 2). Третья группа массивов используется для расчетов. Все массивы данных имеют одинаковую размерность.

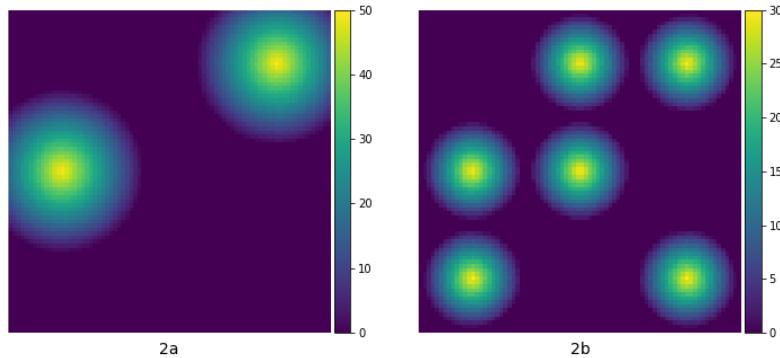


Рис. 1. Пример двух (из 3933) геологических моделей с залежами углеводородов (УВ): 2а – 2 крупных скопления УВ, 2б – 6 мелких скопления УВ



Рис. 2. Расстановка 25 приборов

В данной работе стоит учесть одну особенность: датчик, регистрирующий сейсмическую волну, принимает сигнал не с точки под ним, а с некой площади – апертуры. Исходя из особенностей работы датчика, можем предположить, что при расстановке датчиков квадратной сеткой их апертуры будут накладываться друг на друга, поэтому в разных точках можно получить части одного и того же сигнала [5]. Так как апертуры часто перекрываются друг другом можно сетку приборов разредить без потери данных. Эксперимент проведен для 6 вариантов расстановки приборов, радиус апертуры – 1 км.

Для проведения расчетов в данном исследовании был выбран метод Монте-Карло, который основан на статистическом анализе большого числа реализаций случайного процесса [5]. Для вычислений и моделирования применялся язык программирования Python с использованием свободно распространяемых библиотек NumPy, SciPy, Pandas. Для визуализации результатов использовалась библиотека Matplotlib.

Геологическая модель представлена набором точек, каждая точка задается определенным значением. Координаты датчиков задаются вручную и записываются во вторую группу массивов. Затем, учитывая апертуру датчика, к данным координат записывается значение равное сумме энергии сигнала. После проведения подготовительных этапов вычислений, применяем метод Монте-Карло. На этой стадии расчетов нужно провести выборку случайных точек, которая равна 0.5% от общего числа точек третьего массива. Далее запускается цикл расчета методом Монте-Карло. Весь расчет производится в цикле до тех пор, пока не будет выполнено условие остановки, или пока не произведет $2 \cdot 10^4$ итераций.

На рисунках 3 и 4 представлены результаты. В верхней части рисунка расстановка приборов на геологической модели (первая и вторая группа массивов), в нижней части – модельные площади (третья группа массивов), которые мы получили в результате расчетов. Оцениваются результаты с помощью значения дельты, которая показывает, насколько различаются между собой геологическая и модельная площади. Чем меньше

значение дельты, тем лучше сходимость результатов и тем лучше происходит оконтуривание залежи. Как можно заметить, моделирование методом Монте-Карло на моделях 1 и 2 показало хорошие результаты. В модели 1 использовалась расстановка 25-ти приборов квадратной сеткой через 250 м, дельта в этом случае равна 0.55. В модели 2 использовалась расстановка, как в модели 1 только исключили 9 центральных датчиков, дельта – 0.64. В модели 3, 9 приборов были расставлены квадратной сеткой через 250 м, дельта – 1.23, что говорит о недостаточном количестве приборов для данной площади. В модели 4 использовалась расстановка 16-ти приборов квадратной сеткой через расстояние равное 350 м, дельта в этом случае равна 0,6. В модели 5, 36 приборов были расставлены квадратной сеткой через 250 м, дельта – 0.55. В модели 6 расстановка, как в модели 5 только исключили 16 центральных датчиков, дельта – 0.64.

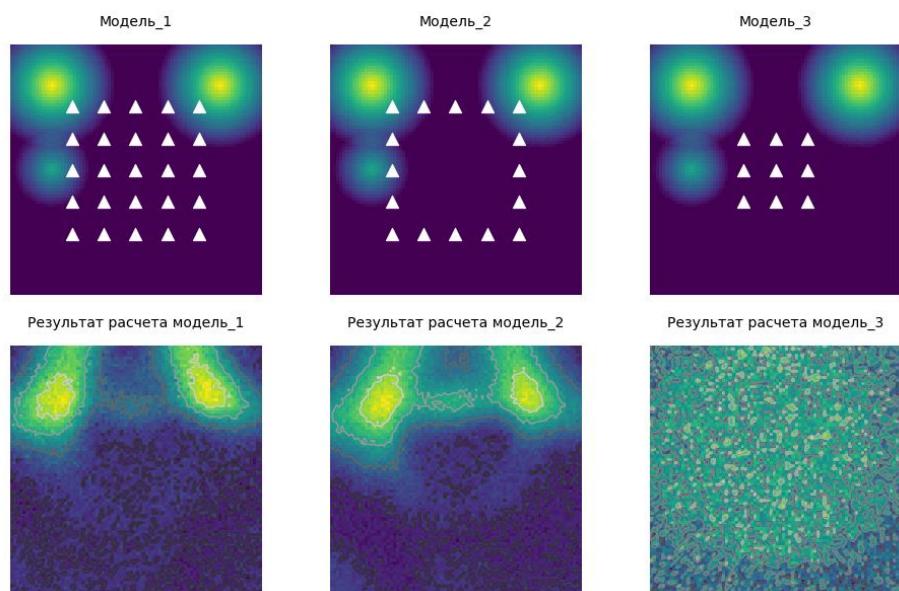


Рис. 3. Результаты расчетов для 1-3 вариантов расстановки приборов

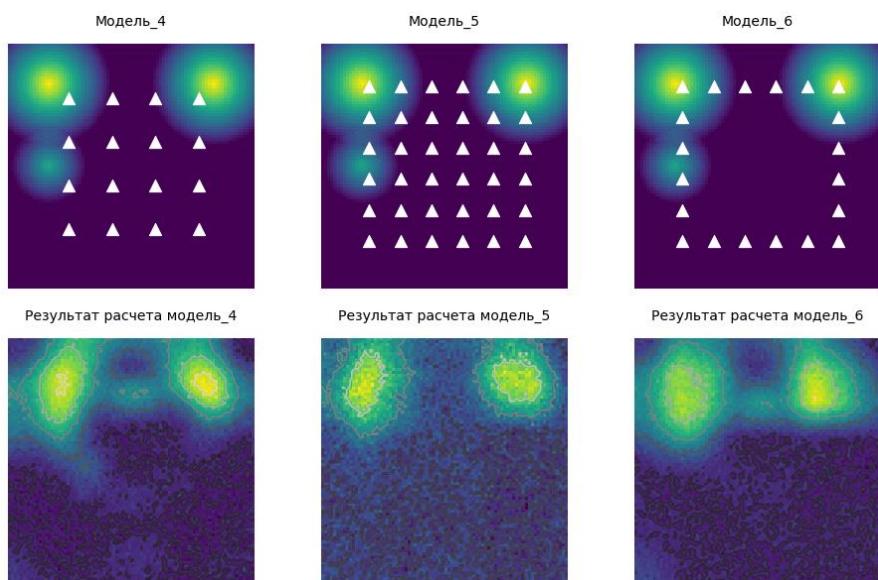


Рис. 4. Результаты расчетов для 4-6 вариантов расстановки приборов

Расчет был проведен для каждого варианта расстановки приборов по всем смоделированным моделям. В каждом варианте оценивалось количество моделей, значения

дельты которых вошли в диапазон от 0 до 0.6 или от 0.6 до 1 (рис. 5). Результаты показали, что точное оконтуривание происходит при расстановке 16, 36, 20 приборов (модель 4, 5, 6 соответственно). Так как наша цель выявить оптимальное количество приборов, то самым оптимальным вариантом расстановки оказался 4 вариант: расчетные модели имеют малое расхождение с модельными данными и используется 16 датчиков, которые без потери данных регистрируют микросейсмический сигнал.

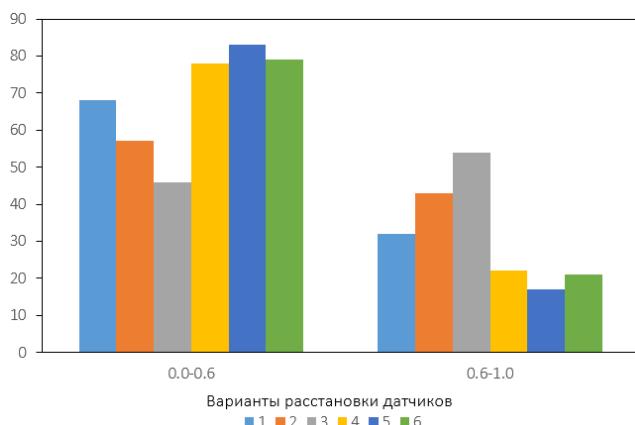


Рис. 5. Гистограмма итоговых расчетов

Таким образом, в настоящей работе было проведено исследование на выявление оптимальной расстановки приборов при оконтуривании залежи методом Монте-Карло. В расчетах учитывалось разное местоположение залежи. Результаты исследований показали, в случае расстановки приборов 4-ым вариантом, оконтуривание залежи методом Монте-Карло имеет хорошую сходимость рассчитанных моделей с геологическими моделями.

Выявление оптимального количества сейсмоприемников и изменение расстояния между ними поможет одновременно фиксировать микросейсмический сигнал, и за более короткий промежуток времени проводить съемочный этап работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Графов Б.М. и др. Анализ геоакустического излучения низкочастотной залежи при использовании технологии АНЧАР// Геофизика – 1996.–№5. – С. 24-28.
- Еремин Р. А., Сюраева К.В., Подъячев А. А. Спектральные характеристики микросейсмических сигналов при низкочастотном сейсмическом зондировании // Нефть. Газ. Новации. – 2021. – №1. – С. 64-67.
- Рыжов В. А., Кипоть В.Л., Биряльцев Е. В. Параметризация спектров в технологии низкочастотного сейсмического зондирования на основе вейвлет-преобразования // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2008. – № 5 (65). – С. 58-62.
- Подъячев А. А., Никитин В.И. Применение пакетов символьных вычислений при анализе сигнала микросейсмической эмиссии // Нефть. Газ. Новации. – 2018. – №10. – С. 65-67.
- Сюраева К. В., Еремин Р. А., Подъячев А. А. Моделирование Монте-Карло при интерпретации данных низкочастотного сейсмического зондирования // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2021. – №11 (347). – С. 57-60.

ARRANGEMENT OF SEISMIC SENSORS IN THE PASSIVE METHOD OF SEISMIC EXPLORATION USING THE MONTE CARLO METHOD

¹*Syuraeva Ksenia, ²Zhivaeva Vera*

Samara State Technical University, Samara

¹*syuraeva94@mail.ru, ²bngssamgtu@mail.ru*

Summary. The article presents the results of contouring a hydrocarbon deposit on model data using the Monte Carlo method, and identifies the optimal arrangement of instruments for microseismic sounding. The complete calculation algorithm is implemented in the Python programming language using freely distributed libraries.

Key words: delineation of hydrocarbon deposits, Monte-Carlo method, micro-seismic survey (MSS), low-frequency seismic sounding (LSS), processing of micro-seismic signals, interpretation of LSS data.

УДК 550.832

КОМПЛЕКСНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ МАЛОГЛУБИННЫХ СКВАЖИННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

¹*Тезиков Артемий Дмитриевич, ²Трапезникова Анна Борисовна*

¹*ПГНИУ, г. Пермь*

²*Горный Институт УрО РАН, г. Пермь*

Аннотация. В работе представлены результаты комплексной интерпретации данных малоглубинного продольного вертикального сейсмического профилирования и геофизических исследований в малоглубинных скважинах. Продемонстрирована возможность совместной интерпретации данных методов для получения наиболее точной информации о физических и литологических свойствах разреза в интервале малых глубин, а также для геологической привязки сейсмических отражающих горизонтов.

Ключевые слова: вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП), геофизические исследования в скважинах (ГИС), акустический каротаж (АК), продольные скорости, геологическая привязка.

Обеспечение безопасности ведения горных работ на месторождениях водорасторимых полезных ископаемых требует детализации геологического строения надсолианых отложений и информацию об их упругих свойствах. В рамках решения данной задачи скважинные геофизические исследования традиционно играют важную роль. Методические особенности проведения ГИС и ВСП в интервале малых глубин связаны с литологическим составом и прочностными свойствами породного массива, поскольку верхняя часть разреза представлена сильно дислоцированными и преобразованными породами. В связи с обилием водоносных горизонтов, в верхней части разреза фиксируются много зон обводнённости породного массива. Интервалы малых глубин также подвержены влиянию различных техногенных факторов. Все вышеперечисленные причины обуславливают методические особенности проведения геофизических исследований на малых глубинах.

Проведение геофизических исследований в интервалах надсолианой части разреза позволяет сделать предположения о локализации аномальных зон различных типов: зоны разуплотнения породного массива, ведущие к нарушению его целостности и последующему оседанию; зоны повышенной обводнённости и замещения пород; а также местоположения опорных пластов, выступающих в качестве отражающих горизонтов, составляющих каркас сейсмогеологических моделей.

Для анализа состава и свойств породного массива на исследуемом участке в скважинах выполнен комплекс малоглубинных геофизических исследований и продольное вертикальное сейсмическое профилирование.

Комплекс ГИС, выполненный в скважинах, в том числе включал в себя акустический каротаж, необходимый для получения прямой информации о динамических скоростных свойствах прискважинного породного массива. Акустические исследования проводились в условиях открытого ствола на глинистом буровом растворе с плотностью 1,10 г/см³. Основная цель интерпретации ГИС в данном исследовании - обеспечение привязки сейсмических отражений, полученных по данным ПВСП, и анализа упругих свойств массива.

В целом качество полученных материалов ГИС в рассматриваемых скважинах оценивается как удовлетворительное. Контроль качества каротажных данных, обработка и интерпретация проведены в программном комплексе «WellCAD» компании Advanced Logic Technology [4].

Снижение качества кривых акустического каротажа в основном связано с влиянием каверн в интервалах размытых глинистых пород, наличием выбросов и срывов фаз. В интервалах искажения показаний кривых проводилась корректировка данных. Привязка данных по глубине выполнялась с учетом результатов инклинометрических исследований и имеющихся кривых гамма-каротажа. После проведения привязки выполнена процедура нормировки полученных данных на опорные скважины. В качестве опорных выбраны скважины с наиболее высоким качеством каротажного материала.

Для оценки состава породного массива выполнено петрофизическое моделирование. Построение объемной петрофизической модели основано на одновременном решении системы уравнений, описывавших породообразующий объем с помощью комплекса методов ГИС. Методика построения основывалась на итерационном инверсионном переборе, с вовлечением максимального количества методов и расчетных кривых в этапированной модели. В качестве опорных данных использовались имеющееся литолого-стратиграфическое описание керна скважин и априорная геолого-геофизическая информация. При проверке сходимости полученной объемной петрофизической модели с априорной геологической информацией производилось уменьшение используемых методов и введение дополнительных пользовательских поправок. На данном этапе исследования объемная петрофизическая модель исследуемого разреза представлена в виде пятикомпонентной модели, включающей: глинистую и карбонатную составляющую, алевролитовую, гипсовую и потенциальных разуплотнённых пластов. В связи с ограниченностью проведенного комплекса стоит учитывать определенные сложности при корреляции геологической информации с другими скважинами участка.

В рамках интерпретации АК рассчитаны скорости пробега продольных (Р) волн. Осложнение волновой картины при регистрации интервальных времен пробега продольных волн обусловлено сильной дислоцированностью разреза. По данным анализа керновых материалов установлено, что интервал проведения акустических исследований в скважинах сложен четвертичными отложениями и размытыми отложениями надсолевого комплекса пород. Породы надсолевого комплекса представлены переработанными терригенно-карбонатными пластами с включениями слоев сульфатов и солей. Разрез зачастую представлен в виде обломков пород до дресвы и щебня, наблюдаются частично сохранившиеся цельные пласти гипсов и солей. Наличие вышеприведённых факторов препятствует прохождению сигнала от акустического зонда к породному массиву и обратно и ослабляет регистрируемый сигнал до уровня аппаратурных шумов, порой не несущих достоверной информации об упругих свойствах породного массива [2].

На основании полученной информации о скорости пробега Р-волн сформированы скоростные модели, используемые впоследствии при обработке и интерпретации данных сейсмических скважинных исследований.

Сейсмические скважинные исследования проведены по методике продольного вертикального сейсмического профилирования. Метод основан на возбуждении сейсмического сигнала на земной поверхности вблизи скважины и регистрации сейсмических данных приемниками, погруженными в скважину, с последующим определением времени пробега упругих волн и построением скоростной модели вдоль ствола скважины [1].

Для регистрации использовалась пьезокерамическая гидрофонная коса с 24 каналами. Возбуждение упругих волн на поверхности осуществлялось с помощью электромеханического ударного источника с энергией удара 700 кДж.

Обработка и интерпретация данных ПВСП производились с помощью программного комплекса «RadExPro» [3]. В рамках этапа выполнены следующие процедуры: ввод исходных данных и присвоение заголовков; полосовая и когерентная фильтрация записи; выделение поля первых вступлений на сейсмограмме; построение скоростных моделей (рис. 1).

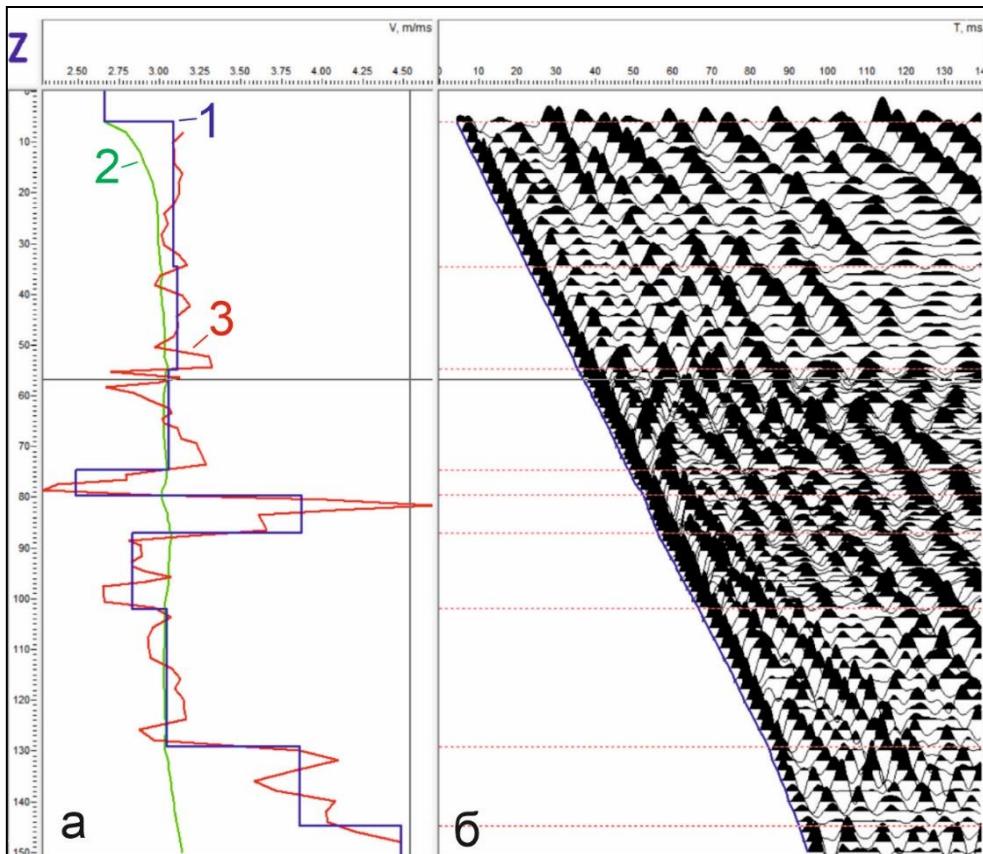


Рис. 1. Скоростные модели вдоль ствола скважины (а) и фрагмент сейсмограммы ВСП (б). 1 – пластовая скоростная модель; 2 – средняя скорость; 3 – интервальная скорость, рассчитанная из наклона гидографа первых вступлений на сейсмограмме ВСП

Далее произведено осреднение полученной модели интервальных скоростей на базе 5 точек для устранения резких всплесков, вызванных неточностями при выделении первых вступлений. В результате получена сглаженная модель интервальных скоростей (рис. 2), которая используется для сопоставления с данными акустического каротажа в скважине.

При сопоставлении полученных данных АК и ПВСП можно сделать заключение, что интервальные и средние скорости ложатся в общий тренд. По данным НВСП наблюдается повышенные скорости относительно данных АК, что обусловлено сильной дислокированностью разреза влияющей на качество записи данных АК и не несущих существенных погрешностей в измерении сейсмических скважинных методов.

Распределение скоростей по данным АК составляют: максимальные значение скорости продольной волны отвечают значениям 3979 м/с при средних 2687 м/с и минимальной 1423 м/с. Средние пластовые скорости составляют 2655 м/с при максимальной 2464 м/с и минимальной 1834 м/с.

По данным вертикального продольного сейсмического профилирования средние распределения скоростей в породном массиве составляют порядка 3176 м/с при максимальных 4358 м/с и минимальных 2286 м/с.

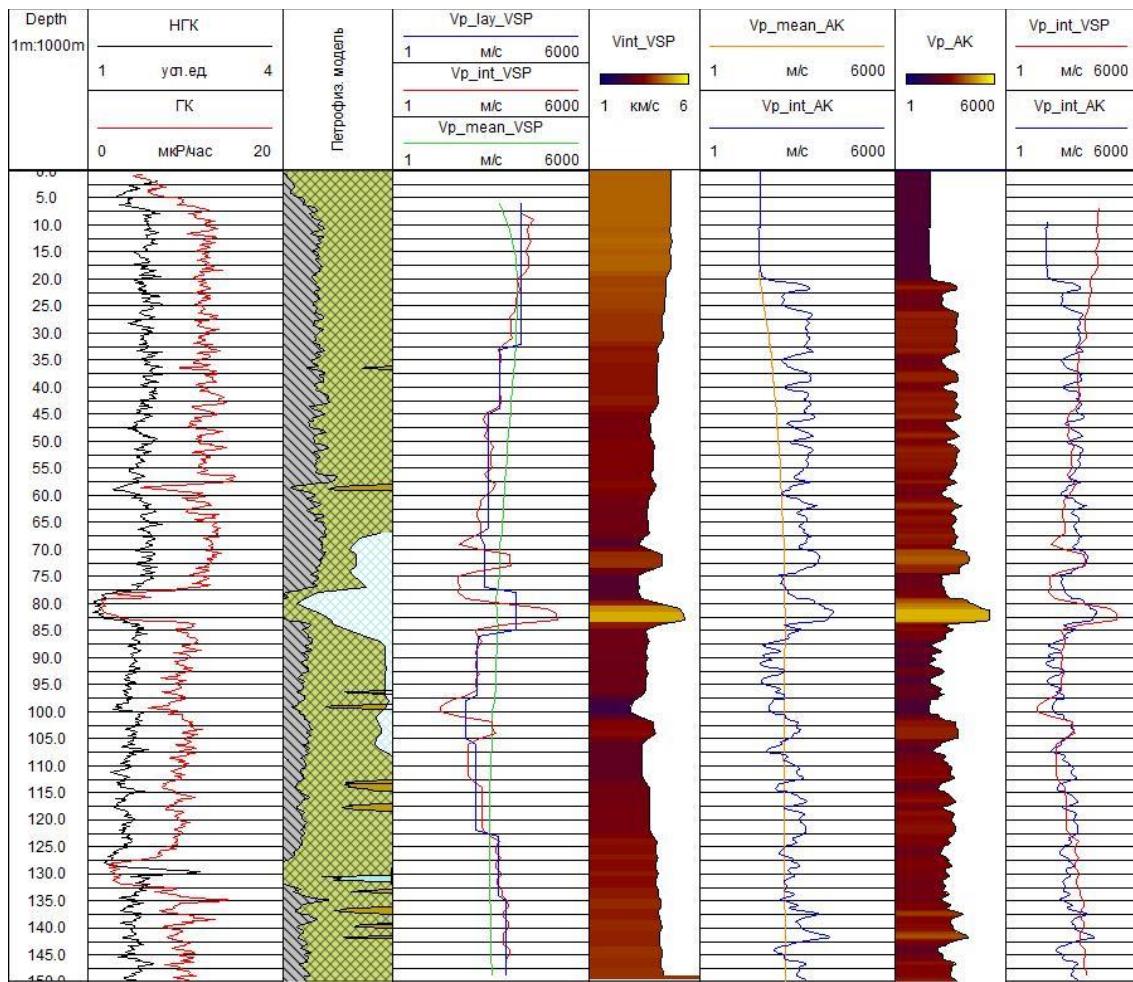


Рис. 2. Сопоставление результатов продольного ВСП и АК в скважине

Комплексная интерпретация АК и ПВСП позволили проанализировать состав породного массива на основе объемной петрофизической модели и дать оценку упругим свойствам породного массива. На основе полученной информации о распределении скоростных характеристик пород, в исследуемом интервале разреза выделены высокоскоростные пластины относительной вмещающих пород (рис. 2). Выделенные пластины прослеживаются в пределах всего участка исследований. По данным петрофизического моделирования они охарактеризованы как гипсовая и мергель-гипсовая порода. Данные пластины отличаются повышенной акустической жесткостью значения которой составляют порядка 9100-9900 г/см³*м/с. Пластины гипсовой породы характеризуются высокой плотностью – 2,3 г/см³ и скоростями продольных волн порядка 3600-4400 м/с, при средних для данного интервала разреза в 2300-2600 м/с. Верхняя граница выделенных слоев в структурном плане соответствует общему положению гипсового зеркала в пределах исследуемого участка.

Полученные результаты комплексной интерпретации методов лягут в основу сейсмогеологических моделей, используемых как опорная информация при интерпретации и обработке данных сейсморазведочных работ. Выделенные высокоскоростные пластины гипсовой породы могут быть использованы в качестве опорных отражающих горизонтов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ (рег. номер проекта 122012000401-7).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гальперин Е.А. Вертикальное сейсмическое профилирование. М.: Недра, 1982. – 344 с.
2. Mavko G., Mukerji T., Dvorkin J. The rock physics handbook. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. – 756 p.
3. RadExPro Plus 2020 – руководство пользователя. М., 2020.
4. WellCAD программное обеспечение для сбора и обработки журналов ГИС. Руководство пользователя. М., 2020.

COMPREHENSIVE INTERPRETATION OF SHALLOW DEPTH WELL GEOPHYSICAL SURVEYS

¹*Tezikov Artemii, ²Trapeznikova Anna*

¹*PSU, Perm, ²MI UB RAS, Perm*

¹*artemii.tezikov@gmail.com, ²a.b.trapeznikova@gmail.com*

Annotation. The paper presents the results of a comprehensive data interpretation of shallow depth vertical seismic profiling and geophysical surveys in shallow wells. The possibility of an integrated interpretation of these methods in order to obtain the most accurate information about the physical and lithological properties of the rocks in the shallow depth interval, as well as for the seismic well-tie is demonstrated.

Keywords: vertical seismic profiling (VSP), well logging, acoustic logging (DT), longitudinal wave velocities, well tie.

УДК 550.34.016+550.34.013.2+550.348.425+550.348

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРИ ВЗРЫВАХ НА ГРАНИТНОМ КАРЬЕРЕ В БЕЛАРУСИ

¹*Терещенко Ксения Валерьевна, ¹Аронов Аркадий Гесселевич,*

¹*Беляева Виктория Александровна, ¹Курсевич Алексей Александрович,*

¹*Мартинович Юлия Витальевна, ²Орловский Вячеслав Чеславович*

¹*Центр геофизического мониторинга НАН Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь*

¹*aronov@cgm.by, ¹tsiareshchenko@cgm.by, ¹bialayeva@cgm.by,*

¹*kursevich@cgm.by, ¹martsinovich@cgm.by, ²to@granit.by*

²*Республиканское унитарное производственное предприятие «Гранит»*

Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь,

г. Микашевичи, Республика Беларусь

Аннотация. Статья посвящена определению влияния взрывных работ в гранитном карьере «Микашевичи» на здания и сооружения города Микашевичи. Оценка сейсмических воздействий проводилась на основе данных инструментальных наблюдений цифровыми станциями с короткопериодными трехкомпонентными сейсмометрами.

Ключевые слова: промышленные взрывы, сейсмологические наблюдения, скорость смещения грунта, сейсмическое воздействие.

Месторождение строительного камня «Микашевичи» расположено в 500 м к западу от г. Микашевичи Лунинецкого района Брестской области. Карьер в настоящее время имеет размеры 2760 м с запада на восток и 1770 м с севера на юг. Глубина карьерной выработки составляет 150 м, что на 20 м ниже уровня Балтийского моря. Восточная граница месторождения пролегает на расстоянии около 1 км от жилой застройки г. Микашевичи [2].

Буровзрывные работы в карьере необходимы для отбойки и рыхления породы с целью обеспечения дробильно-сортировочных заводов взорванной горной массой. Из-за большого водопритока водоносного горизонта кристаллических пород и трещиноватости пород большинство скважин обводнено. Высота водяного столба в скважинах от 3 до 15 метров. В связи с этим применяются взрывчатые вещества ЭВВ Нитрониты марок Э-70, Э-100, ВВПЭ «Нитробел», а также водоустойчивые ВВ (Эмульсен-ГА). В нижней части относительно сухих скважин и в верхней части обводненных скважин применяются Нитронит Э-50. Заряды размещаются в скважинах диаметром 250 мм, 215 мм, 165 мм, 165 мм, 152 мм. В качестве средств взрывания применяются системы неэлектрического инициирования «Искра» или «Импульс» с интервалами замедления 25 мс, 42 мс, 67 мс. Способ взрывания (инициирования) – с помощью устройства пускового электронного УПЭ – 1.5/4 с использованием волноотвода. Скважины вертикальные, наклонные. Расположение скважин прямоугольное, квадратное, в шахматном порядке.

Сейсмологические наблюдения и регистрация промышленных взрывов в гранитном карьере «Микашевичи» проводились с 20.08.2021 по 26.11.2021. Для регистрации взрывов были организованы два наблюдательных пункта: «Гранит 1» и «Гранит 2». На этих пунктах были установлены сейсмические станции в составе регистратора сигналов Delta 03M (изготовитель ГЕОТЕХ, Россия) и короткопериодного трехкомпонентного сейсмометра LE3-dlite Mk III/1s (изготовитель Lennartz, Германия). Пункт «Гранит 1» был организован вблизи борта карьера, а пункт «Гранит 2» в зоне жилой застройки. В процессе исследований были организованы дополнительные пункты наблюдений с аналогичным оборудованием на удалении от 2.6 до 2.9 км от центра карьера (рис. 1).

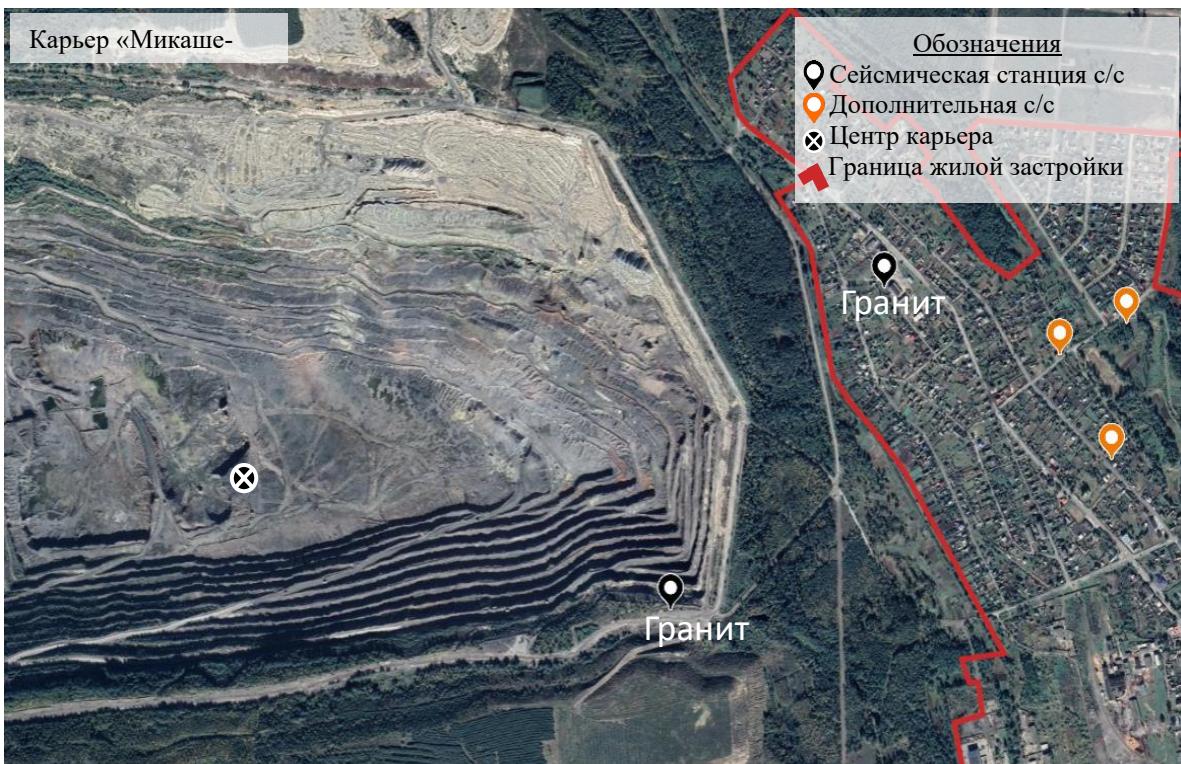


Рис. 1. Схема расположения сейсмических станций

Для обработки записей сейсмологических наблюдений и расчета параметров использовались программы: WSG [6] и др. При этом выполнялись и теоретические расчеты для оценки степени сейсмических воздействий.

Наиболее распространенным критерием сейсмической опасности, является векторная скорость колебаний грунта V_Σ у оснований охраняемых зданий и сооружений. Экспериментальные исследования показали, что по сравнению с амплитудой смещения и ускорением смещения, скорость смещения наилучшим образом коррелирует с начальными повреждениями зданий и сооружений [1, 3, 7, 9].

Вместе с тем, несмотря на то что скорость смещений грунта практически общепринята как мера оценки устойчивости зданий, ее допустимые значения существенно различаются, так как зависят от типа и конструктивных особенностей зданий, параметров грунта, характера взаимодействия с грунтом и целого ряда других факторов. Из литературных источников следует, что основные допустимые значения скоростей смещения грунта находятся в пределах 1-3 см/с [3, 4].

Частотный спектр всех составляющих волновых форм записей взрывов в основном находится в пределах до 30 Гц. При этом спектры записей волновых форм взрывов, произведенных в различные дни и имеющие отличительные характеристики, близки по частотным характеристикам.

Максимальные амплитуды различных составляющих записей волновых форм взрыва превышают уровень микросейсмического фона в 10 и более раз. Максимальное значение суммарной векторной скорости движения частиц грунта составляет 4500 мкм/с, которое наблюдается для взрыва 22.10.2021 с мощностью 121156 кг в тротиловом эквиваленте (рис. 2). Это значение можно округлить до 0.5 см/с, т.е не оказывает значимого негативного воздействия на здания и инженерные сооружения.

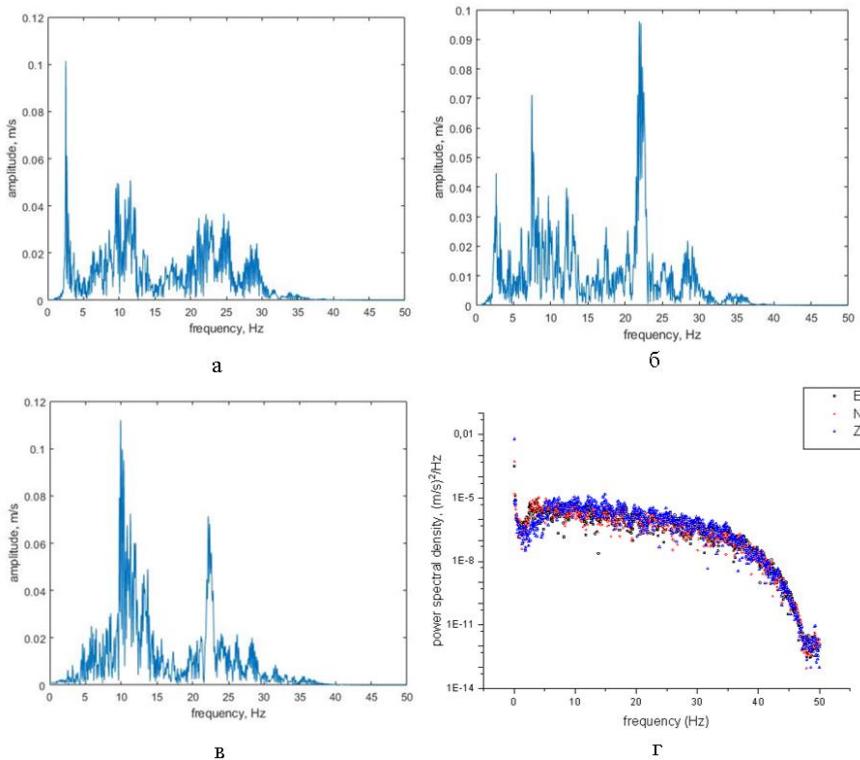


Рис. 2. Спектральный состав микросейсмического фона на пункте наблюдения Гранит 2: а – Z – составляющие; б – N – составляющие; в – E – составляющие, г – спектральная плотность мощности

На рис. 3 сейсмограмма от взрыва 22.10.2021. Как видно, данные сейсмических станций дают объективное представление о характере проявления сейсмического эффекта.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- общим для всех волновых форм является частотный состав до 30 Гц, ярко выраженный резонансный эффект, увеличение интенсивности спектральных амплитуд для всех составляющих записи;
- практически для всех взрывов наблюдается интенсивное проявление горизонтальных составляющих в записях сейсмических волн;
- вертикальная составляющая имеет небольшой вес в значениях суммарной скорости движения частиц грунта.

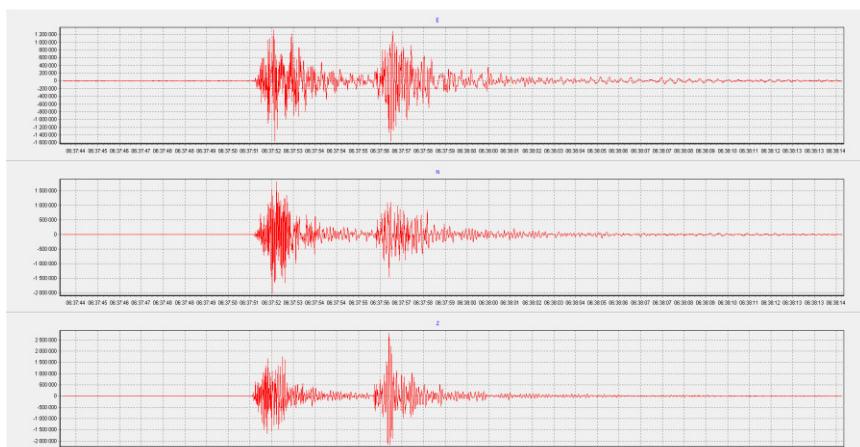


Рис. 3. Сейсмограмма взрыва 22.10.2021 мощностью 121156 кг

На рис. 4 показана зависимость максимальной скорости частиц грунта от приведенного расстояния. Для построения графика использовались данные, полученные по результатам наблюдений за весь период. Значение максимального уровня сейсмического воздействия на графике (рис. 4) взято [11].

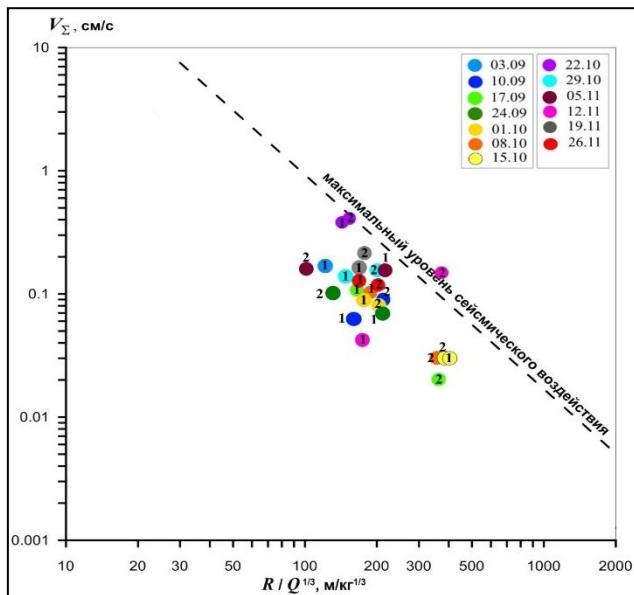


Рис. 4. Зависимость максимальной скорости частиц грунта от приведенного расстояния: 1 – первый взрыв, 2 – второй взрыв

В качестве основного критерия оценки сейсмической опасности использовалось значение суммарной векторной скорости движения частиц (колебаний) грунта, максимальное значение которого по результатам обработки данных сейсмологических наблюдений не превысило 0.5 см/с и макросейсмический эффект на жилую застройку от массовых промышленных взрывов не превысил 4 баллов по шкале MSK-64 [5, 8, 10]. Таким образом, инструментально зарегистрированные и изученные взрывы на гранитном карьере «Микашевичи» позволяют сделать вывод о том, что они не оказывают критического сейсмического воздействия на состояние зданий и сооружений. По результатам исследований подготовлена программа дальнейших работ по уточнению параметров сейсмических воздействий для использования при оптимизации буровзрывных работ на карьере.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адушкин В.В., Спивак А.А. Геомеханика крупномасштабных взрывов. М.: Недра, 1993. – 319 с.
2. История предприятия РУПП «Гранит». URL: <https://granit.by/about/history> (дата обращения: 11.08.2022).
3. Кутузов Б.Н. Взрывные работы. М.: Недра, 1988. – 284 с.
4. Медведев С.В. Сейсмика горных взрывов. М.: Недра, 1964. – 188 с.
5. Оценка сейсмической опасности и сейсмического риска / Ф.Ф. Аптикаев, В.Г. Гиттис, Г.Л. Кофф, Н.И. Фролова. М.: ОИФЗ РАН, 1997. – 54 с.
6. Пат. № 2020664678 Российская Федерация. Программный комплекс WSG «Система обработки сейсмических данных»; № 2020663791: заявл. 10.11.2020: опубл. 16.11.2020 / А.П. Акимов, С.А. Красилов (RU); правообладатель ФБГНУ Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук». – 1 с.

7. Садовский М. А. Простейшие приемы определения сейсмической безопасности. М.: ИГД ММ СССР, 1946. – 28 с.
8. Садовский М. А., Костюченко В. Н. О сейсмическом действии подземных взрывов // Докл. АН СССР. М., 1974. Т. 25. №25. – С. 1097–1100.
9. Садовский М.А. Сейсмический эффект взрывов. М., 1939.
10. Цейтлин Я.И., Смолий Н.И. Сейсмический и ударные воздушные волны промышленных взрывов. М.: Недра, 1981. – 192 с.
11. Лаборатория ПТС ГИ УрО РАН. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://pts.mi-perm.ru/?page_id=87 (дата обращения: 31.01.2023)

ASSESSMENT OF THE SEISMIC IMPACTS OF EXPLOSIONS IN THE GRANITE QUARRY IN BELARUS

^{1*}*Tsiareshchanka Kseniya*, ^{2*}*Aronov Arkady*, ^{3*}*Bialiayeva Viktoriia*, ^{4*}*Kursevich Alexey*,

^{5*}*Martsinovich Yuliya*, ^{6**}*Arlouski Vyachaslau*

**The Centre of Geophysical Monitoring of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

***Republican Unitary Production Enterprise «Granit» of the Ministry of Architecture and Construction, Mikashevichi, Belarus*

^{1*}*tsiareshchenko@cgm.by*, ^{2*}*aronov@cgm.by*, ^{3*}*bialiayeva@cgm.by*, ^{4*}*kursevich@cgm.by*,
^{5*}*martsinovich@cgm.by*, ^{6*}*to@granit.by*

Summary. The paper deals with the determination of the impact of blasting operations in the “Mikashevichy” granite quarry on the buildings and facilities in the town of Mikashevichy. An assessment of the seismic impacts was made on the basis of data obtained by the instrumental observations carried out at the digital stations equipped with short-period three-components seismometers.

Key words: industrial explosions, seismological observations, ground motion velocity, seismic impact.

УДК 553.411.071

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ОРУДЕНЕНИЯ ЗОЛОТО-МЕДНО-ПОРФИРОВОГО ТИПА НА ПОНИЙСКОМ УЧАСТКЕ ПРИАМУРСКОЙ ВУЛКАНО-ПЛУТОНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)

*Федоров Владимир Геннадьевич
Томский Политехнический Университет, г. Томск
vgf2@tpu.ru*

Аннотация. Медно-порфировые месторождения с рудами прожилково-вкрашенного типа являются главными источниками меди – около 62% мировой добычи. Месторождения данного типа как правило крупные и отличаются комплексным многометальным составом руд. Содержания меди обычно колеблется от 0.16% до 0.9%, золота 0.15-0.9 г/т. В связи с этим высока актуальность анализа особенностей генерации месторождений данного типа и выявления их геофизических признаков.

Ключевые слова: Сихотэ-Алинь, оруденение золото-медно-порфирового типа, кварцевые диориты, магниторазведка, геофизические исследования скважин.

Понийский перспективный участок общей площадью 32 км² в административном плане относится к Комсомольскому району Хабаровского края и находится в 60 км к юго-востоку от районного центра г. Комсомольск-на-Амуре, расположенного в 352 км от г. Хабаровска.

На участке выявлено прожилково-вкрашенное оруденение золото-медно-порфирового типа. Рудные объекты данного типа входят в состав семейства медно-порфировых месторождений, все члены которого, главным образом, связаны с порфировыми интрузиями от лейкогранитового до монцонитового состава. Месторождения этого семейства распространены по всему миру, однако основная их часть размещается в мезозойских и кайнозойских отложениях восточного и юго-западного обрамлений Тихого океана, называемые еще Тихоокеанским кольцом. Их положение указывает на то, что главным глобальным геотектоническим фактором размещения крупных медно-порфировых месторождений являются структуры границ конвергенции (зоны субдукции) литосферных плит, а также островодужные и окраинно-континентальные надсубдукционные вулкано-плутонические пояса (ВПП) и ВПП границ скольжения литосферных плит (трансформные границы). Нужно подчеркнуть, что Восточные районы России – естественный элемент Тихоокеанского кольца [4].

Понийский перспективный участок, как и известное крупное месторождение золото-медно-порфирового типа Малмыж, размещается в Приамурской вулкано-плутонической зоне Сихотэ-Алинской складчатой системы. Металлогению Сихотэ-Алинской складчатой системы, в геофизическом аспекте, связывают с одноименным региональным гравитационным минимумом силы тяжести. Природа разуплотнения, предположительно, обусловлена очаговой гранитизацией глубинного субстрата меланократового состава, рассматриваемого в качестве возможного источника золота [3]. Вдоль простирации зоны разуплотнения наблюдаются обширные ореолы золотоносности и редкометального оруденения с зональным распределением. В ее центре в пределах купольных структур преимущественно развито оловянное оруденение, далее от центра по периферии

куполов – вольфрамовое и золото-вольфрамовое. В межкупольном пространстве размещаются золоторудные месторождения (рис. 1).

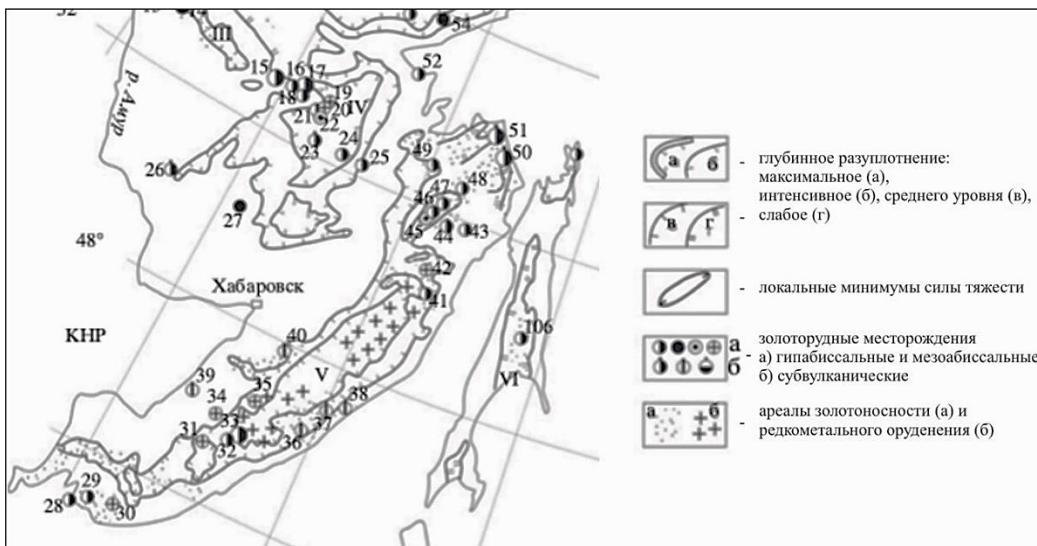


Рис. 1. Соотношение золотого и редкометального оруденения с глубинными структурами разуплотнения в Сихотэ-Алинской складчато-формационной зоне

Контроль оруденения складчатой системы со стороны разрывной тектоники осуществлялся Центрально-Сихотэ-Алинским глубинным разломом (рис. 2).

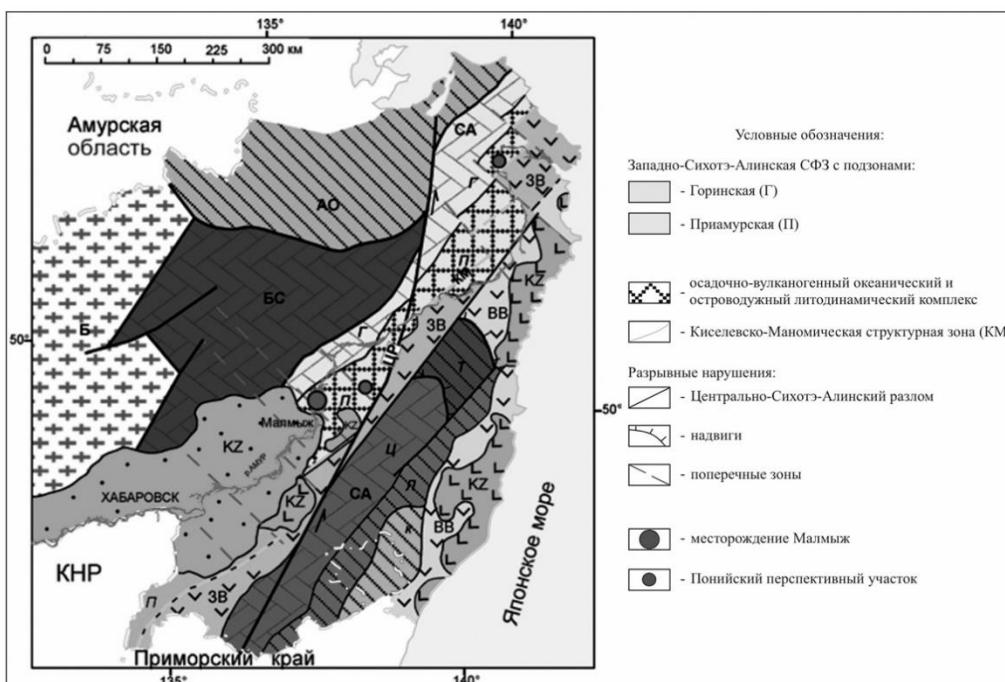


Рис. 2. Тектоническая схема Нижнего Приамурья

Главным тектоническим нарушением Понийского участка является Понийский разлом с несколькими оперяющими ветвями, по которым происходило внедрение тел нижнеамурского интрузивного комплекса. В составе комплекса выделяют три фазы. В первую фазу включают монцониты, во вторую – кварцевые диориты и кварцевые диорит-порфиры, в третью – гранодиориты. Золотая и медная минерализация связана с кварцевыми диорит-порфирами второй фазы внедрения. Гранодиориты третьей фазы на

Понийском участке не встречаются, но достаточно широко проявлены на месторождении Малмыж.

Инtrузивные тела кварцевых диорит-порфиров второй фазы внедрения на Понийском участке классифицируются как рудопроявления Медное, Ольховое, Грибное и Борхи Тонкая.

При детальном изучении образцов с рудопроявлений было установлено, что нередко в этих породах, к которым приурочено золото-медное оруденение, отмечается присутствие прожилков магнетита и пирротина, что наделяет их высокой магнитной восприимчивостью [1]. Вследствие этого на площади была успешно использована магниторазведка для выявления дайковых тел кварцевых диорит-порфиров на фоне спокойного магнитного поля, соответствующего практически немагнитным терригенно-осадочным отложениям горнопротокской свиты.

Стоит отметить, что нередко осадочные породы изменены вторичными наложенными процессами и прорваны дайками различного вещественного состава, что приводит к появлению небольших локальных аномалий. В зависимости от типа вторичных изменений и состава даек в структуре аномального магнитного поля они проявляются по-разному. Изменения пород вдоль тектонических нарушений (зон дробления и интенсивной трещиноватости), как правило, приводят к появлению отдельных локальных минимумов магнитного поля. Дайки же характеризуются более высокими локальными магнитными аномалиями интенсивностью от первых десятков до сотен нТл.

В качестве примера приведены фрагменты геологической карты и карты графиков магнитного поля с Рудопроявления Медного (рис. 3).

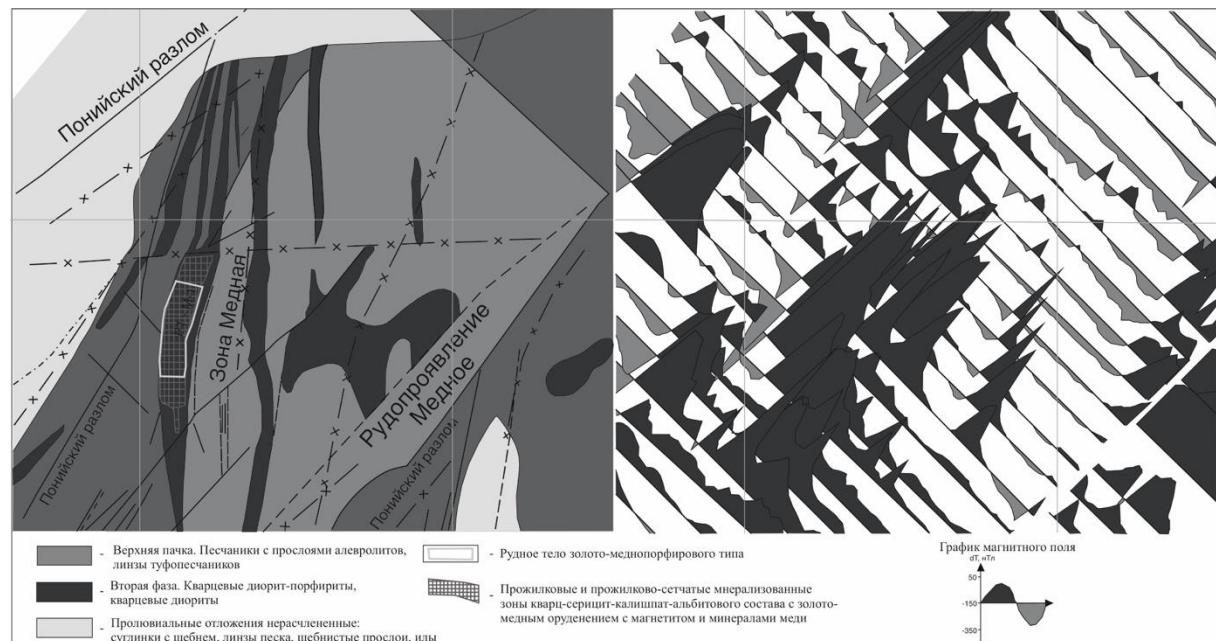


Рис. 3. Рудопроявление Медное и его магнитное поле

В магнитном поле аномалией до 700 нТл хорошо выделяется штокообразное, вытянутое в широтном направлении интрузивное тело, сложенное золото-медносодержащими кварцевыми диорит-порфирами с магнетитовой минерализацией.

Совместный анализ схематической геологической карты и карты графиков ΔT позволил выявить следующие закономерности. Большие изометричные интрузивные тела диорит-порфиров имеют более «спокойные» аномалии с пологими максимумами на карте графиков ΔT , а аномалии от разрывных нарушений во вмещающих осадочных толщах с сопутствующей метасоматической, в том числе и магнетитовой, минерализацией

имеют более пикообразную, резкую форму. Следует отметить, что золото-медное оруденение тяготеет к магнитным метасоматитам, проявленным как по диорит-порфирам, так и по терригенно-осадочным горным породам. При этом собственно рудные тела, в частности рудное тело М-1 (рис. 3), проявлены в близких к нулевым и даже отрицательных значениях ΔT . Размагничивание руд, вероятно, обусловлено замещением более раннего магнетита обильной пиритовой и халькопиритовой минерализацией.

Помимо наземных геофизических исследований на участке проводились комплексные геофизические исследования в поисково-разведочных скважинах (ГИС). Установлено, что при помощи ГИС можно четко выделить не только сами интрузивные тела на фоне вмещающих осадочных пород, но и такие характерные признаки золото-медного оруденения как зоны магнетитовой и сульфидной минерализации, интенсивной трещиноватости и дробления, а также зоны окварцевания [1].

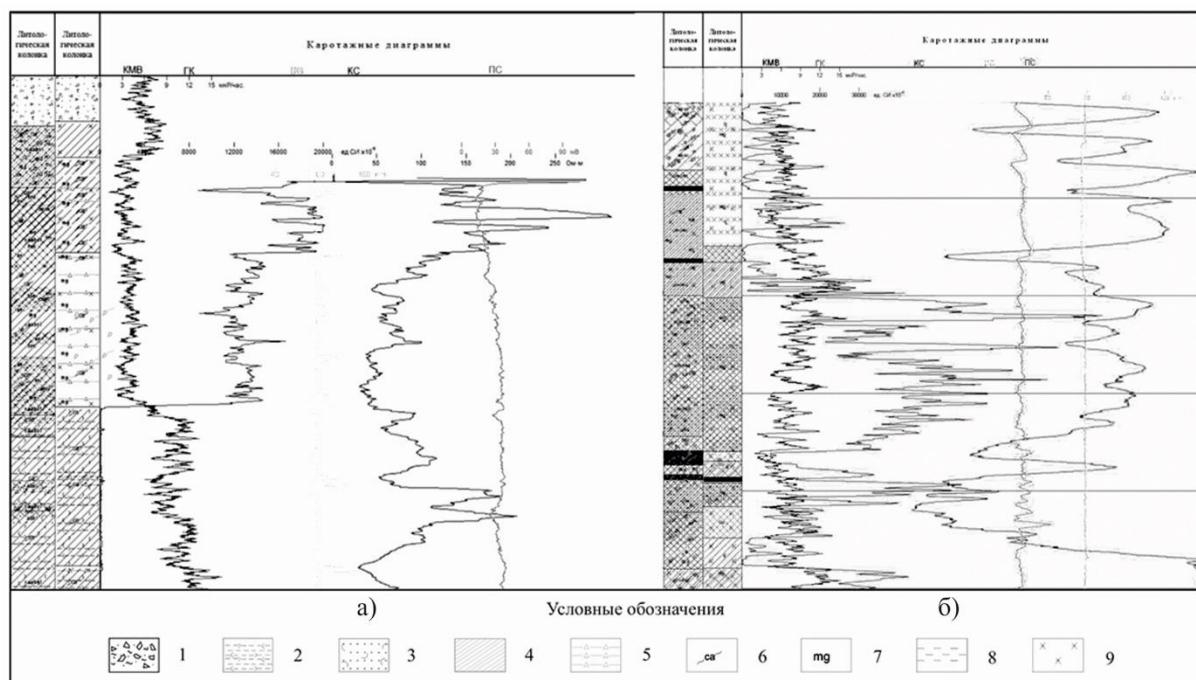


Рис. 4. Проявление кварцевых диорит-порфиров и магнетитовых карбонат-альбит-слюдистых метасоматитов (а) и рудных интервалов (б) на каротажных диаграммах.

1 – делювиальные отложения; 2 – туфогенные алевролиты; 3 – туфогенные песчаники; 4 – карбонат-альбит-слюдистые метасоматиты по диорит-порфирам; 5 – зона дробления; 6 – карбонатные прожилки; 7 - магнетитовые прожилки; 8 – алевролиты; 9 – кварцевые диорит-порфиры

Кварцевые диорит-порфиры выделяются на каротажной диаграмме пониженными устойчивыми значениями радиоактивности, на фоне вмещающих сравнительно высоко радиоактивных туфогенных алевролитов (рис. 4). Определенно четко кварцевые диорит-порфиры выделяются высокими резкими аномалиями магнитной восприимчивости по КМВ на фоне немагнитных терригенно-осадочных пород. Неизмененные или малоизмененные вторичными процессами кварцевые диорит-порфиры характеризуются сравнительно узким диапазоном значений мощности экспозиционной дозы (6-9 мкР/ч) (Рис. 4а). Проявленные по ним карбонат-альбит-слюдистые метасоматиты с обильной прожилковой магнетитовой минерализацией, отличаются прежде всего ураганными значениями магнитной восприимчивости до $80000 * 10^{-5}$ ед.СИ (б). При этом в них заметно снижается до 2-4 мкР/ч создаваемая ими МЭД. Зонам дробления, по каким бы породам они не развивались, свойственно существенное, в разы, снижение удельного

электрического сопротивления. Участки прожилкового окварцевания, приводят к понижению радиоактивности и заметному увеличению кажущегося сопротивления пород.

Развитие более поздней пирит-халькопиритовой минерализации с золотом по кварцевым диорит-порфирам и, тем более, по магнетитовым карбонат-альбит-слюдистым метасоматитам приводило к значительному снижению их магнитной восприимчивости. В этой связи рудным интервалам свойственна чрезвычайно высокая неоднородность по магнитной восприимчивости. Другим, очень важным признаком рудных интервалов является их обогащение радиоактивными элементами. Создаваемая ими МЭД возрастает до 16-18 мкР/ч (Рис. 4б).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отчет АО «Росгеология» «Поисковые работы на золото-кварцевое и золото-медноПорфировое оруднение на Понийском перспективном участке (Хабаровский край)». Госконтракт № 3/2016 от 02 августа 2016 г. Москва, 2018 г. – 306 с.
2. Ерофеев Л.Я., Вахромеев Г.С., Зинченко В.С., Номоконова Г.Г. Физика горных пород: учебник; Томский Политехнический Университет. - 2-е изд. – Т.: Издательство ТПУ, 2009 – 520 с.
3. Эйриш Л. В. О факторах генерации золоторудных систем Дальнего Востока/ Эйриш Л. В// Геология рудных месторождений. – 2009 - №3 – С. 250 – 260
4. Петров О. В., Киселев Е. А., Шпикерман В. И., Змievский Ю. П. Прогноз размещения месторождений золото-медно-порфирового типа в вулкано-плутонических поясах восточных районов России по результатам работ составления листов Госгеолкарты – 1000/3/ Петров О. В., Киселев Е. А., Шпикерман В. И., Змievский Ю. П// Региональная геология и металлогения. – 2019 - №80 – С. 50 – 73

GEOPHYSICAL FEATURES OF PORPHYRY GOLD-COPPER TYPE MINERALIZATION IN THE PONIYSKY SITE OF THE AMUR VOLCANO-PLUTONIC ZONE (KHABAROVSK TERRITORY)

*Fedorov Vladimir Gennadievich
Tomsk Polytechnic University, Tomsk
vgf2@tpu.ru*

Summary. Porphyry copper deposits with vein-disseminated ores are the main sources of copper - about 62% of the world production. Deposits of this type are usually large and characterized by a complex multimetal composition of ores. Copper content usually ranges from 0,16% to 0,9%, gold 0,15-0,9 g/t. In this regard, the analysis of the generation features of this type of deposit and the identification of their geophysical features is highly relevant.

Key words: Sikhote-Alin, porphyry gold-copper type mineralization, quartz diorite, magnetic survey, well log data.

УДК 550.38

ПАРАМЕТРЫ МАГНИТОАКТИВНОГО СЛОЯ ЛИТОСФЕРЫ ПОД ПОЛУОСТРОВОМ ТАЙМЫР

^{*1,2}**Филиппова Алена Игоревна,** ^{**1,2}**Филиппов Сергей Витальевич**

¹**ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк**

²**ИТПЗ РАН, г. Москва**

^{*}aleirk@mail.ru

^{**}sfilip@izmiran.ru

Аннотация. Параметры магнитоактивного слоя литосферы (глубины центра масс, верхней и нижней границ) под полуостровом Таймыр и прилегающими к нему территориями рассчитаны по данным глобальной модели аномального геомагнитного поля EMAG2v3 методом центроида. Минимальные значения глубины верхней границы литосферных магнитных источников (<2.5 км) характерны для всего Таймырского складчатого пояса и рассматриваемой части Сибирской платформы, максимальные (>6 км) – для Северо-Карского бассейна. Минимальные значения глубины нижней границы литосферных магнитных источников (<36 км) приурочены к Евразийскому бассейну и соседними с ним территориями шельфа моря Лаптевых и островов архипелага Северная Земля. Максимальных значений (≥ 48 км) глубина нижней границы достигает под Енисей-Хатангским, Северо-Карским бассейнами и Сибирской платформой.

Ключевые слова: аномальное геомагнитное поле, метод центроида, полуостров Таймыр, магнитоактивный слой литосферы.

Основная задача данной работы состояла в определении параметров магнитоактивного слоя литосферы (глубины центра масс, верхней и нижней границ) под полуостровом Таймыр и прилегающими к нему территориями (70° – 80° N, 80° – 115° E) (рис. 1).

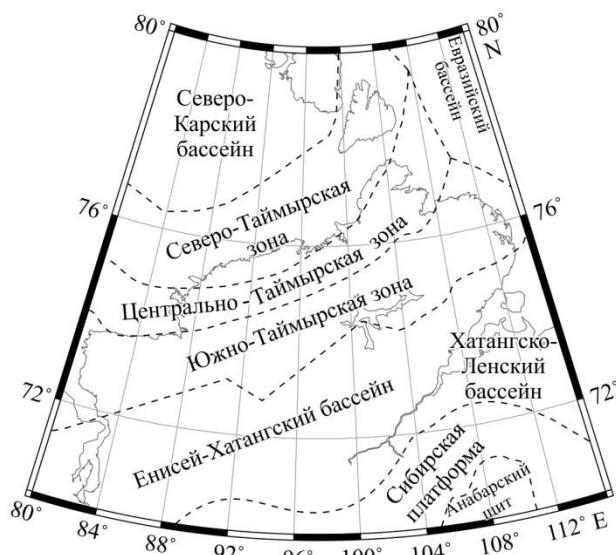


Рис. 1. Тектоническая схема области исследования по [1]

Ранее детальных региональных исследований этих параметров для рассматриваемой территории не проводилось. При этом имеющиеся глобальные распределения глубины

нижней границы литосферных магнитных источников [6, 7] и региональная модель, построенная для всей Арктики [8], демонстрируют существенные разногласия.

В качестве исходного материала для расчетов использовалась наиболее актуальная на текущий момент глобальная модель аномального магнитного поля Земли EMAG2v3 [10]. Аномальное геомагнитное поле в ней приведено к высоте 4 км над уровнем моря и имеет горизонтальное разрешение 2 угловые минуты. Подготовка данных заключалась в их делении на блоки 200 x 200 км вдоль широты и долготы. Для улучшения горизонтального разрешения результатов были выбраны блоки, перекрывающиеся между собой. По долготе перекрытие между соседними блоками составляло 100 км, т.е. половину от размеров выбранного для анализа окна. По широте центральные точки соседних блоков расположены на расстоянии 1°.

Значения глубин центра масс (Z_0) и верхней границы (Z_t) литосферных магнитных источников вычислялись с помощью анализа азимутально-усредненных Фурье-спектров мощности аномалий геомагнитного поля в каждом из блоков 200 x 200 км в соответствии с методом центроида [14]. Глубины Z_0 вычислялись в интервале волновых чисел от максимума спектра, т.е. примерно от 0 рад/км, до 0.04–0.05 рад/км. Как показывают синтетические тесты, использование такого диапазона волновых чисел корректно для расчетов глубины центра масс магнитоактивного слоя мощностью до ~50 км [11]. Для вычислений глубин Z_t использовался интервал волновых чисел от 0.25 до 0.5 рад/км. Глубина нижней границы (Z_b) вычислялась по полученным значениям Z_0 и Z_t исходя из соотношения $Z_b=2Z_0-Z_t$ [14].

Погрешности вычислений глубин рассчитывались с использованием соотношения, предложенного в работе [12]. В результате было получено, что погрешности вычислений глубин Z_0 и Z_t лежат в диапазонах 0.3–2.9 и 0.1–2.0 км соответственно. Среднее значение погрешности для Z_0 составляет около 1,7 км, для Z_t – 0.5 км. Погрешность вычисления глубины Z_b изменяется от 0.6 до 5.0 км, со средним значением ~2.5 км. Распределения погрешностей носят случайный характер.

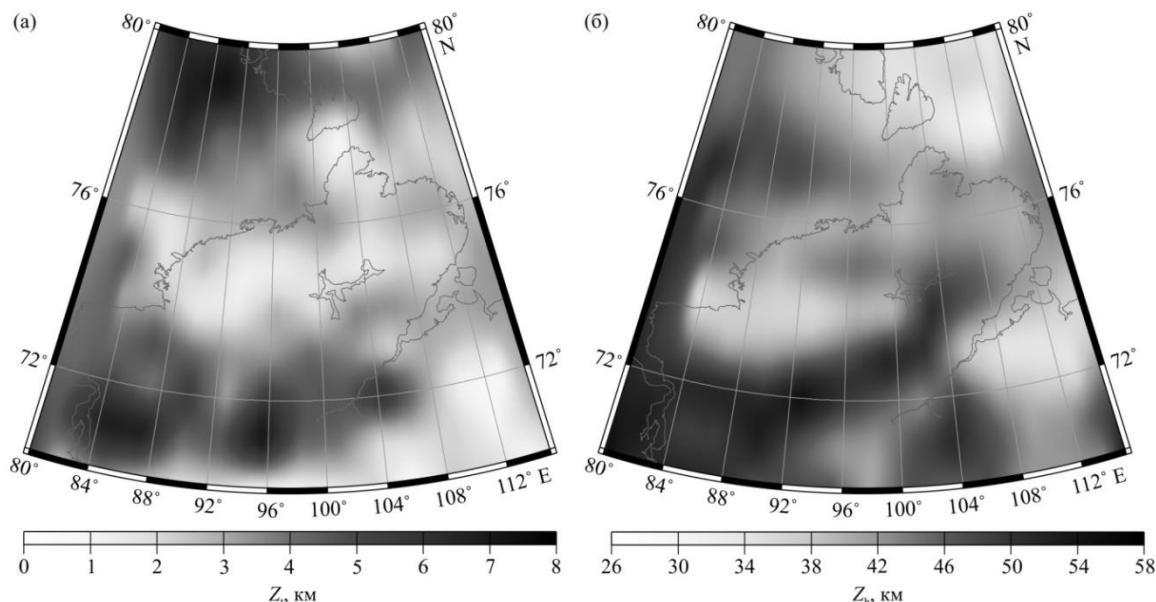


Рис. 2. Глубины верхней (а) и нижней (б) границ литосферных магнитных источников, полученные в данной работе.

Результаты расчетов глубины верхней границы литосферных магнитных источников представлены на рис. 2а. Максимальных значений (>6 км) данный параметр достигает под Северо-Карским бассейном. Тот факт, что максимум глубины Z_t также

частично распространяется под архипелаг Северная Земля, наиболее вероятно, связан с горизонтальным разрешением полученного распределения. Существенно меньшими глубинами Z_t (3.5–4.5 км) характеризуется Евразийский бассейн. На континенте заглубление верхней границы литосферных магнитных источников до 4–6 км наблюдается под Енисей-Хатангским бассейном. При этом Хатангско-Ленский бассейн практически не проявлен, глубина Z_t практически везде под ним составляет не более 2 км, за исключением небольшой локальной области под Хатангским заливом, где она увеличивается до 3.5 км. Практически под всем Таймырским складчатым поясом, включая прибрежные районы Карского моря, значения Z_t изменяются в узком диапазоне примерно от 1.5 до 2.5 км. То же самое относится к рассматриваемой нами части Сибирской платформы, под которой глубина верхней границы литосферных магнитных источников составляет около 1.5 км.

Отметим, что, как и для Восточно-Сибирского моря [2], полученное нами распределение глубины центра масс литосферных магнитных источников (Z_0) идентично распределению глубины нижней границы, представленному на рис. 2б, поэтому отдельно не приводится. Схожесть распределений является следствием того, что $Z_0 \gg Z_t$ и соотношения для Z_b , принятого в методе центроида ($Z_b = 2Z_0 - Z_t$) [14]. Самы глубины Z_0 для рассматриваемой территории изменяются от 16 км под Евразийским бассейном и прилегающими к нему территориями шельфа моря Лаптевых до 29 км под Енисей-Хатангским бассейном.

Полученные нами значения глубины нижней границы литосферных магнитных источников (Z_b) под рассматриваемой территорией изменяются от 30 до 54 км (рис. 2б). Минимальные значения глубин (<36 км) приурочены к Евразийскому бассейну и соседними с ним территориями шельфа моря Лаптевых и островов архипелага Северная Земля. Относительно неглубокое положение нижней границы магнитоактивного слоя литосфера (~36 км) также характерно для Хатангско-Ленского бассейна. Третий по значимости минимум глубины Z_b , в котором она уменьшается до 38 км, наблюдается на западе Южно-Таймырской зоны, а в центре этой зоны Z_b заглубляется до 48 км. Для Центрально-Таймырской и Северо-Таймырской зон в пределах полуострова глубина Z_b составляет 40–44 км, в то же время как части этих зон, расположенные в Карском море, характеризуются глубинами 46–48 км, как и расположенный к северу от них Северо-Карский бассейн. Максимальных значений (50–55 км) Z_b достигает практически повсеместно под Енисей-Хатангским бассейном. Несколько меньшие значения глубины – около 48 км с локальными минимумами до 42 км – наблюдаются под рассматриваемой частью Сибирской платформы.

Сопоставление полученных нами результатов (рис. 2б) с другими моделями глубин нижней границы литосферных магнитных источников [6–8] показывает, что все рассматриваемые распределения характеризуются глубоким положением нижней границы литосферных магнитных источников – до 48–50 км – под Северо-Карским бассейном. Также однозначно выделяется минимум глубины под Евразийским бассейном, для которого значения Z_b составляют от 20–30 км согласно [7, 8] до 25–35 км согласно [6] и данной работе. В пределах континентальной части исследуемой территории разногласия между различными моделями становятся более выраженным. Под Таймыром вариации глубины, проявленные в поднятии Z_b на западе полуострова, не прослеживаются лишь в глобальном распределении [7], вероятно, из-за недостаточного горизонтального разрешения. Однако сами значения глубин по разным источникам изменяются в довольно широких пределах – от 20–25 [7] до 30–40 [6] или даже 30–45 км [8]. Оценки двух последних работ наиболее близки к нашим результатам (рис. 2б). Наибольшие различия в глубинах литосферных магнитных источников наблюдаются под Енисей-Хатангским и Хатангско-Ленским бассейнами. Здесь значения глубин Z_b в моделях [7, 8] существенно меньше

(10–25 км), чем в работе [6], в которой Z_b доходит до 50–55 км, что в целом согласуется с нашими результатами, хотя сам максимум глубины по нашим данным расположен западнее и практически не захватывает Хатангско-Ленский бассейн.

Указанные разногласия частично могут являться следствием использования различных исходных данных. Так, в [7] аномальное геомагнитное поле задавалось моделью EMAG2v2 [9], в [6] для этого брались сферические гармоники 16–100 степени модели LCS-1 [13], а распределение [8] построено на основе компиляции данных геомагнитных съемок для Арктики из работы [5]. Другая причина выявленных несоответствий заключается в применении различных методов инверсии. Модели [7, 8] были получены на основе анализа спектров аномального геомагнитного поля с учетом фрактального характера распределения намагниченности в магнитоактивном слое с единым фиксированным значением фрактального параметра β . Этот параметр существенно зависит от геологического строения исследуемой области [4], следовательно, использование единого значения β для регионов, состоящих из различных тектонических структур, может приводить к ошибкам в оценках глубин залегания литосферных магнитных источников и, соответственно, к отличиям от других моделей инверсий. Следует отметить, что, несмотря на различия в применяемых методах инверсии, результаты данной работы (метод центроида) и работы [6] (метод эквивалентных магнитных диполей) для распределения Z_b во многом схожи между собой, что подмечалось нами ранее для Балтийского щита и Баренцева моря [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасенков А.П., Никишин А.М., Унгер А.В., Бордунов С.И., Луговая О.В., Чикишев А.А., Яковишина Е.В. Тектоника и этапы геологической истории Енисей-Хатангского бассейна и сопряженного Таймырского орогена // Геотектоника. № 2. – С. 23–42. 2016. <https://doi.org/10.7868/S0016853X16020028>
2. Филиппова А.И., Филиппов С.В. Глубины залегания литосферных магнитных источников и тепловой режим литосфера под Восточно-Сибирским морем // Физика Земли. № 4. – С. 71–84. 2022а. <https://doi.org/10.31857/S0002333722040032>
3. Филиппова А.И., Филиппов С.В. Глубины залегания литосферных магнитных источников вдоль профиля «Ковдор – ГСЗ-76» (Балтийский щит – Баренцево море) // Геомагнетизм и Аэрономия. Т. 62. № 6. – С. 781–792. 2022б. <https://doi.org/10.31857/S0016794022060049>
4. Bouligand C., Glen J.M.G., Blakely J. Mapping Curie temperature depth in the western United States with a fractal model for crustal magnetization // J. Geophys. Res. V. 114. B11104. 2009. <https://doi.org/10.1029/2009JB006494>
5. Gaina C., Werner S.C., Saltus R. et al. Circum-Arctic mapping project: new magnetic and gravity anomaly maps of the Arctic // Geol. Soc. Lond. Mem. V. 35. P. 39–48. 2011. <https://doi.org/10.1144/M35.3>
6. Gard M., Hasterok D. A global Curie depth model utilizing the equivalent source magnetic dipole method // Phys. Earth Planet. Inter. V. 313. 106672. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2021.106672>
7. Li C.-F., Lu Y., Wang J. A global reference model of Curie-point depths based on EMAG2 // Sci. Rep. V. 7. 45129. 2017. <https://doi.org/10.1038/srep45129>
8. Lu Y., Li C.-F., Wang J., Wan X. Arctic geothermal structures inferred from Curie-point depths and their geodynamic implications // Tectonophysics. V. 822. 229158. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2021.229158>
9. Maus, S., Barckhausen U., Berkenbosch H. et al. EMAG2: A 2-arc-minute resolution Earth Magnetic Anomaly Grid compiled from satellite, airborne and marine magnetic

- measurements // *Geochem. Geophys. Geosyst.* V. 10. Q08005. 2009. <https://doi.org/10.1029/2009GC002471>
10. Meyer B., Chulliat A., Saltus R. Derivation and error analysis of the earth magnetic anomaly grid at 2 arc min resolution version 3 (EMAG2v3) // *Geochem. Geophys. Geosyst.* V. 18. P. 4522–4537. 2017. <https://doi.org/10.1002/2017GC007280>
11. Núñez Demarco P., Prezzi C., Sánchez Bettucci L. Review of Curie point depth determination through different spectral methods applied to magnetic data // *Geophys. J. Int.* V. 224. № 1. P. 17–39. 2021. <https://doi.org/10.1093/gji/ggaa361>
12. Okubo Y., Matsunaga T. Curie point depth in northeast Japan and its correlation with regional thermal structure and seismicity // *J. Geophys. Res.* V. 99. № B11. P. 22363–22371. 1994.
13. Olsen N., Ravat D., Finlay C.C., Kother L.K. LCS-1: a high-resolution global model of the lithospheric magnetic field derived from CHAMP and Swarm satellite observations // *Geophys. J. Int.* V. 211. P. 1461–1477. 2017. <https://doi.org/10.1093/gji/ggx381>
14. Tanaka A., Okubo Y., Matsubayashi O. Curie point depth based on spectrum analysis of the magnetic anomaly data in East and Southeast Asia // *Tectonophysics*. V. 306. P. 461–470. 1999.

PARAMETERS OF THE LITHOSPHERIC MAGNETOACTIVE LAYER UNDER THE TAIMYR PENINSULA

^{*1,2}*Filippova Alena Igorevna*, ^{**1,2}*Filippov Sergei Vitalyevich*

¹*IZMIRAN, Moscow, Troitsk*

²*IEPT RAS, Moscow*

**aleirk@mail.ru*

***sfilip@izmiran.ru*

Summary. Parameters of the lithospheric magnetoactive layer (centroid depth, depths to the top and bottom) were estimated under the Taimyr Peninsula and adjacent areas based on the global EMAG2v3 lithospheric geomagnetic field model using a centroid method. Minimum depths to the top of the lithospheric magnetic sources (<2,5 km) are observed under the whole Taimyr fold belt and the considered part of the Siberian platform, while the maximum depths (>6 km) are seen under the North Kara Basin. The minimum depths to the bottom of lithospheric magnetic sources (<36 km) are confined to the Eurasian Basin and neighboring territories of the Laptev Sea shelf and the islands of the Severnaya Zemlya archipelago. The bottom depth reaches maximum values (≥ 48 km) under the Yenisei-Khatanga and North Kara basins and the Siberian platform.

Key words: lithospheric geomagnetic field, centroid method, Taimyr Peninsula, lithospheric magnetoactive layer

УДК 550.34.016

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ 2Д И 3Д МОДИФИКАЦИЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ НА ПРИМЕРЕ БОЛИВАРСКОГО УЧАСТКА В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ)

Фролов Владимир Александрович

Саратовский Государственный Университет им. Н.Г. Чернышевского, г. Саратов
vovan.frolov2011@yandex.ru

Аннотация. Модификации 2Д и 3Д сейсморазведки являются основными геофизическими методами при изучении геологических сред, вмещающих продуктивные пласти. Наибольший интерес вызывают вопросы их сравнения по результатам полевых работ и интерпретации. В данной статье представлены результаты сравнительного анализа теоретических и практических аспектов двух вышеуказанных модификаций сейсморазведки на примере одного из участков в Восточной Сибири.

Ключевые слова: сейсморазведка, азимутальная составляющая, кинематическая поправка (КП), отражённые волны, метод общей средней точки (ОСТ), суммирование трасс по ОСТ.

В настоящее время возможности 2Д и 3Д модификаций сейсморазведки хорошо изучены, а их отличие, по сути, состоит в том, что трёхмерная сейсморазведка позволяет учитывать сейсмический снос в пространстве, а впоследствии правильно восстановить пространственное положение отражающих границ. По этой и по некоторым другим причинам предпочтение безоговорочно отдается 3Д сейсморазведке. Однако, по мнению автора, некоторые аспекты сравниваемых модификаций, в том числе и эффективность, можно отнести к дискуссионным.

Сравнительный анализ обсуждаемых модификаций производился на примере Боливарского участка в Якутии, где автор принимал личное участие в проведении полевых работ в качестве рабочего сейсмоотряда II разряда. Цель исследования заключалась в проведении сравнительного анализа теоретических и практических аспектов 2Д и 3Д модификаций сейсморазведки. Для достижения поставленной цели был поставлен и решён ряд частных задач: анализ теоретических и экспериментальных основ обеих модификаций; сбор, обобщение и анализ имеющихся геолого-геофизических материалов на территорию исследуемого участка; подбор оптимальных параметров процедур обработки и интерпретации сейсмических материалов, а также анализ результатов; оценка точности выполненных структурных построений, а также надёжности выявленных структур; расчёт прогнозной удельной прибыли на единицу затраченных ресурсов.

Именно в рамках анализа теоретических и экспериментальных основ сейсморазведки были заложены предпосылки сравнительного анализа. Неподдельный интерес вызывает анализ систем наблюдений обеих модификаций в отношении азимутальной составляющей, в ходе которого автор провёл небольшие аналитический и вычислительный эксперименты. Их идея состоит в следующем: перед суммированием трасс по сейсмограммам ОСТ рассчитываются и вводятся кинематические поправки, которые при наличии азимутальной составляющей оказываются сильно различны, что обуславливает некоторые погрешности в результатах после суммирования.

КП $\tau(l, x)$ есть не что иное, как временной сдвиг, представляющий собой разность времен прихода волн, отражённой от границы по косому $t(l, x)$ и нормальному лучам $t_0(x)$, когда нормальный луч соответствует центру дистанции косого луча [1]. Вводя КП

в результаты, т.е. вычитая их из наблюдённых времён, мы преобразуем годограф отражённой волны в годограф нормальных времён и это нетрудно показать:

$$t(l, x) - \tau(l, x) = t(l, x) - [t(l, x) - t_0(x)] = t_0(x) \quad (1)$$

Время прихода волны, отражённой от границы по косому лучу $t(l, x)$, находится из уравнения продольного годографа ОСТ монотипной волны, отражённой от плоской границы в однородной среде. Тогда формула КП принимает следующий вид (2), где l — расстояние источник-приёмник, м; $v_{\text{ОГТ}} = \frac{v_{\text{cp}}}{\cos \alpha_L}$ — фиктивный скоростной параметр, зависящий от каждого угла падения границы относительно линии наблюдения α_L , м/сек; v_{cp} — средняя скорость, м/сек.

$$\tau(l, x) = \sqrt{t_0^2 + \frac{l^2}{v_{\text{ОГТ}}^2}} - t_0 = \sqrt{t_0^2 + \frac{l^2 \cos \alpha_L}{v_{\text{cp}}^2}} - t_0 \quad (2)$$

Для дальнейших преобразований формулы (2) рассмотрим тригонометрическую окружность с радиусом 1 (рис. 1). Здесь абсцисса соответствует линии наблюдения, ордината — линии взрыва, $\cos \alpha$ и её продолжение — направлению падения (азимуту падения) пласта, а линия радиуса с подписью «1» — отражающей границе, вывернутой по дуге окружности на горизонтальную плоскость.

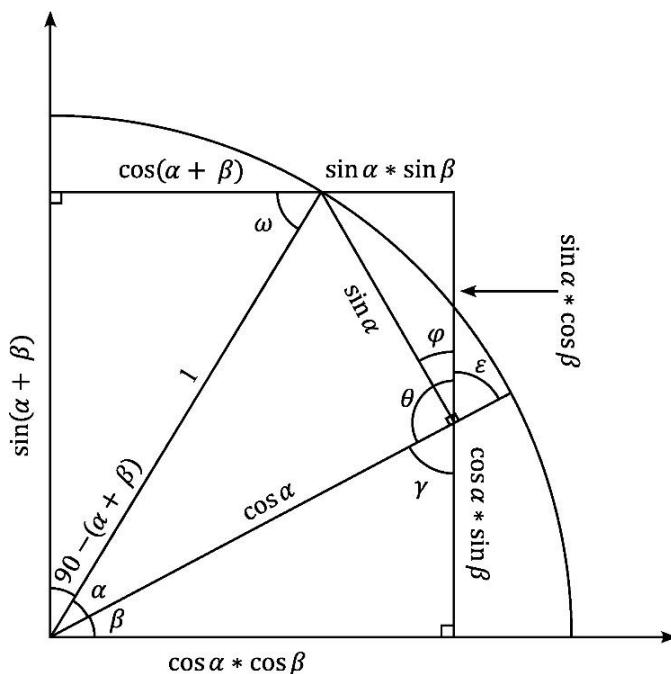


Рис. 1. Иллюстрация к понятию о кажущемся угле падения пласта

Из элементарных геометрических соображений следует, что:

- 1) $\omega = 180^\circ - 90^\circ - (90^\circ - [\alpha + \beta]) = \alpha + \beta;$
- 2) $\theta = 90^\circ + \varphi$
- 3) $\gamma = \epsilon$ — как накрест лежащие углы;
- 4) $\varphi = 90^\circ - \epsilon;$
- 5) т.к. $\gamma = \epsilon$, то $90^\circ - \epsilon = \beta$ и, соответственно, $\varphi = \beta$.

А далее все очевидно: мы понимаем, что регистрируемый вдоль линии наблюдения угол падения не совсем истинный и выразить его мы можем только через $\sin \alpha_L = \sin \alpha * \cos \beta$, где β — азимут падения отражающей границы, отсчитываемый от линии наблюдения до проекции линии падения на плоскость наблюдений. Таким образом, $\sin \alpha_L$ — это проекция $\sin \alpha$ на линию, параллельную линии наблюдений. В таком случае формула (2) принимает следующий вид:

$$\tau(l, x) = \sqrt{t_0^2 + \frac{l^2}{v_{cp}^2} (1 - \sin^2 \alpha * \cos^2 \beta)} - t_0. \quad (3)$$

Для простоты представим эту функцию в параметрическом виде, где изменяяться будет только азимут падения границы относительно линии наблюдения:

$$\tau(\beta) = \sqrt{a^2 + \frac{b^2}{c^2} (1 - d^2 * \cos^2 \beta)} - a = \sqrt{a^2 + \frac{b^2}{c^2} m^2 \sin^2 \beta} - a. \quad (3.1)$$

Последнее позволяет утверждать, что функция изменяет свои значения по квазисинусоидальному закону с периодом, равным π . Определим характерные точки графика функции, найдя её производную и приравняв её к нулю:

$$\frac{\partial \tau}{\partial \beta} = \frac{b^2 m^2 \sin 2\beta}{2c^2 \sqrt{a^2 + \frac{b^2}{c^2} m^2 \sin^2 \beta}} = 0. \quad (4)$$

После решения элементарного тригонометрического уравнения получим два решения: $\beta = 0 + \pi n$ и $\beta = \frac{\pi}{2} + \pi k$, где n и k обязательно целые, т.е. $n \in \mathbb{Z}$ и $k \in \mathbb{Z}$. Теперь проверим является ли необходимое условие существования экстремума функции, проверенное выше, достаточным в данном случае. Для этого найдём вторую производную функции и проверим её значения в предполагаемых экстремумах:

$$\frac{\partial^2 \tau}{\partial \beta^2} = -\frac{b^4 m^4 \sin^4 \beta + 2a^2 b^2 c^2 m^2 \sin^2 \beta - a^2 b^2 c^2 m^2}{c^4 \left(a^2 + \frac{b^2}{c^2} m^2 \sin^2 \beta \right)^{3/2}}. \quad (5)$$

Итак, в точках $\beta = 0 + \pi n$ вторая производная при ненулевых значениях параметров принимает только положительные значения, что подтверждает наличие экстремума в данных точках и свидетельствует о наличии в них минимума функции. В точках $\beta = \frac{\pi}{2} + \pi k$ значения второй производной при ненулевых значениях параметров всегда будут отрицательны, что так же подтверждает наличие экстремума в данных точках, но только свидетельствует о наличии в них максимума функции.

Далее проведем вычислительные эксперименты, чтобы сделать предметные заключения. Вернемся к обозначениям из формулы (3). Дано: $l = 3000$ м, $t_0 = 2,5$ сек, $v_{cp} = 2500$ м/сек. Нужно найти для каждого угла $\alpha \in [0^\circ, 75^\circ]$ с шагом 15° значения $\tau(\beta)$. Семейство кривых, иллюстрирующих зависимость кинематической поправки от азимута падения отражающей границы, изображено на рис. 2. Результаты вычислительных экспериментов представлены в таблице 1.

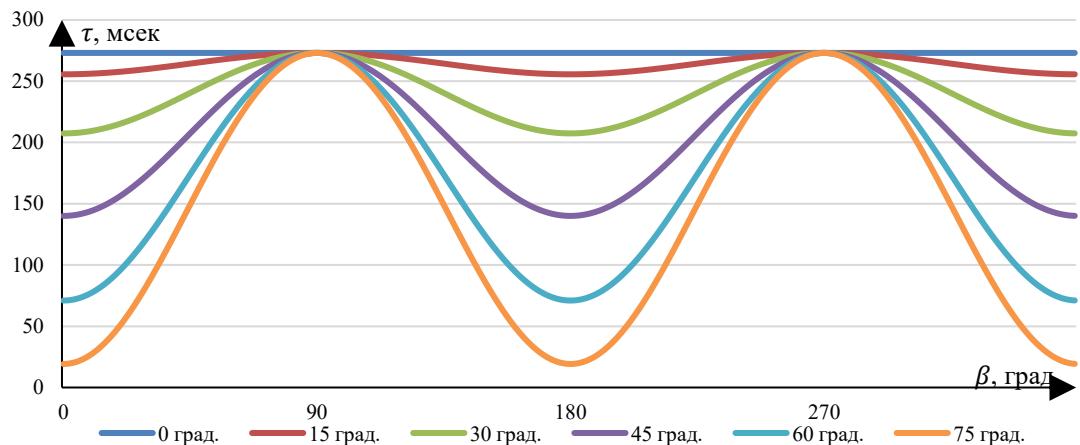
Рис. 2. Семейство кривых $\tau(\beta)$ для различных углов наклона границы α

Таблица 1

Значения τ при различных α и β

$\alpha, {}^\circ$	0	15	30	45	60	75
$\beta, {}^\circ$	273	255	207	140	71	19
0	273	256	209	144	77	27
10	273	258	215	156	96	50
20	273	260	224	174	123	85
30	273	263	235	196	156	127
40	273	266	246	219	191	171
50	273	269	257	240	224	212
60	273	271	266	258	250	245
70	273	272	271	269	267	266
80	273	273	273	273	273	273
90	273	273	273	273	273	273
100	273	272	271	269	267	266
110	273	271	266	258	250	245
120	273	269	257	240	224	212
130	273	266	246	219	191	171
140	273	263	235	196	156	127
150	273	260	224	174	123	85
160	273	258	215	156	96	50
170	273	256	209	144	77	27
180	273	255	207	140	71	19

Во-первых, отметим благоприятный случай в случае горизонтального залегания отражающей границы, при котором отсутствуют колебания КП. Во-вторых, наблюдается увеличение амплитуды колебаний КП при увеличении угла наклона отражающей границы. В-третьих, измерения рекомендуется проводить на отрезках по оси β с наименее резкими изменениями КП:

- при $\alpha < 45^\circ$ на отрезке $\beta \in [-20^\circ + 180^\circ n, 20^\circ + 180^\circ n]$, а также на отрезке $\beta \in [70^\circ + 180^\circ k, 110^\circ + 180^\circ k]$;
- при $\alpha > 45^\circ$ на отрезке $\beta \in [-10^\circ + 180^\circ n, 10^\circ + 180^\circ n]$, а также на отрезке $\beta \in [80^\circ + 180^\circ k, 100^\circ + 180^\circ k]$, где $n \in \mathbb{Z}$ и $k \in \mathbb{Z}$.

В отношении нашего исследования важен тот факт, что при незначительных углах наклона отражающей границы влияние азимутальной составляющей настолько

незначительно, что 3Д сейсморазведка остаётся вне конкуренции. Теперь нужно проверить это утверждение на практике.

Итак, Боливарский участок располагается в Якутии, в среднем течении реки Вилюй. Тектонически участок приурочен к одноимённой структуре в пределах Вилюйской синеклизы Сибирского кратона, т.е. залегание слоев здесь преимущественно субгоризонтальное. Широкое распространение имеет вечная мерзлота, также на изменение скоростей по разрезу влияет литологическая дифференцированность. На исследуемой территории располагается Боливарское газоконденсатное месторождение с залежами, локализованными в интервале глубин 2 500-3 250 м.

В результате обработки более надёжные разрезы получены по результатам 3Д сейсмики, 2Д модификация выделилась только на априорных разрезах, что связано, по-видимому, с более высоким качеством первичного материала. О более высокой надёжности разрезов 3Д свидетельствуют и сравнительные оценки по параметру сигнал/шум (6,93 против 3,80), а также горизонтальной разрешённости записи (рис. 3).

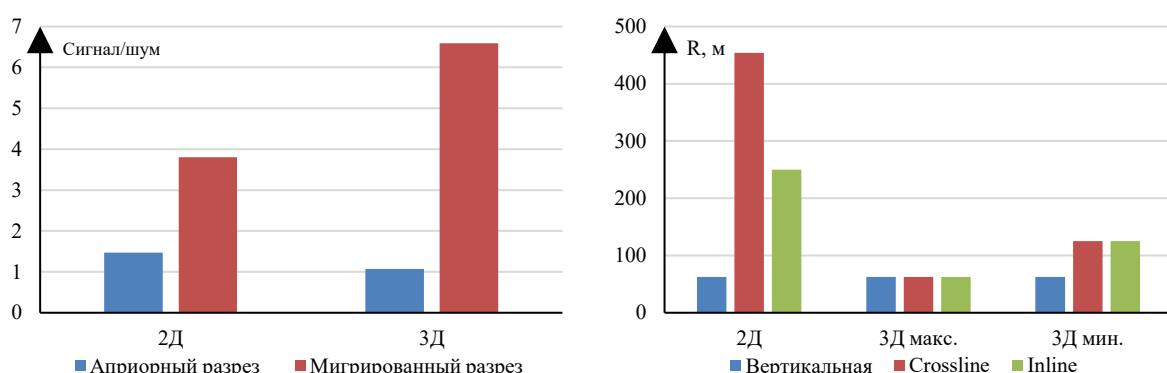


Рис. 3. Сравнительные гистограммы разрезов и разрешений записи

В целом, уже на данном этапе можно констатировать, что общая информативность и надёжность интерпретации с применением 3Д модификации повышаются, не говоря о наличии пространственной картинки без необходимости интерполяции. Так и оказалось, об этом свидетельствуют сравнительные гистограммы дисперсий погрешности структурных построений и результаты оценки надежности выявленных структур (рис. 4). Данные расчеты проводились в соответствии с [2]. По основным продуктивным горизонтам исследуемого участка сейсморазведка 3Д демонстрирует выигрыш более чем в 1,5 раза, а надежность выявленных структур по результатам 3Д сейсмики во всех случаях крайне высока.

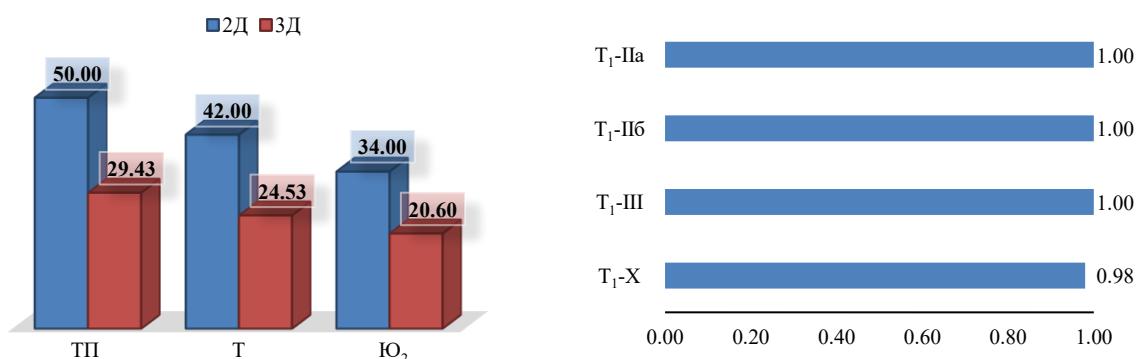


Рис. 4. Сравнительная гистограмма дисперсий погрешности структурных построений и линейчатая гистограмма вероятности существования структур

Экономическая эффективность сейсморазведочных работ оценивалась величиной подготовленных к бурению ресурсов и приращённых запасов, а также удельной прибылью на единицу затраченных ресурсов. Автором была предложена методика оценки эффективности по параметру прогнозируемой удельной прибыли, а сопутствующие расчёты объёмов ресурсов проведены в соответствии с [3]. По результатам 2Д сейсморазведки объём подготовленных к бурению ресурсов газа равен 10,561 млрд. м³, а прогнозируемая удельная прибыль оценивается в 26.96 руб. на 1 вложенный руб. По результатам 3Д сейсмики объёмы приращения ресурсов газа составили 17.658 млрд. м³, а объёмы приращения запасов — 33.798 млрд. м³. Суммарная удельная прибыль оценивается в 135.24 руб. на 1 вложенный руб.

В итоге, по результатам сравнения сейсморазведочных материалов до и после обработки, оценки точности выполненных структурных построений, надёжности выявленных структур и удельной прибыли для обсуждаемых модификаций вполне ожидаемо 3Д сейсморазведка оказалась впереди. Сформулированное после вычислительного эксперимента утверждение было подтверждено на практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боганик, Г.Н., Гурвич, И.И., Сейсморазведка/Г.Н. Боганик, И.И. Гурвич — Тверь: Изд-во АИС, 2006. — 744 с., 204 ил.
2. Инструкция по оценке качества структурных построений и надежности выявленных и подготовленных объектов по данным сейсморазведки МОВ-ОГТ (при работах на нефть и газ) — Москва, Нефтегеофизика, 1984. — 40 с.
3. Методические рекомендации по применению пространственной сейсморазведки 3D на разных этапах геологоразведочных работ на нефть и газ. Москва: ОАО «Центральная геофизическая экспедиция», 2000. — С. 58-59.

COMPARATIVE ANALYSIS OF 2D AND 3D MODIFICATIONS OF SEISMIC EXPLORATION ON THE EXAMPLE OF THE BOLIVAR LOCATION IN THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)

*Frolov Vladimir Aleksandrovich
Saratov State University, Saratov
vovan.frolov2011@yandex.ru*

Summary. Modifications of 2D and 3D seismic surveys are the main geophysical methods in the study of geological environments containing productive strata. Of greatest interest are questions of comparison of the results of field work and interpretation. This article presents the results of a comparative analysis of the theoretical and practical aspects of the two above-mentioned modifications of seismic exploration on the example of one of the sites in Eastern Siberia.

Key words: Seismic exploration, azimuthal component, kinematic correction, reflected waves, common midpoint method, summation of traces by MPM.

УДК 550.360:551.583

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫСОКОТОЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В СКВАЖИНАХ

¹*Хацкевич Богдан Дмитриевич, ²Факаева Нелли Рафаэлевна*

Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург

¹disaybl@yandex.ru

Аннотация. Исследуются особенности высокоточных температурных измерений в водонаполненных буровых скважинах. Описаны влияния температурной инерции скважинного прибора и инициированной тепловой конвекции. Приведена их количественная оценка, и предложены рекомендации по проведению температурных измерений.

Ключевые слова: высокоточные измерения температуры, свободная тепловая конвекция, буровая скважина, геотермия, термический каротаж.

Температурные измерения в буровых скважинах являются одними из главных методов геотермических исследований. Появление современных датчиков, аппаратуры и систем регистрации, обеспечивающих высокую точность, стабильность, пространственное и временное разрешение температурных измерений, позволило существенно расширить сферу применения скважинной термометрии. Однако эти возможности не всегда могут быть реализованы в полной мере, вследствие влияния таких процессов, как свободная тепловая конвекция (СТК) жидкости и тепловая инерция прибора в скважинах.

Нестационарный характер СТК ведет к температурным вариациям, что представляет значительный источник погрешностей при проведении высокоточных температурных измерений в скважинах [2,3,4]. В водонаполненных буровых скважинах СТК возникает, когда вследствие положительного температурного градиента более теплый и, следовательно, более легкий флюид располагается ниже более холодного. Восходящие и нисходящие потоки стремятся выровнять плотностные и температурные неоднородности, однако горные породы поддерживают положительный градиент [4].

Возникновение и развитие СТК определяется значением безразмерного числа Рэлея. Для скважинных условий (вертикальный цилиндр):

$$Ra = \frac{g\beta r^4}{\nu a} G \quad (1)$$

где g - ускорение свободного падения, β - коэффициент объемного температурного расширения, ν - кинематическая вязкость, a - температуропроводность, r – радиус скважины, G – температурный градиент. Входящие в это соотношения параметры β , ν , a , в свою очередь, зависят от температуры. Конвекция возникает, когда Ra превышает некоторое критическое значение Ra_{crit} . Последнее для скважины лежит в пределах 68-216 в зависимости от отношения теплопроводностей жидкости, заполняющей скважину, и окружающего ее массива λ_f/λ_m [1].

Температурная инерция прибора раньше особенно не изучалась, так как считалось, что ее влияния на измерения краткосрочно, и его можно избежать путем продолжительного измерения в точках наблюдения [5]. Для высокоточных измерений это время определялось опытным путем, в течение которого термометр воспринимает около 90% разности температуры среды и начальной температуры термометра. В зависимости от необходимой точности процент разности может меняться.

Зачастую такая оценка проводится 1 раз и применяется для всех измерений с некоторыми корректировками в сторону увеличения времени наблюдения для большей точности. Однако такой подход оказался не совсем верен. В ходе термометрии скважин Екатеринбурга в зимний период мы столкнулись с такой ситуацией (рис. 1).

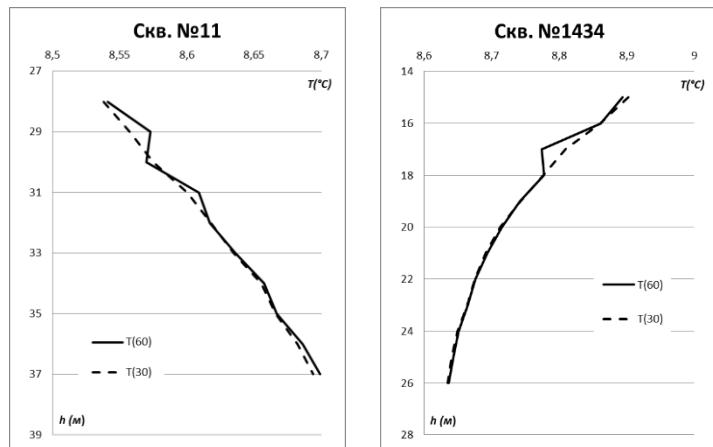


Рис. 1. Термограммы скважин №11 и №1434 в г. Екатеринбург за февраль 2023 года. Пунктирная линия время измерения 30 с, сплошная линия 60 с.

Замеры проводились современным автономным термометром RBR solo³, необходимое время измерений для достижения точности в ± 0.001 °С 1 минута, шаг дискретизации 10 секунд. Ряд термограмм, построенных по результатам 60 с измерений, оказались сильно изломаны. Было принято решение построить термограммы 30 с измерений. Такое время было выбрано, так как спуск датчика занимал от 10 до 20 секунд. Результат существенно улучшился.

Такое отклонение наблюдалось у скважин, находящихся на удаление от дороги, поскольку вся аппаратура лежала в ящике для инструментов, то по пути до места работы датчик переохлаждался, это и повлияло на результаты наблюдений.

Нами было решено исследовать этот процесс более детально в наблюдательной скважине ИГФ-60. Измерения проводили в режиме мониторинга, тем же датчиком RBR solo³, с шагом 1 секунда. Прибор очень легкий и иногда в качестве утяжелителя использовался свинцовый груз, поэтому эксперимент проводили для датчика с грузом и без него. Измерения проводились с предварительно нагретым в теплом помещении и охлажденным (на открытом воздухе, при температуре от -7 -8 °С) датчиком. Прибор на тросе опускался на глубину 20 м, время спуска составляло 15-18 секунд. Наблюдения проводились в течение 8 часов, Результаты представлены на рисунке 2.

В течение 10 с после спуска прибора на заданную глубину наблюдается быстрый рост/снижение температуры до невозмущенных значений. Эти быстрые изменения обеспечиваются малой температурной инерцией датчика, вынесенного за пределы скважинного прибора в тонкой трубке. После короткого периода регистрируемые температуры снова начинают отклоняться от невозмущенных значений вследствие прогрева/охлаждения воды самим прибором, обладающим значительно большей температурной инерцией. Через 100 с. возобновляется медленное приближение регистрируемых температур к невозмущенным значениям. На эту картину накладываются высокочастотные температурные колебания, вызванные свободной тепловой конвекцией, в свою очередь, инициированной темперальным градиентом между скважинным прибором и окружающей жидкостью. В случае, когда скважинный прибор был предварительно охлажден, конвективный температурный шум имеет более высокую амплитуду, чем в обратном – когда прибор был предварительно нагрет (рис.2).

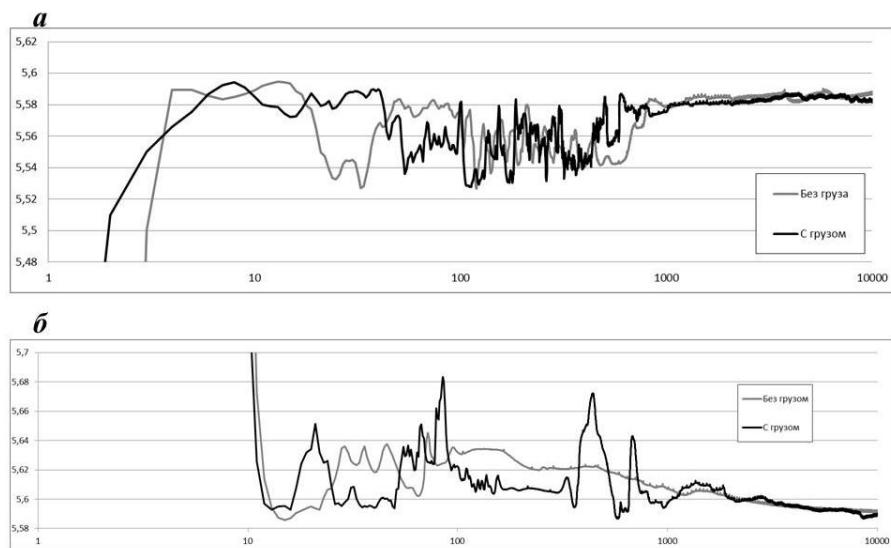


Рис. 2. Фрагмент мониторинга температуры скв. ИГФ-60 на глубине 20 метров. а – мониторинг проводился после 1 часа охлаждения датчика на улице, б – после 2 часа нагревания под одетой курткой.

В первом случае, когда прибор охлажден, чувствительный элемент находится снизу, куда и опускается холодная вода, вытесняя теплую. Во втором случае, процесс проходит над ним, и его лишь частично задеваются конвективные течения (рис. 3), и то, довольно быстро затухают, а дальше происходит плавное снижение температуры до истинных значений.

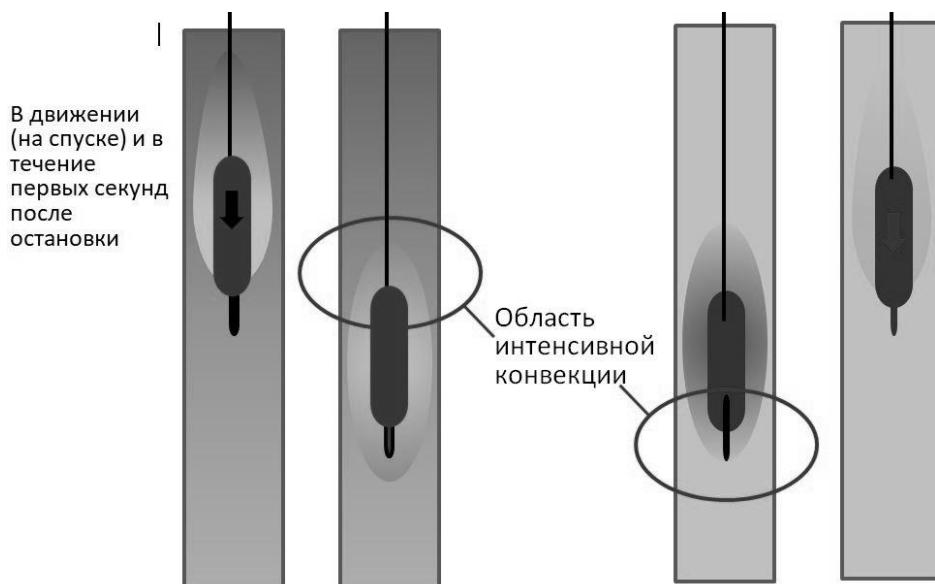


Рис. 3. Области интенсивной конвекции.

По результатам эксперимента можно сделать следующие выводы:

1. Кривая выхода регистрируемых температур определяется двумя процессами – температурной инерцией системы (скважинный прибор – датчик) и инициированной свободной тепловой конвекцией.

2. Наиболее точные значения температуры флюида регистрируются либо в первые секунды после установления прибора на заданную глубину, либо – через продолжительное время выравнивания температур между прибором и флюидом.

3. Температурный шум, вызванный свободной тепловой конвекцией меньше для прибора, имеющего начальную температуру выше температуры скважинной жидкости.

4. В высокоточных геотермических исследованиях скважин считалась более предпочтительной методика поточечных измерений (point by point [5]). По результатам проведенных исследований мы полагаем более эффективной методику непрерывного температурного каротажа с постоянной скоростью спуска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гершуни Г.Э., Жуховицкий Г.М. Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости. М., Наука, 1972. –393 с.
2. Демежко Д. Ю., Миндубаев М. Г., Хацкевич Б. Д. Температурные эффекты свободной тепловой конвекции в буровых скважинах //Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58. – №. 10. – С. 1602-1610.
3. Миндубаев М.Г., Демежко Д.Ю. Свободная тепловая конвекция в буровых скважинах: численное моделирование и экспериментальные данные. //Мониторинг. Наука и технологии, 2012, №4(13). – С.12-18.
4. Остроумов Г.А. Свободная конвекция в условиях внутренней задачи. Гостехиздат. Москва-Ленинград. 1952. – 286 с.
5. Beck, A.E., Balling, N. (1988). Determination of Virgin Rock Temperatures. In: Haenel, R., Rybach, L., Stegema, L. (eds) Handbook of Terrestrial Heat-Flow Density Determination. Solid Earth Sciences Library, vol 4. Springer, Dordrecht.

SOME FEATURES OF HIGH-ACCURACY TEMPERATURE MEASUREMENTS IN WELLS

¹*Khatskevich Bogdan Dmitrievich, ²Fakaeva Nelli Rafaelevna*

Institute of geophysics UB RAS, Ekaterinburg, Russia

¹*disaybl@yandex.ru*

Annotation: The results of experimental studies of temperature inertia and initiated thermal convection with high-precision temperature measurements in a water-filled well are described. An assessment of their influence on the accuracy of measurements is made, and recommendations are presented on how to minimize the noise from these processes.

Keywords: high-precision temperature measurements, free thermal convection, borehole, geothermal, thermal logging.

УДК 553.98:550.83.05

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ СТРОЕНИЯ, ЛИТОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ И УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ПОРОД- КОЛЛЕКТОРОВ ПЛАСТА XM₂ МЕСТОРОЖДЕНИЯ N (ЯНАО)

Ходоров Иван Сергеевич

Томский Политехнический Университет, г. Томск

khodorovis@gmail.com

Аннотация. В работе применены результаты комплексных исследований керна и геологической интерпретации геофизических исследований скважин (электрический, индукционный, радиоактивный каротаж). Выявлены литологические особенности, условия формирования, коллекторские свойства терригенных пород-коллекторов пласта XM₂ газоконденсатного месторождения N Ямала и прослежены закономерностей их распространения.

Ключевые слова: геологическая интерпретация геофизических данных, комплекс скважинного каротажа (КС, ПС, ИК, ГК, НГК), пласт XM₂, условия осадконакопления, коллекторские свойства.

Целью исследования является определение закономерностей пространственного распространения пород-коллекторов пласта XM₂ нефтегазоконденсатного месторождения N по результатам интерпретации керновых данных и геофизических исследований скважин: электрокаротажа (КС – кажущееся сопротивление и ПС – потенциал самопропризвольной поляризации), индукционного каротажа (ИК), радиоактивного каротажа (ГК – гамма-каротаж и НГК – нейтронный гамма-каротаж).

Месторождение N в административном отношении расположено в Ямальском районе Ямalo-Ненецкого автономного округа Тюменской области и, согласно нефтегазогеологическому районированию, относится к Тамбейскому нефтегазоносному району Ямальской нефтегазоносной области Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, входит в состав Тамбейского кластера. Промышленная нефтегазоносность месторождения установлена в широком стратиграфическом диапазоне и связана с четырьмя нефтегазоносными комплексами: альб-сеноманским, аптским, неокомским и юрским [1].

Основными методами исследования явились литолого-фациальный анализ по данным керна [2] и электрического каротажа [3], а также геологическая интерпретация геофизических данных [4].

Пласт XM₂ приурочен к средней части ярнгской свиты (апт), входит в состав аптовского нефтегазоносного комплекса [1], имеет сложное геологическое строение, обусловленное неоднородностью литологического состава и сильной фациальной изменчивостью, характеризуется слабой изученностью, что и определяет актуальность проведенных исследований.

Для определения условий осадконакопления была использована методика В.С. Муромцева [4]. Согласно этой методике, с помощью интерпретации кривой ПС можно определить палеогидродинамику среды седиментации. Согласно исследованиям В.С. Муромцева, выделяются 5 гидродинамических режимов: очень высокий, высокий, средний, низкий, очень низкий. Каждый из этих уровней характеризуется набором первоначальных признаков, отражающих динамическую активность среды седиментации.

По результатам интерпретации ГИС, осадки накапливались при изменчивой динамике водной среды в прибрежно-морских в условиях. Динамика среды седиментации определялась по максимальному значению аПС кривой самопроизвольной поляризации и, согласно типизации гидродинамической активности среды седиментации В.С. Муромцева, менялась от очень высокой, высокой и средней, способствовавшей накоплению песчаных осадков, до низкой и очень низкой, при которой накапливались соответственно алевритовые и глинистые осадки.

Прибрежно-морские условия седиментации выявлены по генетическим признакам, заключенным в керне (рис. 1). В прибрежной полосе моря на мелководье формировались однородные, волнисто- и косоволнисто-слоистые средне- и средне-мелкозернистые песчаники с биотурбацией типа *Teichichnus*; на удалении от берега – волнисто- и линзовидно-слоистые алевролиты со следами жизнедеятельности донных животных типа *Schaubcylindrichnus*, *Planolites*, *Zoophycos*; в углубленных участках морского дна – полого-волнисто- и горизонтально-слоистые глинистые породы, содержащие ихнофоссилии *Chondrites*, *Phycosiphon*. Признаки близости к континенту отражены широком распространении песчаных осадков в составе отложений, повсеместном присутствии углефицированных растительных остатков (аттрит, мелкий детрит), наличии тонкорассеянных вкраплений и уплощенных включений сидерита. На морские условия осадконакопления указывают: преимущественно волнистая слоистость, в том числе разнонаправленная, отражающая возвратно-поступательный характер движения водной среды; остатки раковин двустворчатых моллюсков, сохранившиеся в породах в виде целых экземпляров и детрита; комплекс следов жизнедеятельности солоновато-водных форм бентосных организмов; пиритизация, как показатель затрудненного водообмена и восстановительной геохимической среды.

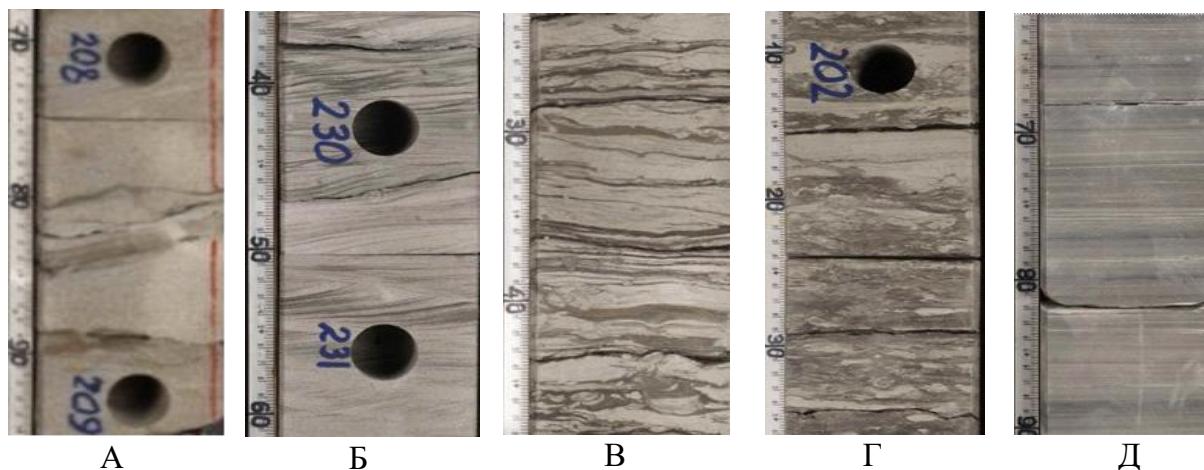


Рис. 1. Генетические признаки отложений пласта ХМ₂ по керну: А, Б – косоволнистая разнонаправленная слоистость в песчанике; В, Г – волнистое переслаивание алевролитов и глинистых пород со следами биотурбации; Д – тонкая горизонтальная слоистость в аргиллитах

В ходе интерпретации комплекса геофизических исследований скважин были выделены литологические особенности и построены литологические колонки в пределах пласта ХМ₂. Согласно этим данным, были построены карты литологического состава, объемной глинистости и эффективных толщин, а также схема корреляции (рис. 2). Анализ этих карт показал, что наиболее мощные песчаники приурочены к южной и северной частям территории, здесь содержание глин минимально (объемная глинистость составляет до 0,06-0,07 д.е.), а карбонатизированные пропластки редки и имеют

незначительную толщину, вследствие чего эффективные толщины достигают 33-37 м. По мере продвижения к центральной части месторождения в разрезе толщина песчаных отложений значительно снижается, а карбонатных и глинистых прослоев возрастает (значение объемной глинистости – до 0.35 д.е.), что приводит к уменьшению эффективных толщин до 11.1-13.1 м.

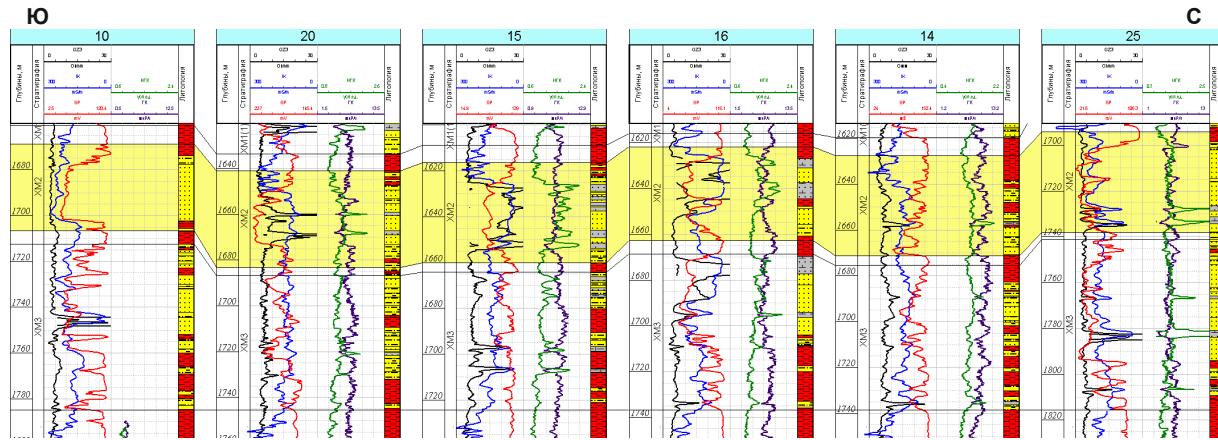


Рис. 2. Схема корреляции пласта XM₂ по линии скважин 10–20–15–16–14–25

Затем по данным ГИС и коэффициенту пористости по керну была получена зависимость коэффициента пористости от α ПС. По этой зависимости был рассчитан коэффициент пористости по каждой скважине в пределах пласта XM₂.

Аналогичным образом была построена зависимость проницаемости от коэффициента пористости и произведен расчет проницаемости по каждой скважине.

На основе полученных данных были построены карты средних значений пористости и проницаемости пласта XM₂.

Анализируя карты эффективных толщин, средних значений пористости и проницаемости пласта XM₂, можно констатировать, что наиболее мощные и однородные песчаники расположены в северной и южной частях территории, в центральной части мощность песчаных отложений снижается и накапливается более мелкозернистый алевритовый материал.

Наилучшими фильтрационно-емкостными свойствами по данным ГИС обладают песчаники, расположенные на юге, юго-западе, севере и северо-западе месторождения. Коэффициент пористости здесь более 0.28 д.е., а проницаемость достигает значений от 400 до $700 \cdot 10^{-3}$ мкм². Минимальные значения пористости ($K_p=0.25$ д.е.) и проницаемости ($K_{pr}=126 \cdot 10^{-3}$ мкм²) наблюдаются в центральной части территории.

Из вышеизложенных закономерностей можно сделать вывод, что пласт XM₂ в пределах месторождения N сложен хорошо проницаемыми песчаниками, которые относятся к коллекторам III-II класса по классификации А.А. Ханина [5].

По результатам геологической интерпретации геофизических данных и кернового материала можно сделать следующие выводы:

- пласт XM₂ сформирован в прибрежной полосе моря в условиях меняющейся гидродинамической активности, что обусловило вертикальную и латеральную фациальную изменчивость;
- песчаные отложения широко распространены на территории месторождения и имеют значительные толщины;
- породы-коллекторы характеризуются средними и высокими фильтрационно-емкостными свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Люгай Д.В., Соин Д.А., Скоробогатько А.Н. Особенности нефтегазоносности полуострова Ямал в связи с оценкой перспектив южной части Карского моря // Вести газовой науки. Проблемы ресурсного обеспечения газодобывающих районов России, 2017. – №3 (31). – 2017. – С. 29– 35
2. Недоливко Н.М. Исследование керна нефтегазовых скважин: практикум. – 2-е изд., перераб. и доп. – Томск: Изд-во ТПУ, 2018. – 137 с.
3. Ежова А.В. Геологическая интерпретация геофизических данных: учебное пособие. – 3-е изд. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 116 с.
4. Муромцев В.С. Электрометрическая геология песчаных тел – литологическихловушек нефти и газа. – Л.: Недра, 1984. – 260 с.
5. Ханин А. А. Породы-коллекторы нефти и газа нефтегазоносных провинций СССР. – М.: Недра, 1973. – 304 с.

GEOLOGICAL INTERPRETATION OF GEOPHYSICAL DATA TO REVEAL THE STRUCTURE, LITHOLOGICAL FEATURES AND FORMATION CONDITIONS OF RESERVOIR ROCKS OF XM₂ RESERVOIR N

Ivan Khodorov
Tomsk Polytechnic University, Tomsk
khodorovis@gmail.com

Summary. The work applies the results of comprehensive core studies and geological interpretation of geophysical well surveys (electrical, induction, radioactive logging). The lithological features, formation conditions, reservoir properties of terrigenous reservoir rocks of the XM₂ reservoir of the N Yamal gas-condensate field are revealed and their distribution patterns are traced.

Key words: geological interpretation of geophysical data, borehole logging complex (GZ3, SP, IK, GK, NGK), XM₂ formation, sedimentation conditions, reservoir properties.

УДК 553.98.550.31+575.16/.192

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННО-ЁМКОСТНЫХ СВОЙСТВ
ПРОДУКТИВНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ
ТУМАРИС И УСТАНОВЛЕНИЕ ГРАНИЦ ГАЗОВОДЯНЫХ
КОНТАКТОВ**

*Холмуродов Исроил Завки угли
ГУ «ИГИРНИГМ» г.Ташкент, Республика Узбекистан
isroil.kholmurodov@mail.ru*

Аннотация. В данной статье рассматривается выделение и определение фильтрационно-ёмкостных свойств юрских отложений в скважинах месторождения Тумарис. Определены подсчетные параметры и обосновано положение газоводяной контакта (ГВК) в продуктивных объектах месторождения. Предлагаемый подход основан на результатах анализа керна и данных геофизических исследований скважин (ГИС).

Ключевые слова: месторождение, коллектор, углеводороды, горизонт, геофизические исследования скважин (ГИС), интерпретация данных ГИС, свойства породы, залежь, каротаж, диаграмма.

В административном отношении месторождение Тумарис расположено на территории Рометанского района Бухарской области Республики Узбекистан (рис.1).

Месторождение Тумарис открыто в 2018 году по результатам бурения и испытания поисковой скважины №1, где во время опробования скважины получен промышленный приток газа дебитом 284.73 тыс. м³/сут на 14 мм штуцере. В геологическом строении месторождения Тумарис принимают участие мезо-кайнозойские отложения. Они представлены в основном юрскими, меловыми отложениями мезозоя, неоген и четвертичными отложениями кайнозойской группы [2].

На месторождении Тумарис с отбором керна пробурены 4 скважины (№ 1, 4, 5, 6) с суммарной колонковой проходкой 27 пог.м. При этом было отобрано 17.2 пог. м керна, что составило 63.7% от колонковой проходки.

Промышленная газоносность месторождения Тумарис связана с средне-верхнене-юрскими (XV-1, XV-2, XV-а горизонты) карбонатными отложениями. В литологическом отношении исследованные породы представлены переслаиванием известняков органогенно-детритово-шламовых, гранулированных, рыхлых беловато-серых, пористых и серых, пепельно-серых пелитоморфно-сгустковых, плитчатых, средней плотности и крепости, а также темно-серых сгустково-комковатых, водорослевых, слоистых разностей [3].

Отложения XV-2 горизонта представлены серыми и темно-серыми известняками с комковато-сгустковой структурой, массивной текстурой. Они плотные, крепкие и низкопористые.

Ниже разрез (интервал 1930-1934) представлен пепельно-серыми, водорослевыми известняками с комковатой структурой и включениями оолитов с плитчатой текстурой (известняки крепкие и плотные, оолиты темно-серые, мелкие диаметром не более 1 мм).

В интервале 1944-1948 м породы представлены беловато-серыми известняками с органогенно-детритовой структурой и массивной текстурой. Отложения представлены породами низкой плотности и крепкости. Органические остатки представлены неопределенным мелкораздробленным раковинным детритом.

Также среди пород, слагающих отложения XV-2 горизонта, имеются темно-

серые, крепкие и плотные известняки с ярко выраженной горизонтальной слоистостью. Отмечаются многочисленные мелкие гнездовидные включения мелкозернистого кальцита, диаметром не более 0.1-0.2 см.

В интервале 1984-1986 м породы представлены серыми и темно-серыми известняками с комковато-оолитовой, водорослевой местами органогенно-детритовой структурой и слоеватой текстурой. Известняки плотные и крепкие.

Открытая пористость известняков, слагающих XV-2 горизонт, колеблется в пределах от 1.68% до 13.91%. Проницаемость изменяется от 0 до 36.3×10^{-3} мкм². Коэффициент остаточной водонасыщенности изменяется в пределах от 68 до 92%.

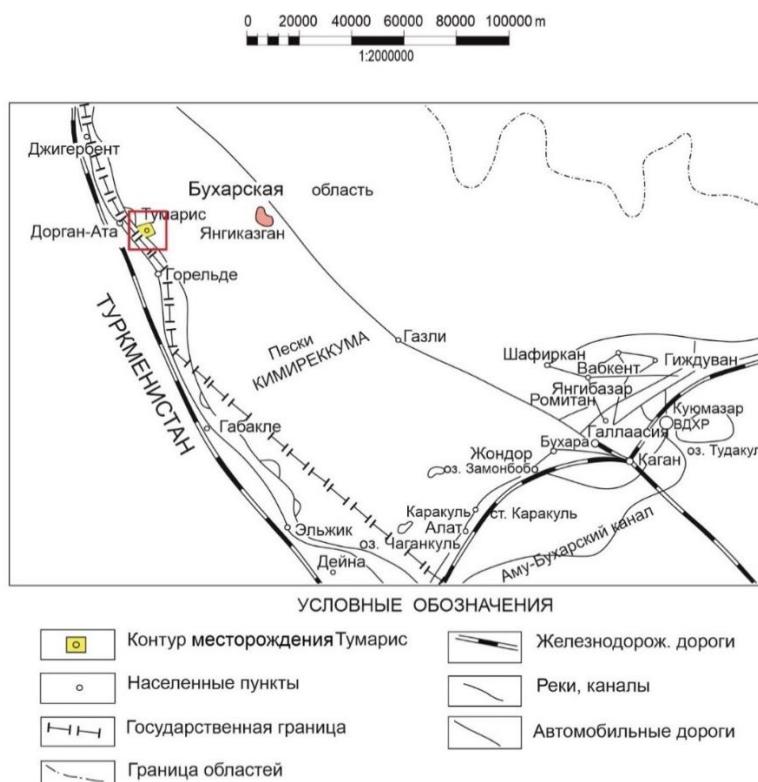


Рис. 1. Обзорная карта района работ

Отложения XV-а горизонта на месторождении Тумарис в интервале 2030-2031 м представлены известняками серыми и темно-серыми местами с черно-коричневыми оттенками, тонкозернистыми, микрослоистыми, слабозапесоченными с многочисленными включениями органических веществ. Органические остатки представлены неопределенным раковинным перекристаллизованным детритом, реже комочками водорослей, обломками гастропод. Известняки неоднородные, комковатые, плотные, крепкие, не пористые.

Отложения XV-а горизонта на месторождении Тумарис в интервале 2061-2065 м представлены известняками серого цвета с темно-серым и зеленовато-серым оттенками, тонкозернистой структурой, слоистой текстурой, плотный, крепкий с обилием углефицированных алевритов черного цвета, которые в напластованиях встречаются в виде пятен, а не пленок. В керне отмечаются редкие включения органических веществ. Органические остатки представлены неопределенным раковинным перекристаллизованным детритом, реже комочками водорослей, обломками гастропод.

Пористость известняков, слагающих отложения XV-а горизонта, изменяется в широких пределах от 1.7% до 10%. Проницаемость изменяется в пределах от 0.113×10^{-3} мкм² до 117.45×10^{-3} мкм². Остаточная водонасыщенность колеблется в

пределах от 68% до 96%.

Для установления нижней границы коллекторов по коэффициенту открытой пористости ($k_{\text{п}}$) использован графоаналитический метод, основанный на построении интегральной функции распределения значений данного параметра по интервалам, относимым к коллекторам и не коллекторам [5]. Для обоснования граничного значения по пористости было использовано 39 образцов. По результатам построенной зависимости наиболее вероятное значение граничной пористости равно 6.5% (рис. 2) [4].

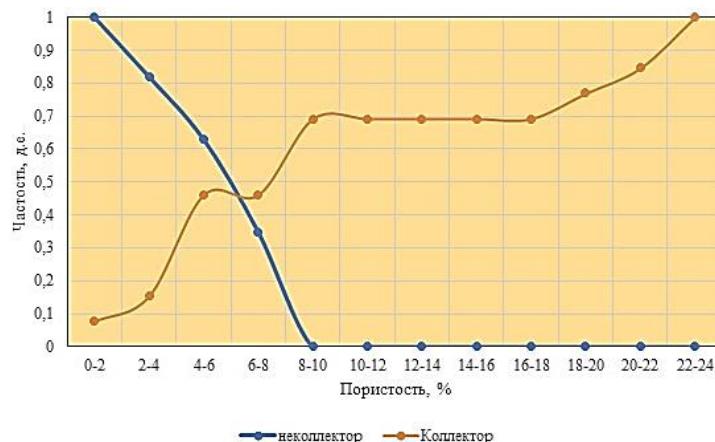


Рис. 2. Сопоставление кумулятивных кривых распределения коллекторов и неколлекторов по коэффициенту пористости

Для обоснования граничных значений коэффициента остаточной водонасыщенности ($k_{\text{ов. гр}}$) используется корреляционная зависимость $k_{\text{п}} = f(k_{\text{ов}})$ (1).

Результаты сопоставления значений пористости и водонасыщенности с целью выявления зависимости $k_{\text{п}}=f(k_{\text{ов}})$ для коллекторов продуктивных горизонтов приведены на рисунке 3. Выявленная зависимость в численном выражении для карбонатной толщи имеет вид:

$$k_{\text{ов}} = 95,2 - 3,6 \cdot k_{\text{п}} \quad (1)$$

Почти во всех представленных скважинах проводился полный комплекс ГИС. Присутствие полного комплекса материалов ГИС, позволило определить литологический состав пород-коллекторов и более надежно определить фильтрационно-емкостные параметры коллекторов. По всем скважинам составлены планшеты [1, 2].

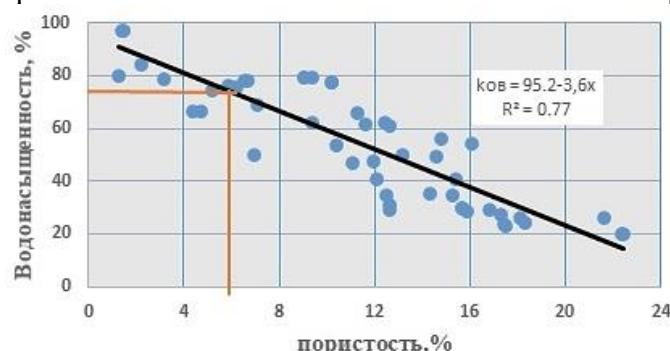


Рис. 3. Зависимость $k_{\text{ов}}=f(k_{\text{п}})$ коэффициента остаточной водонасыщенности от коэффициента открытой пористости карбонатных пород

Ниже приводится обоснование параметров пористости и газонасыщенности по всем продуктивным горизонтам и скважинам.

XV-1 горизонт значения коэффициента пористости в пределах месторождения изменяются от 9.7% (скв. №17) до 15.5% (скв. №1). К подсчету принято средневзвешенное значение коэффициента пористости равное 11,5%. Значения коэффициента газонасыщенности изменяются от 51% (скв. №2, 7) до 61 % (скв. №17). К подсчету принято средневзвешенное значение коэффициента газонасыщенности равное 49%.

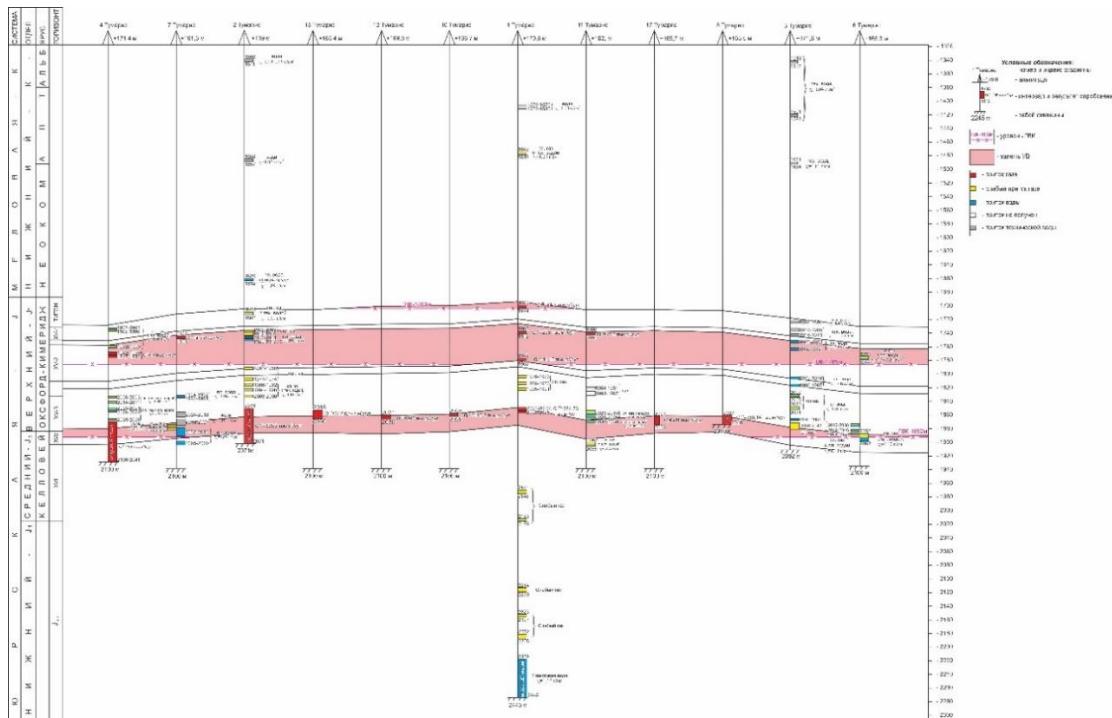
Тогда граничное значение коэффициента остаточной водонасыщенности $k_{ov\ gr}$ для газонасыщенного коллектора равно 76% (Таблица 1).

Таблица 1

Значение фильтрационно-ёмкостных свойств продуктивных горизонтов

Параметры	XV-1, XV-2, XV-a
	Газонасыщенная часть
Проницаемость, мкм^2	$0.1 \times 10^{-3} \text{ мкм}^2$
Открытая пористость, %	6.5%
Остаточная водонасыщенность, %	76%

XV-2 горизонт – к подсчету принято средневзвешенное значение коэффициента пористости равное 17.7 %, в пределах месторождения значение этого параметра изменяется от 14.7 % (скв. №6) до 19.9 % (скв. №10). Коэффициент газонасыщенности изменяется от 52% (скв. №6) до 61% (скв. №1). К подсчету принято средневзвешенное значение равное 58%.

**Рис. 4. Схема опробования месторождения Тумарис**

XVa горизонт – к подсчету принято средневзвешенное значение коэффициента пористости равное 15.5%, в пределах месторождения значение этого параметра изменяется от 11.2% (скв. № 13) до 19.3% (скв. № 17). Коэффициент газонасыщенности изменяется от 52% (скв. №6) до 63% (скв. №2). К подсчету принято средневзвешенное значение равное 57%.

В соответствии с принятой геологической моделью, а также результатами сопоставления материалов ГИС и опробования в пределах месторождения Тумарис выделяются газоконденсатные залежи в XV-1, XV-2 и XVa горизонтах. В залежах XV-1, XV-2 и XVa горизонтов приняты газоводянные контакты (ГВК), положение которых обосновано следующим образом:

Положение ГВК для залежи XV-1 горизонта принято на абс. отм. -1713 м по нижней дыре перфорации на глубине 1882 м скважины №2, что не противоречит испытанию в скважине №1, где в интервале 1874-1870 м получен промышленный приток газа дебитом 81,5 тыс. м³/сут через 10 мм щтуцер.

Положение ГВК для залежи XV-2 горизонта принято на абсолютной отметке минус 1785 м по нижней дыре перфорации на глубине 1947,4 м скважины №11.

В залежах XVa горизонта газоводянной контакт (ГВК) принято на абс. отм. -1892 м, по нижней дыре перфорации на глубине 2036,3 м скважины №3 (рис. 4) [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Итенберг С.С. «Изучение нефтегазоносных толщ промыслового-геофизическими и геологическими методами» Москва. Недра. 1967г. – 191 с.
2. Мамиров Ж.Р., Холмуродов И.З. “Оперативный подсчет и пересчет запасов нефти, газа и конденсата по находящимся в разведке месторождениям АО “Узбекнефтегаз”, Ташкент. ГУ “ИГИРНИГМ” 2020г. – 130-138 с.
3. Ибрагимов З.С. «Породы-коллекторы нефти и газа мезозоя Узбекистана». Издательство «ФАН». Ташкент, 1971г. – 96 с.
4. Холмуродов И.З., Хожиев Б.И. «Фильтрационно-ёмкостные свойства продуктивных коллекторов отложений юрской системы каньонского поднятия». Журнал «ВЕСТНИК НУУз» Ташкент, 2022г. – 31/1, – 303 с.
5. Холмуродов И.З., Муратова С.Ф., Мехмонов Ш.М. «Эффективность выделения терригенных коллекторов в северо-западной части чарджоуской ступени (на примере газоконденсатные месторождения Андакли)» Журнал «ВЕСТНИК НУУз» Ташкент, 2021г. – 32/1, – 186 с.

TO DETERMINE THE FILTRATION-CAPACITANCE PROPERTIES OF PRODUCTIVE RESERVOIRS OF THE TUMARIS DEPOSIT AND USTONOVIT THE BOUNDARIES OF GAS-WATER CONTACTS

Holmurodov Isroil Zavki ugli
«Institute of Geology and Exploration of Oil and Gas Fields», Tashkent, Uzbekistan
isroil.holmurodov@mail.ru

Summary: This article discusses the isolation and determination of filtration-capacitance properties of Jurassic sediments in the wells of the Tumaris deposit. The calculation parameters were determined and the position of the gas-water contact (GVK) in the productive objects of the field was justified. The proposed approach is based on the results of core analysis and curves in geophysical well surveys (GIS).

Keywords: deposit, reservoir, hydrocarbon, horizon, geophysical well surveys (GIS), interpretation of GIS data, rock properties, deposit, logging, diagram.

УДК 550.832

ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ СЕЙСМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КАРОТАЖА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ГРАНИЦ ИНТЕРВАЛОВ И КАЧЕСТВА ПЕРФОРАЦИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ КОЛОНН В НЕФТЯНЫХ СКВАЖИНАХ

Чердынцев Сергей Николаевич
ООО «Оренбурггеопроект», г. Оренбург
89501818580@mail.ru

Аннотация. В работе дается краткое описание способа определения степени гидродинамической сообщаемости продуктивного пласта с внутренней полостью эксплуатационной колонны в нефтяных скважинах посредством сейсмоэлектрического каротажа и устройства для его осуществления. С целью повышения точности определения границ интервалов и качества перфорации обсадной эксплуатационной колонны в качестве чувствительного элемента в глубинном приборе автором предлагается применение мегаэлектродного блока - группы 24-х измерительных электродов, расположенных радиально оси прибора на прижимном устройстве. Представлены результаты применения способа и аппаратуры сейсмоэлектрического каротажа на нефтяном месторождении Оренбургской области. Произведен анализ полученных каротажных диаграмм. Обоснована целесообразность применения способа с использованием мегаэлектродного блока.

Ключевые слова: перфорация, сейсмоэлектрический каротаж, скважина, мегаэлектродный блок, нефтяной пласт, эксплуатационная колонна, каротажная диаграмма, геофизические исследования, Оренбургская область.

Повышение информативности геофизических методов исследования скважин при проектировании, разработке и эксплуатации месторождений углеводородов является сегодня важной и актуальной задачей промысловой геологии. В настоящей работе предлагается применение способа оценки гидродинамической сообщаемости продуктивного пласта с внутренней полостью обсадной колонны при определении интервалов и качества перфорации обсадных эксплуатационных колонн в нефтяных скважинах и устройство для его осуществления с использованием мегаэлектродного блока в глубинном приборе сейсмоэлектрического каротажа в качестве чувствительного элемента.

При сейсмоэлектрическом каротаже осуществляется регистрация диаграмм разности электрических потенциалов исследуемой среды по стволу скважины при одновременном акустическом воздействии. Метод основан на изучении сейсмоэлектрического эффекта второго рода Е, возникающего в результате электризации флюидонасыщенных осадочных горных пород при относительном смещении твердой и жидкой фаз приложении акустического поля [1].

Целью настоящего исследования явилось повышение информативности геофизических исследований при проведении сейсмоэлектрического каротажа в нефтяных эксплуатационных скважинах для определения границ интервала и качества перфорации обсадных колонн за счет применения в качестве чувствительного элемента мегаэлектродного блока в глубинном скважинном приборе.

При анализе диаграмм, полученных в процессе каротажных измерений выявлен эффект от применения мегаэлектродного блока и обоснована его целесообразность.

Известные способы и устройства [2, 3] сейсмоэлектрического каротажа для определения границ интервалов и качества перфорации обсадной эксплуатационной колонны в скважине имеют недостаточно высокую точность оценки степени гидродинамической сообщаемости продуктивного пласта с внутренней полостью обсадной колонны в связи со слабой дифференцированностью регистрируемого сигнала и его малой амплитудой, так как при их применении измерение значений разности электрических потенциалов обсадной колонны в скважине происходит при движении центрального измерительного электрода М – чувствительного элемента, расположенного на достаточном расстоянии от стенок скважины, ориентировано по ее центру. Такое расположение чувствительного элемента не позволяет регистрировать значения параметров разности электрических потенциалов обсадной колонны непосредственно на контакте скважинной жидкости и проперфорированных стенок скважины в исследуемом интервале перфорации.

Поставленная цель достигается посредством применения мегаэлектродного блока в глубинном скважинном приборе для увеличения амплитуды и дифференцированности регистрируемого сигнала.

Мегаэлектродный блок представляет из себя группу выносных измерительных электродов $M_1 - M_n$, расположенных радиально оси скважинного прибора на прижимном устройстве в количестве 24 штук [5] и является его наиболее эффективным и чувствительным элементом в отличие от центрального измерительного электрода М. Мегаэлектродный блок обеспечивает измерение значений разности электрических потенциалов непосредственно на контакте скважинной жидкости и проперфорированных стенок скважины в исследуемом интервале перфорации, увеличивая интенсивность регистрируемого сигнала.

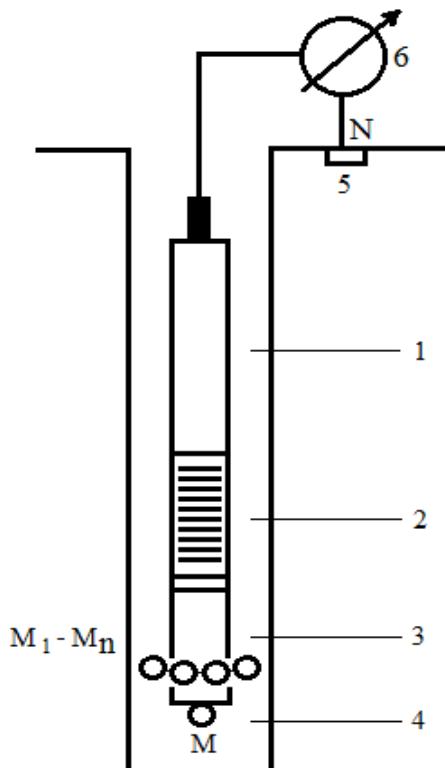


Рис. 1. Аппаратура сейсмоэлектрического каротажа

Аппаратура сейсмоэлектрического каротажа (рис. 1) состоит из скважинного прибора и наземного цифрового регистратора. Скважинный прибор 1 включает в себя:

излучатель 2, мегаэлектродный блок 3, центральный измерительный электрод М 4, электрод N, заземленный на поверхности 5, наземный цифровой регистратор 6.

Излучатель предназначен для создания акустического воздействия на исследуемую зону перфорации в диапазоне частот от 5 до 24 кГц.

Чувствительными элементами глубинного прибора являются: центральный измерительный электрод М и мегаэлектродный блок. Относительно электрода N, заземленного на земной поверхности производится регистрация сигнала. Наземный цифровой регистратор предназначен для визуализации и записи данных, а также для управления скважинным прибором и его режимами.

Целью каротажных работ являлось выявление эффекта от применения мегаэлектродного блока в аппаратуре сейсмоэлектрического каротажа при определении границ интервала и качества перфорации обсадной колонны в скважине.

Работы проводились на месторождении Оренбургской области в эксплуатационной нефтяной скважине в интервале перфорации башкирского яруса на глубине 1634,5-1641,6 м.

Оценка степени гидродинамической сообщаемости продуктивного пласта с внутренней полостью обсадной колонны проводилась следующим образом.

После проведения перфорации пласта сначала выполнялась фоновая запись при помощи одного центрального измерительного электрода М в исследуемом интервале.

Далее выполнялась запись с применением мегаэлектродного блока относительно фонового замера.

Определение границ интервала и качества перфорации производилась на качественном уровне путем сравнительного анализа двух полученных диаграмм.

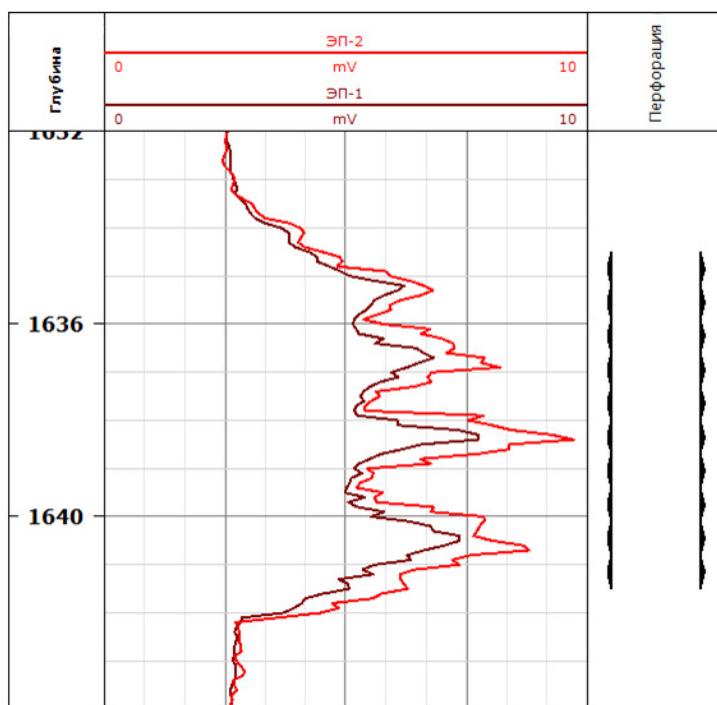


Рис. 2. Каротажные диаграммы сейсмоэлектрического каротажа для определения границ интервала и качества перфорации эксплуатационной колонны в скважине

На рис. 2 приведены каротажные диаграммы, записанные одним центральным измерительным электродом М ЭП-1 и диаграммы, записанные с применением мегаэлектродного блока ЭП-2. Диаграмма ЭП-2 свидетельствует о том, что применение мегаэлектродного блока дает дополнительные приращения амплитуды сигнала и изменение его

морфологии в исследуемом интервале перфорации относительно фонового замера, что позволяет с более высокой точностью и достоверностью судить о степени гидродинамической сообщаемости пласта с внутренней полостью обсадной колонны. Здесь более четко выделяются границы интервала перфорации, просматриваются дополнительные приращения в местах прострела относительно фоновой записи одним центральным измерительным электродом.

Дополнительные приращения аномалий диаграммы разности электрических потенциалов при применении мегаэлектродного блока объясняются наличием на контакте твердой и жидкой фаз потенциалов различной природы [4], которые не наблюдаются на диаграмме фоновой записи и не могут быть зарегистрированы при помощи одного центрального измерительного электрода.

Подводя общие итоги относительно повышения информативности сейсмоэлектрического каротажа при определении границ интервалов и качества перфорации эксплуатационных колонн в нефтяных скважинах посредством применения мегаэлектродного блока в качестве чувствительного элемента в глубинном скважинном приборе можно сделать следующие выводы.

Проведенные скважинные исследования демонстрируют целесообразность применения мегаэлектродного блока при регистрации значений разности электрических потенциалов исследуемой среды.

Применение мегаэлектродного блока дает некоторую дополнительную информацию и повышает точность определения границ интервалов перфорации, объективность оценки эффективности прострела эксплуатационной колонны, интерпретационную информативность геофизических исследований и позволяет с более высокой степенью достоверности судить о качестве прострелочно-взрывных работ в скважинах.

Проведение вышеописанных исследований и анализ их результатов может стать основой для создания, внедрения, развития новых геофизических методов и устройств при проектировании, разработке и эксплуатации месторождений углеводородного сырья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов А.Г. Сейсмоэлектрический эффект 2 рода // Известия АН СССР. Серия географическая и геофизическая. - 1940. - № 5. – С. 699-727.
2. Марков В.А., Масленников В.И., Чердынцев С.Н. Способ определения интервала и качества перфорации обсадной колонны в скважине. Патент РФ № 2298648. Патентообладатель общество с ограниченной ответственностью «Оренбурггеофизика». 2005. Бюл. № 13.
3. Потапов О.А., Лизун С.А, Кондрат В.Ф. и др. Основы сейсмоэлектроразведки. М.: Недра, 1995. – 267 с.
4. Сковородников И.Г. Геофизические исследования скважин. 4-е изд., перераб. и доп.: Уральский государственный горный университет. - Екатеринбург, 2014. – С. 119-127.
5. Чердынцев С.Н., Масленников В. И. Устройство для измерения естественных электрических потенциалов горных пород при акустическом воздействии на зону исследования. Патент РФ № 81526. Патентообладатель Чердынцев С.Н. 2007. Бюл. № 8.

**INCREASING THE INFORMATIVENESS OF SEISMOELECTRIC
LOGGING IN DETERMINING THE BOUNDARIES OF INTERVALS
AND THE QUALITY OF PERFORATION OF PRODUCTION
COLUMNS IN OIL WELLS**

Cherdynsev Sergey
LLC «Orenburggeoproject», Orenburg
89501818580@mail.ru

Summary. The paper gives a brief description of a method for determining the degree of hydrodynamic communication of an oil reservoir with the inner cavity of an operational column in a well by means of seismoelectric logging and a device for its implementation. In order to improve the accuracy of determining the boundaries of intervals and the quality of perforation of the casing production string in oil wells, the author proposes the use of a megaelectrode block - a group of 24 measuring electrodes located radially to the axis of the device on a clamping device as a sensing element in a deep device. The results of the application of the method and equipment of seismoelectric logging at the oil field of the Orenburg region are presented. The analysis of the received logging diagrams is made. The expediency of using the method using a megaelectrode block is substantiated.

Key words: perforation, seismoelectric logging, borehole, mega electronic block, oil reservoir, production column, logging diagram, geophysical research, Orenburg region.

УДК 550.3+551.24

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛЬНЕЙШИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НАЧАЛА XXI ВЕКА В ЧИЛИЙСКОЙ ЗОНЕ СУБДУКЦИИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СПУТНИКОВОЙ ГЕОДЕЗИИ

¹*Щевьёва Надежда Сергеевна, ^{1,2}Владимирова Ирина Сергеевна*

¹*ИО РАН, г. Москва*

²*ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск*

¹*Nadezda.Shchevyeva@yandex.ru, ^{1,2}vladis@gsras.ru*

Аннотация. Работа посвящена изучению сейсмотектонических деформаций, связанных с серией сильнейших субдукционных землетрясений ($M \geq 8$) в Чили в начале XXI в. на основе анализа спутниковых геодезических измерений. Построены модели очаговых зон землетрясений Мауле 2010 г., Икике 2014 г. и Ильяпель 2015 г. Проведен сравнительный анализ процессов накопления и высвобождения напряжений во время указанных событий.

Ключевые слова: Чилийская зона субдукции, сильнейшие землетрясения, спутниковая геодезия, сейсмотектонические деформации, очаговая зона.

Чилийское побережье является одним из самых сейсмически и тектонически активных регионов Земли, что обусловлено высокой скоростью погружения молодой океанической плиты Наска под активную континентальную окраину Южноамериканской плиты. К Чилийскому побережью приурочено множество землетрясений магнитудой, превышающей 8,5. Например: 16 декабря 1575 г. в Вальдивии; 24 ноября 1604 г. в Арике; 8 июля 1730 г. в Вальпараисо; 25 мая 1751 г. в Консепсьоне; 11 апреля 1819 г. в Копьяпо; 19 ноября 1822 г. в Вальпараисо; 20 февраля 1835 г. в Консепсьоне; 13 августа 1868 г. в Арике; 16 августа 1906 г. в Вальпараисо [5]. В пределах Чилийской зоны субдукции произошло и самое сильное из инструментально зарегистрированных событий за всю историю наблюдений – Великое Чилийское землетрясение с $M_w=9,5$ (22 мая 1960 г. в Вальдивии). В предыдущем десятилетии в центральной и северной частях Чили наблюдалась сейсмическая активизация. В этот период в пределах Чилийской зоны субдукции произошло три сильнейших цунамигенных события, магнитуды которых превысили 8: землетрясение Мауле 27 февраля 2010 г. ($M_w=8.8$), землетрясение Икике 1 апреля 2014 г. ($M_w=8.1$) и землетрясение Ильяпель 16 сентября 2015 г. ($M_w=8.3$).

Для исследования сейсмотектонических деформаций, связанных с этими событиями, был проведён подбор и анализ трёхкомпонентных временных рядов станций Глобальных Навигационных Спутниковых Систем (ГНСС) на Чилийском побережье, предоставленных Геодезической обсерваторией Невады [1]. Все приведенные в работе спутниковые геодезические данные рассматриваются относительно Южно-Американской плиты.

Выделение необходимых компонент перемещения пунктов ГНСС, а именно смещений на предсейсмической и сейсмической стадиях сейсмического цикла, в работе осуществляется с использованием регрессионного анализа временных рядов. Исследование предсейсмической стадии производится на основе анализа полей скоростей и вариаций скоростей смещений ГНСС-станций за годовые интервалы. Для этого были выделены трехлетние временные периоды перед каждым из землетрясений, при этом из рассмотрения исключались пункты наблюдений, в данных которых явно проявлялись нелинейные составляющие, связанные с постсейсмическими деформациями. С целью

исследования сейсмической стадии для каждого рассматриваемого события были отобраны станции, зарегистрировавшие основной толчок, и расположенные не далее 500 км от эпицентра.

Анализ полей предсейсмических скоростей позволил выявить общую тенденцию процессов накопления напряжений перед исследуемыми событиями: в течение всего трехлетнего периода перед каждым из землетрясений Мауле 2010 г., Икике 2014 г. и Ильяпель 2015 г. скорости смещения ГНСС-станций были сонаправлены с вектором скорости субдукции. Движение станций в таком направлении обусловлено сжатием края континентальной плиты на межсейсмической стадии цикла и накоплением упругих напряжений, которые впоследствии высвобождаются во время землетрясений. Однако, в результате анализа вариаций этих же скоростей (рис. 1) было установлено, что несмотря на общую схожесть, обусловленную единой для всех трёх событий обстановкой сжатия, типичной для зон субдукции, процессы накопления напряжений перед изучаемыми землетрясениями имеют ряд характерных особенностей (рис. 1).

Так, непосредственно перед землетрясением Мауле наблюдалось замедление движения станций, а перед землетрясением Икике – наоборот, ускорение. Кроме того, перед землетрясением Мауле наибольшие скорости были зафиксированы на станциях, расположенных вблизи очага, а перед землетрясением Икике максимальные скорости были зарегистрированы на станциях, расположенных южнее очага будущего события.

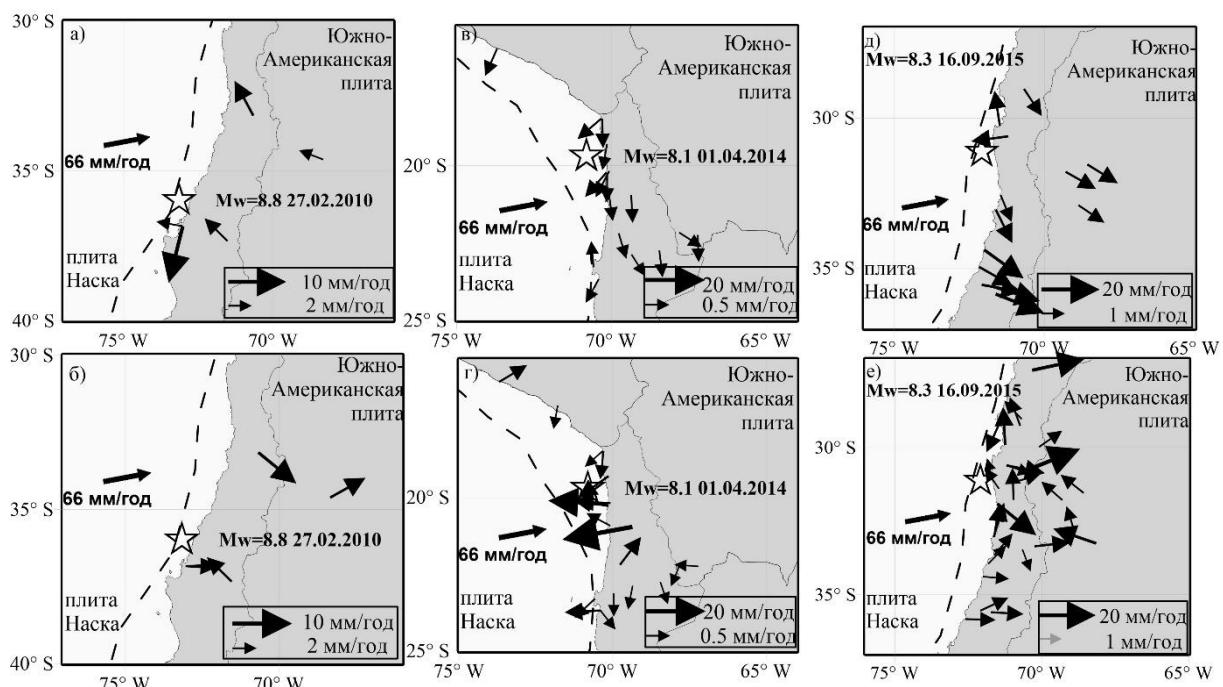


Рис. 1. Разности скоростей станций: а) за 2 и 3 года; б) за 1 и 2 года до землетрясения Мауле (27.02.2010); в) за 2 и 3 года; г) за 1 и 2 года до землетрясения Икике (01.04.2014) за 2 и 3 года; е) за 1 и 2 года до землетрясения Ильяпель (16.09.2015). Пунктирная чёрная линия – Перуанско-Чилийский желоб. Чёрная стрелка – вектор скорости субдукции

Южная часть области подготовки землетрясения Ильяпель оказалась затронута постсейсмическими деформациями, сопровождающими землетрясение Мауле, которое произошло пятью годами ранее. В течение трёх лет до землетрясения Ильяпель на юге рассматриваемой области наблюдались смещения станций в северо-западном направлении, что практически противоположно направлению субдукции. Причем эти скорости убывают с течением времени с 60 до 37 мм/год, что указывает на затухание

постсейсмического процесса. Характерной особенностью предсейсмической стадии в данном случае является планомерный рост скоростей смещений станций в окрестности очага готовящегося землетрясения на протяжении всего периода наблюдений.

Существенные различия, выявленные в протекании процессов накопления упругих напряжений перед исследуемыми землетрясениями, связаны, по видимости, с уникальными геоморфологическими условиями, присущими окрестностям очаговых зон каждого конкретного события.

Максимальные косейсмические смещения станций ГНСС, вызванные землетрясением Мауле, достигли 4.7 м, в то время как наибольшие смещения, вызванные событиями Икике и Ильяпель не превысили 0.85 м и 1.5 м соответственно (рис. 2а, в, д). На основе данных о косейсмических смещениях во время исследуемых землетрясений были построены модели распределенной подвижки в их очагах (рис. 2). Полученные распределения подвижек по разрыву являются результатом решения обратной задачи, сводящейся к минимизации невязок между измеренными спутниковыми методами и смоделированными по методике, описанной в [6], косейсмическими смещениями. В качестве границ очагов землетрясений были приняты границы облаков их афтершоков.

Все исследуемые землетрясения характеризуются магнитудой $Mw \geq 8$, однако максимальная величина сейсмической подвижки в очаговой зоне самого сильного землетрясения Мауле, достигнув 12 м, в 2 раза превысила максимальные величины подвижек в очагах несколько более слабых землетрясений Икике и Ильяпель. Кроме того, землетрясение Мауле характеризуется наиболее сложным распределением сейсмической подвижки в очаге (рис. 2б).

Отличительной особенностью землетрясения Икике 2014 г. является локализация сейсмической подвижки только в северной части очаговой зоны (рис. 2г). Отсутствие подвижки в южной зоне может свидетельствовать об асейсмическом крипе в данной области. В то же время, значимые сейсмические смещения в очагах землетрясений Мауле 2010 г. и Ильяпель 2015 г. распределены по всей плоскости их разломных зон, убывая от центра к краям (рис. 2б, е).

Найденные распределения сейсмических подвижек в очагах землетрясений позволяют получить прямую оценку скалярного сейсмического момента M_0 , выделившегося во время этих событий, по формуле (1), где μ – модуль сдвига горных пород, U_l – средняя подвижка по элементу разлома l , S_l – площадь элемента разрыва l . Для расчётов было использовано значение модуля сдвига $\mu = 40$ ГПа [3]. Полученные результаты представлены в таблице 1. Рассчитанные в данной работе значения скалярного сейсмического момента хорошо согласуются с данными каталога USGS [2] и оценками GSMT [4].

$$M_0 = \mu \sum U_l S_l \quad (1)$$

Полученные в ходе выполнения исследования модели очагов землетрясений и энергетические оценки могут быть использованы при изучении особенностей сейсмических циклов, связанных с сильнейшими землетрясениями, что, в свою очередь, крайне важно для совершенствования методик прогнозирования подобных событий.

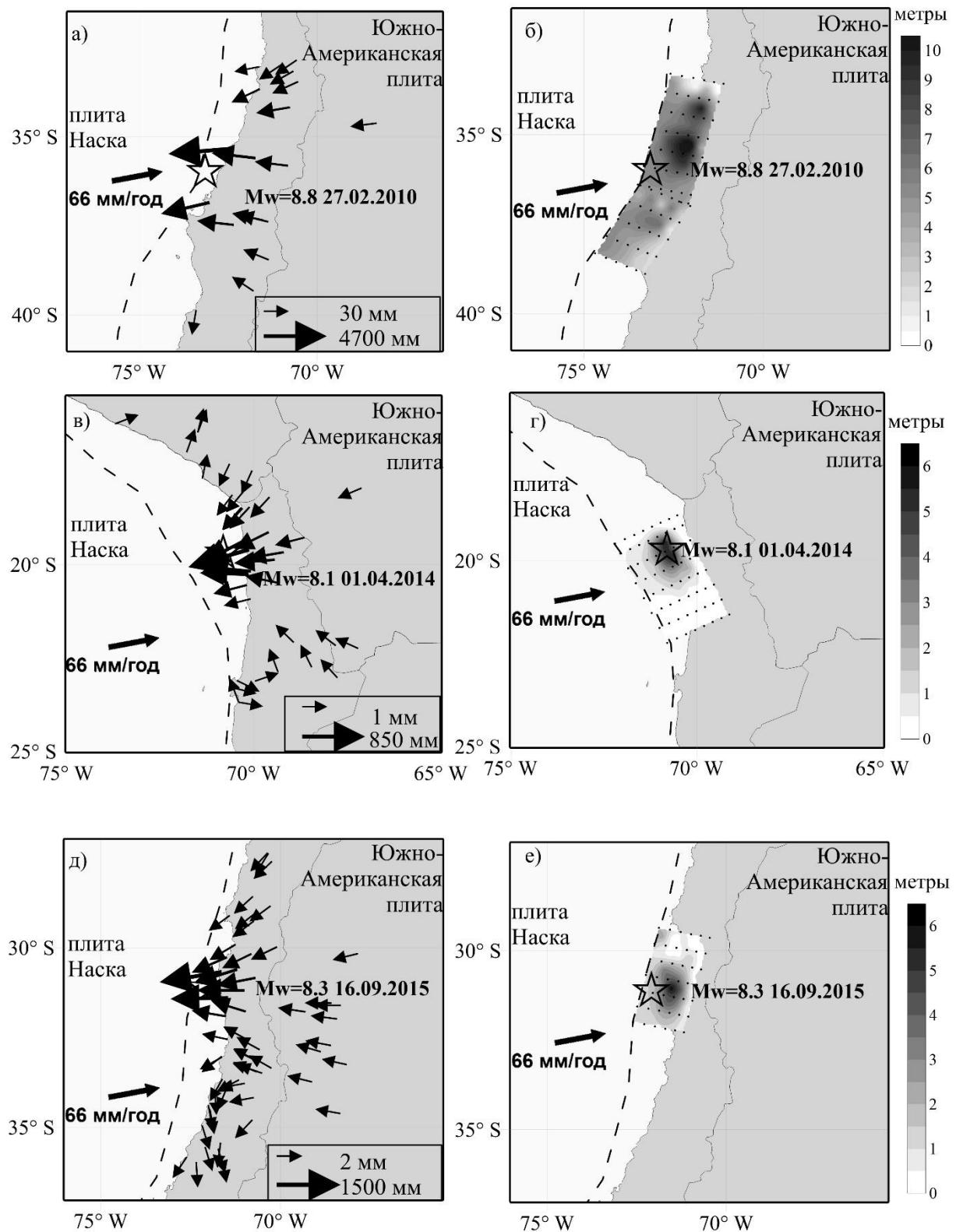


Рис. 2. Косеисмические смещения на станциях, зарегистрированные во время землетрясений в Чилийской зоне субдукции и распределение сейсмических подвижек в плоскостях очагов соответствующих событий: Мауле 27.02.2010 (а, б); Икике 01.04.2014 (в, г) и Ильяпель 16.09.2015 (д, е).

Пунктирная чёрная линия – Перуанско-Чилийский желоб. Чёрная стрелка – вектор скорости субдукции

Таблица 1

Сопоставление скалярных сейсмических моментов и магнитуд, полученных в этой работе, с данными каталога USGS и оценками GSMT

Источник данных	Землетрясение Мауле ($Mw = 8.8$) 7.02.2010 г.		Землетрясение Икике ($Mw = 8.1$) 1.04.2014 г.		Землетрясение Ильяпель ($Mw = 8.3$) 6.09.2015 г.	
	M_0	Mw	M_0	Mw	M_0	Mw
USGS	2.26×10^{22} Н·м	8,84	2.35×10^{21} Н·м	8,18	3.19×10^{21} Н·м	8,27
GSMT	1.86×10^{29} дина·см	8,8	1.9×10^{28} дина·см	8,1	3.23×10^{29} дина·см	8,1
Данная работа	1.84×10^{22} Н·м	8,78	2.69×10^{21} Н·м	8,22	2.99×10^{21} Н·м	8,25

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геодезическая обсерватория Невады. [Электронный ресурс]. – URL: <http://geodesy.unr.edu/index.php> (дата обращения: 10.12.2021).
2. Каталог USGS. [Электронный ресурс]. – URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/> (дата обращения: 10.05.2022).
3. Ammon C.J., Kanamori H., Lay T. A great earthquake doublet and seismic stress transfer cycle in the central Kuril Islands // Nature. – 2008. – V. 451. – P. 561–565.
4. Global Centroid-Moment-Tensor Project. [Электронный ресурс]. – URL: <https://globalcmt.org/> (дата обращения: 20.05.2022).
5. Lomnitz C. Major Earthquakes of Chile: A Historical Survey, 1535–1960 // Seismological Research Letters. – 2004. – V. 75. – № 3. – P. 368–378.
6. Pollitz F.F. Coseismic deformation from earthquake faulting on a layered spherical Earth // Geophys. J. Int. – 1996. – V. 125. – P. 1–14.

STUDY OF THE STRONGEST EARTHQUAKES AT THE BEGINNING OF XXI CENTURY IN THE CHILEAN SUBDUCTION ZONE ON THE BASIS OF SATELLITE GEODETIC DATA

¹*Shcheveva Nadezhda, ^{1,2}Vladimirova Irina*

¹*IO RAS, Moscow*

²*FRC GS RAS, Odninsk*

¹*Nadezda.Shcheyeva@yandex.ru*

^{1,2}*vladis@gsras.ru*

Summary. The work is devoted to the study of seismotectonic deformations associated with a series of strongest subduction earthquakes ($M \geq 8$) in Chile at the beginning of the 21st century based on the analysis of satellite geodetic data. Models of source zones of the 2010 Maule, 2014, Iquique and 2015 Illapel earthquakes were constructed. A comparative analysis of the processes of accumulation and release of stresses during these events was carried out.

Key words: Chilean subduction zone, strongest earthquakes, satellite geodesy, seismotectonic deformations, source zone.

УДК 550.837

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ МЕТОДОМ ВЭЗ НА ОТДЕЛЬНОМ УЧАСТКЕ ТЕРРИТОРИИ КАМПУСА ПГНИУ

*Юлдор Максим Янусович
ПГНИУ, г. Пермь
yuldop@inbox.ru*

Аннотация. Приведены результаты электрометрических наблюдений по изучению приповерхностной части разреза участка кампуса ПГНИУ. Представлены разрезы кажущегося сопротивления и геоэлектрические разрезы. Дан сравнительный анализ пользовательских характеристик программных комплексов «Зонд 2» и «IPI2Win».

Ключевые слова: электрометрия, вертикальное электрическое зондирование, геоэлектрический разрез, наблюдательная скважина, пользовательские характеристики.

В статье представлены результаты изучения приповерхностной части разреза на глубину порядка 8 м методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) на отдельном участке территории кампуса ПГНИУ. Исследуемый участок находится вблизи с Учебно-научным гидрогеологическим полигоном (УНГП), созданным по инициативе профессора В.Н. Катаева. На полигоне находятся три гидрогеологические скважины, предназначенные для проведения опытно-фильтрационных работ и наблюдений за уровнем подземных вод на территории кампуса.

Электрометрические измерения привязывались к центральной скважине полигона, разрез которой сверху вниз представлен следующими отложениями. Первый (верхний слой) мощностью $H = 1.4$ м представлен слежавшимся, малой степени водонасыщенности песком средней крупности со строительным мусором и супесью. Подстилает его слой желтовато-коричневым песка, насыщенного водой ($H = 1.9$ м). Ниже по разрезу находятся суглинки мягкопластичные ($H = 0.5$ м) и затем тугопластичные ($H = 0.6$ м). Ещё глубже находятся гравелистые пески, насыщенные водой ($H = 0.9$ м), которые подстилаются грунтом гравийным с песчаным водонасыщенным заполнителем ($H = 0.8$ м). Ещё глубже отмечены суглинки мягкопластичные с гравием ($H = 2.5$ м). Подстилающими породами являются сильнотрещиноватые маловлажные аргиллиты.

Для получения экспериментальных данных применялась симметричная четырёхэлектродная электроразведочная установка. Измерения производились с применением аппаратуры АМС-1 [1]. Обработка и интерпретация выполнялась с использованием демоверсий программных комплексов «IPI2Win» [2] и «Зонд 2» [5].

На изучаемом участке имелись два параллельных профиля, на каждом по 4 точки ВЭЗ, расстояния между которыми 10 м, а между профилями 30 м.

По результатам наблюдений вычислены значения электрического кажущегося сопротивления (КС) горных пород. Для наглядности на рисунке 1 приведена 3D визуализация поля КС в программном комплексе «Зонд 2», где отмечается общая тенденция уменьшения сопротивления от 318-247 до 8.7-5.6 Ом·м с глубиной. По результатам количественной интерпретации с помощью «Зонд 2» вдоль профилей 1 (рис. 2) и профиля 2 (рис. 3) построены геоэлектрические разрезы, отображающие изменения электрических свойств геологических толщ от поверхности, примерно, до 7-8 м. Полученные разрезы представлены четырех- и трехслойными электрическими моделями. Видно, что значения удельного электрического сопротивления (УЭС) на моделях изменяются в достаточно широком диапазоне от первых единиц до 380 Ом·м.

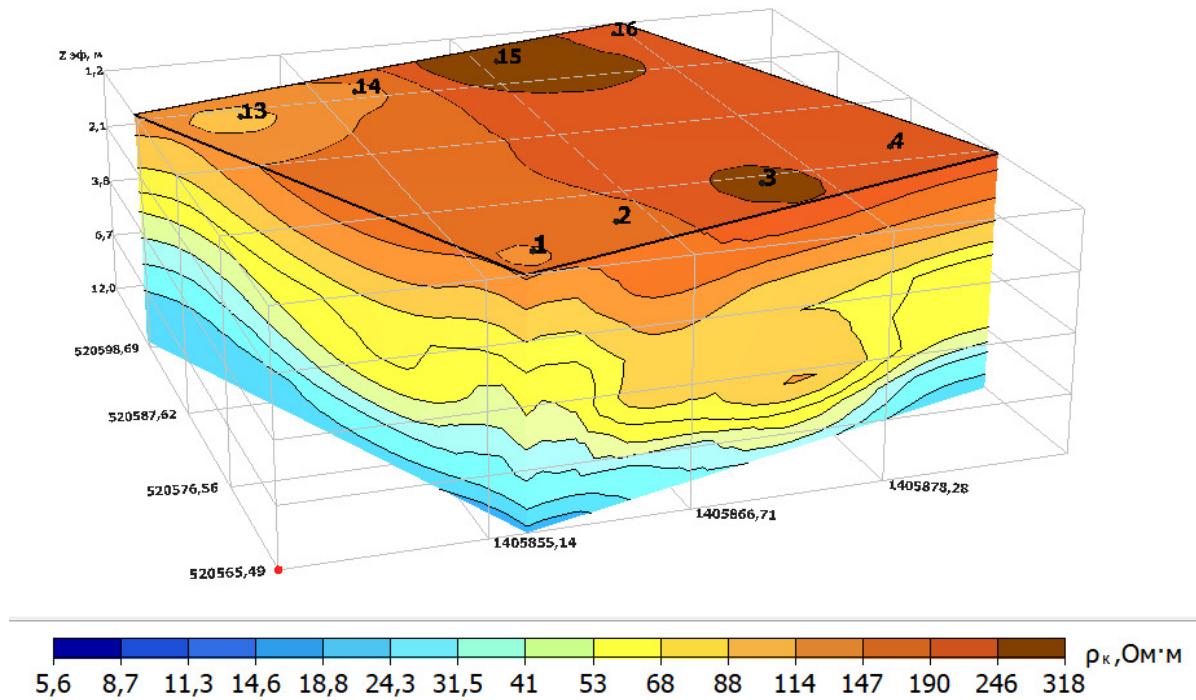


Рис. 1. 3D модель поля кажущегося сопротивления

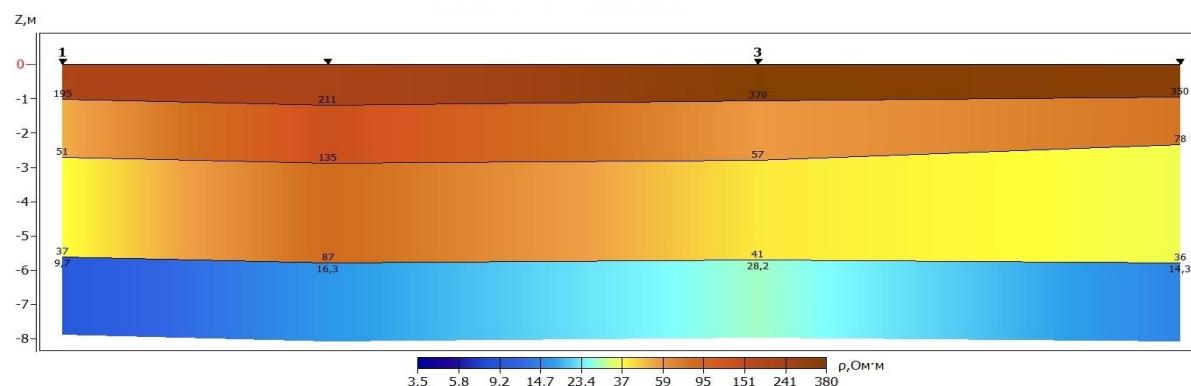


Рис. 2. Геоэлектрический разрез по первому профилю («Зонд 2»)

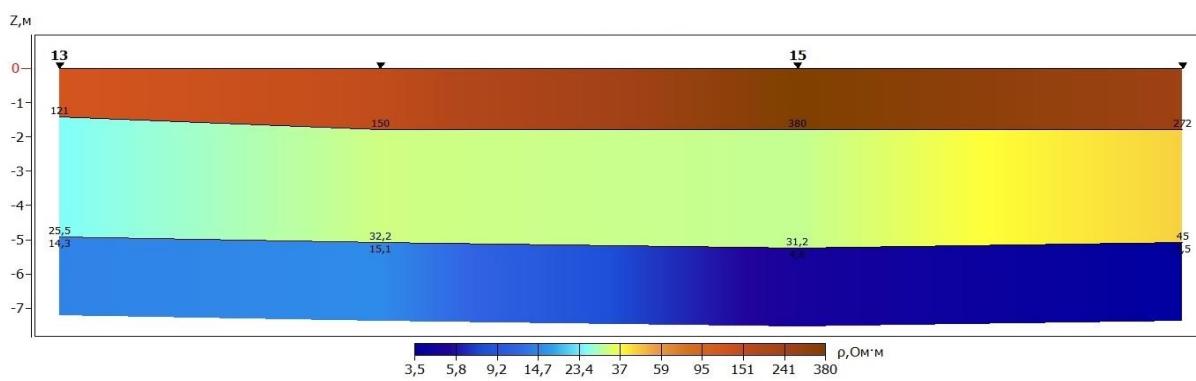


Рис. 3. Геоэлектрический разрез по второму профилю («Зонд 2»)

Первые верхние два слоя в разрезе имеют относительно высокие значения УЭС и отождествляются с рыхлыми четвертичными отложениями (насыпной грунт, песок).

Ниже по разрезу УЭС резко уменьшается. Это связано с тем, что данные слои представлены аргиллитами и примерно на данной глубине находятся подземные воды. Относительно повышенные значения КС верхнего слоя можно связать с техногенными проявлениями (наличием отходов строительных материалов) и с тем, что исследования выполнялись в сухую тёплую погоду. По данным ВЭЗ на первом профиле выделяется 4 слоя, на втором профиле 3 слоя, на основании данных бурения определена литологическая принадлежность отложений.

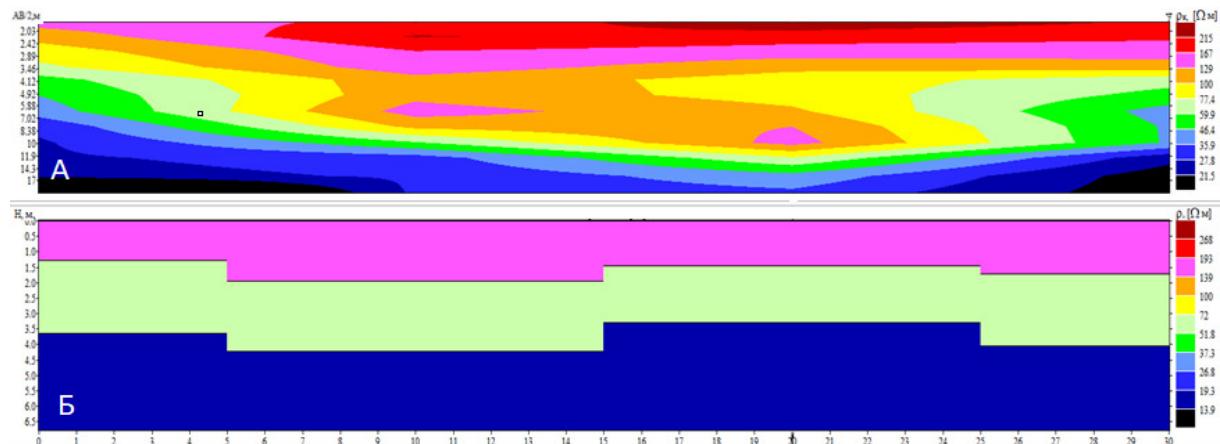


Рис. 4. Разрез КС (А) и геоэлектрический разрез (Б) по профилю 1 («IPI2Win»)

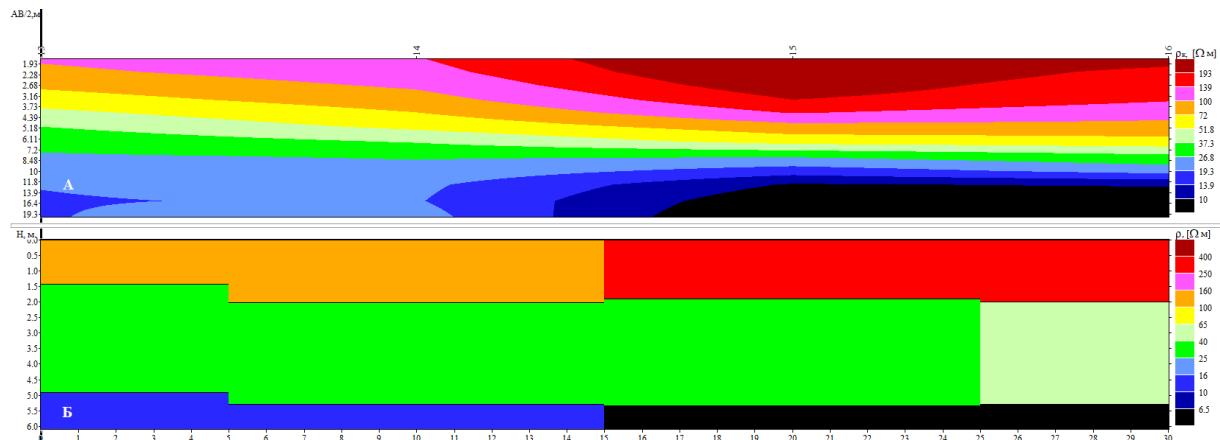


Рис. 5. Разрез КС (А) и геоэлектрический разрез (Б) по профилю 2 («IPI2Win»)

Далее для сравнения обработка экспериментальных данных была выполнена в программе «IPI2Win» [2]. Вдоль профилей 1 и 2 также построены разрезы КС (рис. 4А и рис. 5А), соответственно, и геоэлектрические разрезы (рис. 4Б и рис. 5Б). На этих рисунках в разрезе выделяется 3 слоя. Первый (верхний) слой, представлен насыпным грунтом и характеризуется повышенными значениями сопротивления. Видно, что с увеличением глубины сопротивление горных пород также уменьшается.

В результате выполненных исследований на основании данных ВЭЗ изучена приповерхностная часть разреза исследуемого участка на глубину порядка 7-8 метров, где уверенно выделяется от 3 до 4 слоёв.

Далее сравним пользовательские характеристики применённого программного обеспечения (ПО), таблица 1, 2 и 3.

Таблица 1

Ввод, обработка и интерпретация данных

«Зонд 2» [5]	«IPI2Win» [2]
Ввод полевых данных в программу возможен двумя путями: 1) импорт файла, сохраненного в памяти измерителя «АМС-1»; 2) ручным способом (набивка данных из журнала)	Для начала в программе нужен файл данных определенного формата с информацией о системе наблюдений и значения КС для кривых без «ворот» (*.dat) или с «воротами» (*.dtg). Файл типа dtg может содержать значения разности потенциалов и тока для симметричной и трехэлектродной установок Шлюмберже. Ввод данных вручную также доступен
Прямая задача – алгоритм линейной фильтрации; Обратная задача – метод Ньютона.	Прямая задача решается с использованием алгоритма линейной фильтрации. В основу положена концепция профильной интерпретации. Данные по профилю рассматриваются, как отражение строения геологического разреза по профилю в целом, а не как набор независимых кривых зондирования.
Применяется набор элементов регуляризации, для повышения однозначности решения обратной задачи, с использованием различной априорной информации (качеств. и количеств.) об искомом решении.	Для решения обратной задачи используется принцип минимального числа слоев или вариант метода Ньютона минимизации невязки с использованием Тихоновского подхода к регуляризации решения некорректных задач. При регуляризации может использоваться априорная информация о глубинах границ и сопротивлениях слоев. Обратная задача решается независимо для каждой точки

Таблица 2

Руководство пользователя и сопровождение

Зонд 2» [5]	«IPI2Win» [2]
Для программы написано подробное руководство пользователя, в котором сказано, об общих сведениях программы «Зонд 2», так же дана краткая инструкция по работе с данной программой. Поддержка программы осуществляется через сайт http://uralgeopole.ru/ , электронную почту info@uralgeopole.ru	Для данной программы так же существует подробное руководство пользователя. Так же имеется свой сайт http://www.geoelectric.ru и почта bobachev@rambler.ru

Таблица 3

Вывод результатов

Зонд 2» [5]	«IPI2Win» [2]
Карты можно сохранить в графическом файле, а полученные результаты можно экспортовать в формате ewp. В данной программе мы можем сделать псевдоразрез, геоэлектрический разрез, карту полуразносов, 3D модель	Результаты сохраняются в файле с тем же именем, что у открытого в данный момент файла данных(res). Сохранение результатов происходит одновременно с сохранением файла данных, то есть при выполнении операции сохранения, или при выходе из программы, или перед открытием нового файла данных. В этой программе мы можем построить псевдоразрез, геоэлектрический разрез

Анализируя пользовательские характеристики используемого ПО отметим, что интерфейс программ отчасти схож, но отличается своими индивидуальными особенностями. Нельзя утверждать, что у какой-либо одной программы он лучше, так как на практике предпочтения каждого интерпретатора индивидуальны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аппаратура «АМС-1» [Электронный ресурс] / НПО УралГеоПоле [Сайт]. URL: <http://uralgeopole.ru/kompleks-ams-1/> (дата обращения: 14.12.2022).
2. Бобачев А.А., Модин И.П., Перваго Е.В., Шевнин В.А. IPI2Win. Руководство пользователя [Электронный ресурс] / - М.: МГУ, геол. ф-т, каф. геофизики, 2005. – 26 с. URL: https://docplayer.ru/25849269-Mgu-im-m-v-lomonosova-geologicheskiy-fakultet-kafedra-geofiziki-win-with-ipi2win-ipi2win-s-ipi_res2-ipi_res3-rukovodstvo-polzovatelya.html (дата обращения: 08.02.2023).
3. В.К. Костицын В. И., Хмелевской В. К. Геофизика: учебник / В. И. Костицын, В. К. Хмелевской; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2018. – 428 с.
4. Колесников В.П. Основы интерпретации электрических зондирований. - М: Научный мир, 2007. – 248 с.
5. Программный комплекс «Зонд 2» [Электронный ресурс] / НПО УралГеоПоле [Сайт]. URL: <http://uralgeopole.ru/kompleks-programm-zond-2/> (дата обращения: 08.02.2023).

THE RESULTS OF ELECTROMETRY BY THE VES METHOD ON A SEPARATE SECTION OF THE CAMPUS OF PERM STATE UNIVERSITY

*Uldop Maxim Yaanusovich
Perm State University, Perm
yuldop@inbox.ru*

Summary. The results of electrical exploration work on the study of the near-surface part of the section of the PSU campus site are presented. Sections of the CS, 3D visualization of the apparent resistance field, geoelectric sections are presented and a comparative analysis of the user characteristics of the software complexes "Zond 2" and "IPI2Win".

Keywords: vertical electrical sounding, electrical exploration, geoelectric section, observation well.

УДК 550

ВЫЯВЛЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ ВЗБРОСОВ СЕВЕРНОГО БОРТА ЖИГУЛЕВСКО-ПУГАЧЕВСКОГО СВОДА ПО КОМПЛЕКСУ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ И ГИС НА ПЛОЩАДИ «КС»

¹*Юртаева Анна Андреевна*, ²*Дубинова Антонина Алексеевна*,

³*Прилипко Наталья Максимовна*,

СамГТУ г. Самара

¹*yurtaeva9@mail.ru*, ²*antonina.dubinova@gmail.com*, ³*n.prilipko@yandex.ru*

Аннотация. Изучение северного борта Жигулевско-Пугачевского свода, осложненного взбросами, проведено на основе комплексной интерпретации результатов сейсморазведочных работ и геофизических исследований скважин. По материалам ГИС в скважине 109 Красно-Сокской площади выявленный взброс характеризуется повторением части разреза за счет его подъема по плоскости взбрасывателя. Взброс находит свое подтверждение на временном разрезе по результатам сейсморазведочных работ.

Ключевые слова: геологическое строение, структуры, свод, валы, тектонические нарушения, скважина, пласти, сейсморазведка, геофизическое исследование скважин.

Изучение северного склона Жигулевско-Пугачевского свода проведено на основе комплексной интерпретации результатов сейсморазведки и геофизических исследований скважин (ГИС).

Жигулевско-Пугачевский свод выделен в 1956 году В.Д. Наливкиным. Является крупной положительной структурой юго-западной части Волжско-Камской антеклизы. Выражен по поверхности кристаллического фундамента и опорным горизонтом осадочного палеозойского чехла. Площадь свода составляет 12800 км² в Самарской области.

Жигулевско-Пугачевский свод по строению резко асимметричен, не имеет северного склона, где ограничен взбросом. Вдоль северного, наиболее приподнятого края свода, простирается Жигулевский вал, представленный цепочкой локальных структур, ориентированных параллельно северному крылу.

Район исследования входит в группу структур, осложняющих Жигулевский вал (Заборовское, Сызранское, Губинское, Карлово-Сытовское, Березовское и др.)

На крупных тектонических валах Самарской области содержится более 75% начальных извлекаемых запасов нефти промышленных категорий.

Приуроченность открытых залежей нефти к дизьюктивным нарушениям является важным критерием для геологоразведочных работ. Кроме того, эти нарушения играют значимую роль в формировании и сохранности ловушек нефти и газа.

Для определения и прослеживания разрывных разрушений используются различные геологические и геофизические методы, из числа которых наиболее надежными являются сейсморазведка 2Д и 3Д, результаты глубокого бурения, а также детальная корреляция скважин по данным ГИС.

При наличии в разрезе тектонического нарушения – взброса, на каротажной диаграмме скважины, вскрывшей взброс, отмечается повторение части разреза за счет его подъема по плоскости взбрасывателя [2].

Жигулевского вала, как видно на временном разрезе, имеет блоковое строение при интенсивной дислоцированности как пород фундамента, так и осадочного чехла.

Жигулевский вал является долгоживущей структурой, сформированной в условиях субмеридионального стресса, о чем убедительно свидетельствуют развитые взбросо-надвиговые структуры. В настоящее время территория Жигулевского вала испытывает интенсивные восходящие движения (рис. 1)

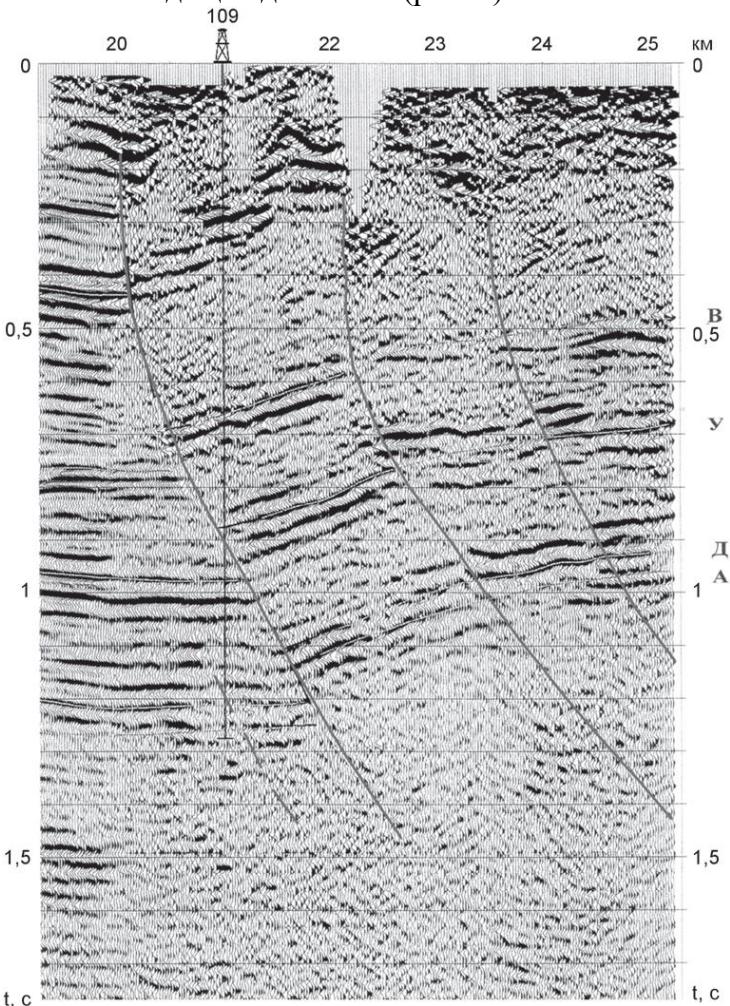


Рис. 1 Временной разрез жигулевского вала

В скважине 109, вскрывшей взброс, отмечается повторение части разреза за счет его подъема по плоскости взбрасывателя. Это отложения визейского яруса (тульский, бобриковский горизонты) и турнейского яруса нижнего отдела каменноугольной системы палеозоя (рис. 2). Четко выделяется стратиграфическая граница визейский-турнейский ярус. Поверхность турнейского яруса – карбонаты. По ГИС характеризуются повышенными значениями кажущегося сопротивления, потенциал - зондом, повышенными значениями НГК (нейтронно-гамма каротаж), снижением показанием ГК (гамма-каротаж).

Вышележащие отложения визейского яруса бобриковского горизонта начинаются с глин. Глины характеризуются увеличением диаметра скважины ДС (глины «вываливаются»), повышением показаний естественной радиоактивности по ГК, в связи с наличием изотопа калия К40. В глинах НГК характеризуется низкими показаниями. Кажущиеся удельные сопротивления низкие.

Стратиграфические границы глина-известняк характеризуются ДС от увеличенных к номиналу, ГК от высоких к низким, НГК от низких к повышенным, КС от пониженных к повышенным. ПС для карбонатного разреза не эффективен, в глинах отмечается положительная аномалия, в карбонатах - ближе к отрицательной.

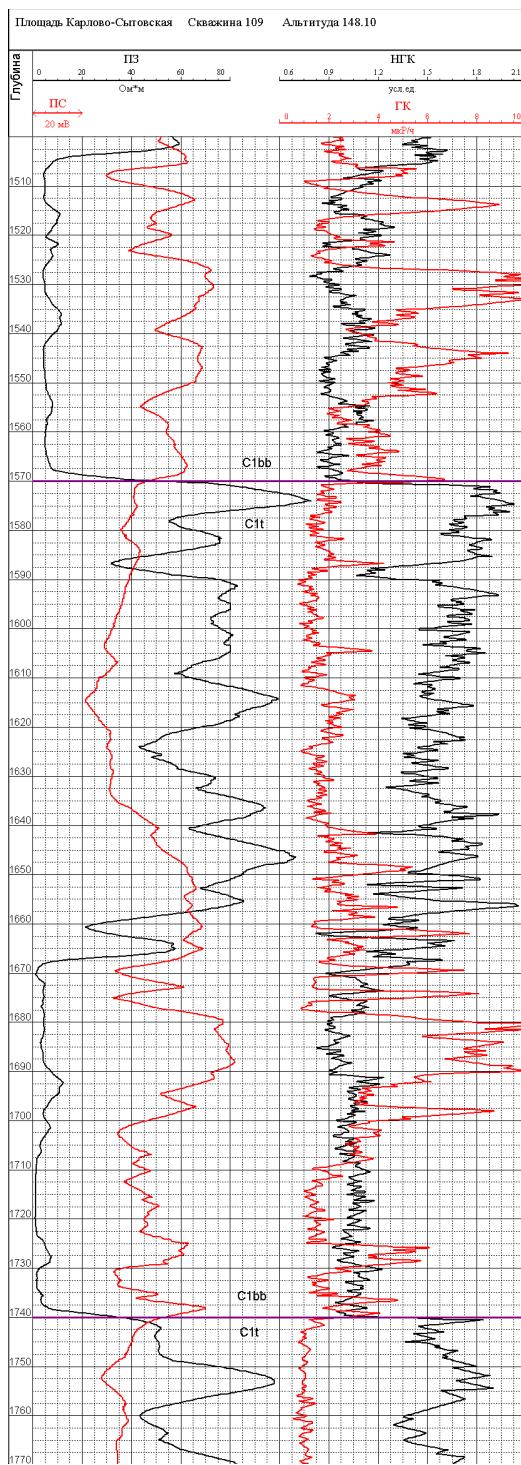


Рис. 2. Комплекс ГИС

Границная поверхность турнея в скважине встречена дважды. На глубинах 1571 и 1740 метров.

Дважды пройден бобриковский горизонт. Есть некоторые отличия в характеристиках бобриковского горизонта в верхнем и нижнем блоках. В принципе, бобриковский горизонт характеризуется чередованием глин, глинистых песчаников, водонасыщенных песчаников. В верхнем блоке толщина горизонта 64 м, в нижнем – 70 м. Нижний блок характеризуется лучшими коллекторскими свойствами. В интервалах 1709-1725 м (толщина 16 м) и 1732-1736 м выделяются водонасыщенные песчаники, характеризующиеся

низкими значениями ГК, пониженными значениями НГК, удельные сопротивления низкие, ПС отрицательная, пористостью порядка 20%.

С привлечением результатов раннее проведенных сейсморазведочных работ подтверждено выделение тектонических нарушений, как в кристаллическом фундаменте, так и в осадочном чехле. По временным сейсмическим разрезам существование взброса подтверждается рядом диагностических признаков: скачкообразное смещение оси синфазности; изменение динамики отражений рисунка сейсмической записи по латерали; появление дифрагированных волн и петель возврата.

Рассмотренный эпизод Жигулевского взброса говорит о необходимости комплексирования геолого-геофизической информации, которая позволит наиболее глубоко и полно изучить тектоническое строение региона, тем самым увеличить процент успешности поисково-разведочного бурения.

Для повышения надежности прогноза необходимо: собрать геолого-геофизический материал по открытым на Жигулевском валу месторождениям; создать базу геолого-геофизических материалов, в том числе сейсмические разрезы, данные по пробуренным скважинам (каротаж, описание и анализ кернового материала); проанализировать имеющийся сейсмический материал, его объем, качество и необходимость переобработки; провести (при необходимости) переобработку и переинтерпретацию сейсмических профилей; провести структурные построения по имеющимся материалам; провести оценку ресурсов локальных структур; разработать рекомендации по дополнительным полевым работам

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Даниелян Б.З. Тектоника и нефтегазоносность Самарского Поволжья. Методическое пособие // Самара. Гос. техн. Ун-т, Самара 2005. 38 с.
2. Брагин Ю.И., Кузнецова Г.П. Нефтегазопромысловая геология: Статистическое геологическое моделирование залежей углеводородов // ООО «Издательский дом Недра», 2013. - 109 с.

IDENTIFICATION AND STUDY OF THE UPSURGES OF THE NORTHERN SIDE OF THE ZHIGULI-PUGACHEV ARCH ON THE COMPLEX OF SEISMIC EXPLORATION AND «GEW» ON THE SQUARE "RL"

¹*Yurtaeva Anna Andreevna, ²Dubinova Antonina Alekseevna,*

³*Prilipko Natalia Maximovna*

Samara State Technical University

¹yurtaeva9@mail.ru, ²antonina.dubinova@gmail.com, ²n.prilipko@yandex.ru

Summary. The study of the northern side of the Zhiguli-Pugachevsky arch, complicated by overflows, was carried out on the basis of a comprehensive interpretation of the results of seismic exploration and geophysical studies of wells. According to the GEW materials in the well xx9 of the Krasno-Sokskaya area, the revealed rise is characterized by a repetition of part of the section due to its rise along the plane of the spreader. The rise is confirmed by the time section based on the results of seismic surveys.

Key words: geological structure, structures, vault, shafts, tectonic disturbances, borehole, formations, seismic exploration, geophysical exploration of wells.

УДК 550.8.028

ОБРАБОТКА РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ С ПОМОЩЬЮ «КОСКАД 3D»

*Янковский Евгений Валерьевич
ИГ УрО РАН, г. Екатеринбург
Klenor1234@gmail.com*

Аннотация. Обработка цифровых моделей рельефа археологических памятников при помощи двумерной фильтрации в фиксированном окне программы «КОСКАД 3D», которая обычно применяется при обработке геофизических полей, позволяет более отчетливо выделять особенности строения исследуемого объекта.

Ключевые слова: рельеф, фильтрация, археологические памятники.

Введение.

Геофизические методы все чаще применяются при исследовании археологических памятников. Сейчас практически каждое исследование памятника археологии начинается с выполнения магнитометрической съемки, на стадии обследования перед раскопками также применяются и другие методы, например электромагнитные. Исследование рельефа памятника является отдельной важной задачей, т.к. в особенностях рельефа выявляются особенности внутренней архитектуры разрушенного сооружения. В последнее время для построения детальных моделей рельефа археологических памятников применяется съемка с БПЛА. Был испробован один из способов обработки цифровой модели рельефа для выявления деталей внутреннего строения археологического памятника.

Для исследования выбраны два памятника эпохи бронзы, расположенные на юге Челябинской области: укрепленное поселение Степное, расположенное вблизи одноименного поселка [1] и Неплюевский курганный могильник, расположенный вблизи поселения Яндырка [2] недалеко от деревни Неплюевка.

Исходные данные и методика.

Исходными данными была цифровая модель местности, полученная путем выполнения стереофотограмметрии фотографий с БПЛА (съемка выполнена сотрудниками Института истории и археологии РАН к.и.н. И.В.Молчановым и Н.В.Солдаткиным с помощью коптера DJV Phantom 4 [3]). Цифровая модель получена в ПО Metashape с применением суперкомпьютерного комплекса лаборатории математической геофизики ИГФ УрО РАН (к.т.н. Бызов Д.Д.).

Для того чтобы подчеркнуть точное положение и особенности строения памятника была применена обработка при помощи технологии «КОСКАД 3D» которая обычно для анализа геопотенциальных полей.

Комплекс спектрально-корреляционного анализа трехмерных геоданных «КОСКАД 3D», предназначен для анализа трехмерной цифровой геоинформации методами вероятностно-статистического подхода.

При обработке рельефа применялась двумерная фильтрация в фиксированном окне, тип фильтра – энергетический. Функция выполняет разделение исходной сетки поля на региональную и локальную составляющие на основе двумерной энергетической или энтропийной фильтрации.

Энергетический фильтр максимизирует энергетическое отношение сигнал/помеха на выходе; энтропийный фильтр предназначен для фильтрации полей с наличием резких локальных ураганных значений (геохимических, радиометрических и т.д.). Ввиду

того, что резкие градиенты в рельефе отсутствуют, был применен энергетический фильтр.

Результаты и обсуждение.

На рисунке 1 представлена исходная карта рельефа памятника Степное, снятая с БПЛА. Построение произведено в программе Surfer. На данном рисунке имеются едва заметные очертания археологического памятника (граница обозначена красным контуром). На полученной модели отражаются некоторые детали строения памятника, но результат выделения локальной составляющей позволил более отчетливо выявить необходимые детали внутреннего строения объекта (рис 2).

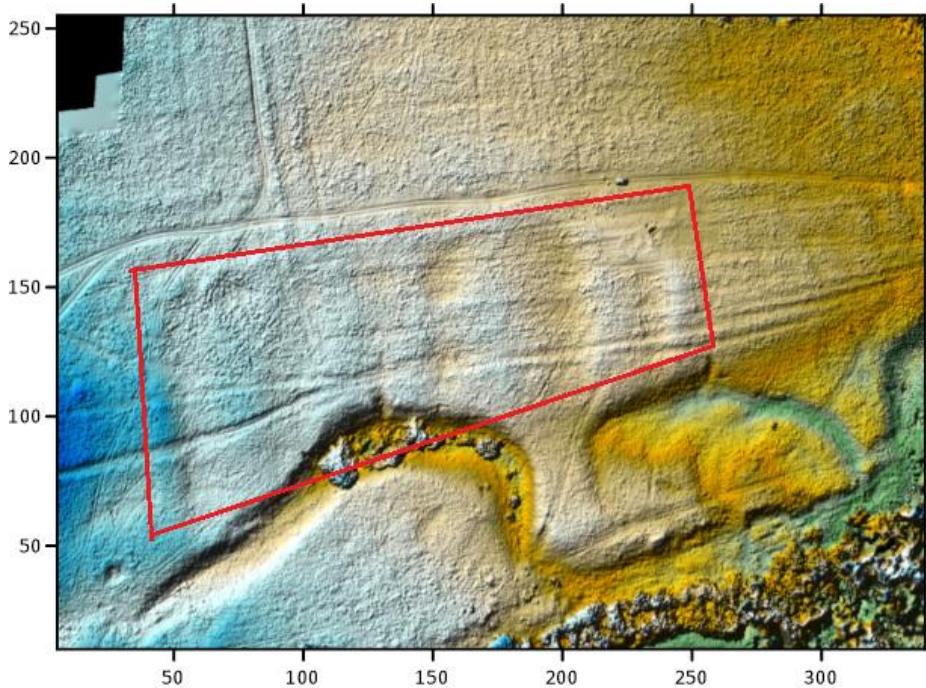


Рис. 1. Исходная карта рельефа, участка «Степное-25»

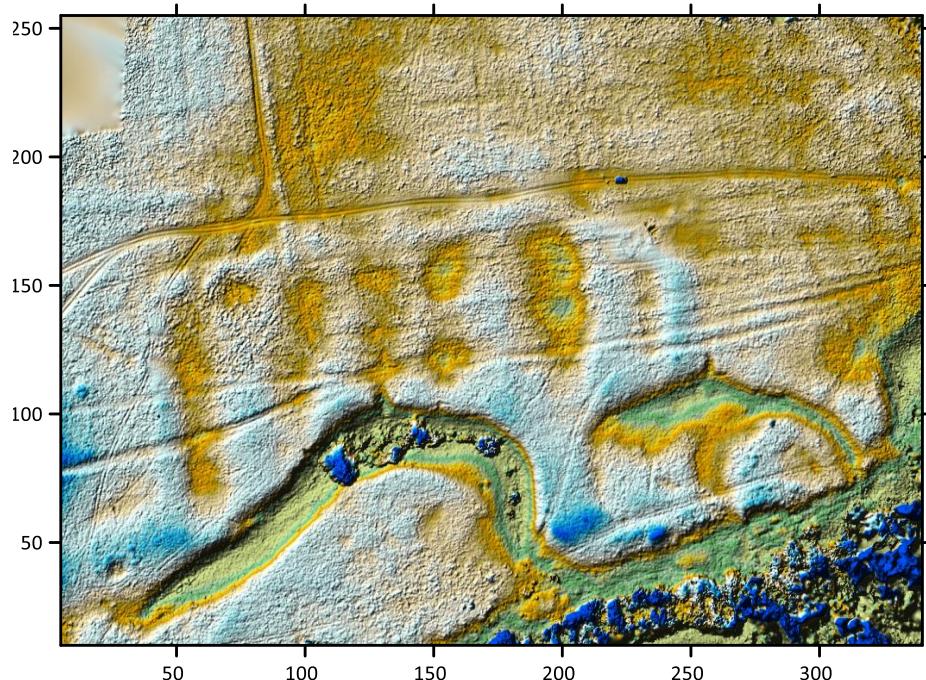


Рис. 2. Фильтрация рельефа изображенного на рис. 1.

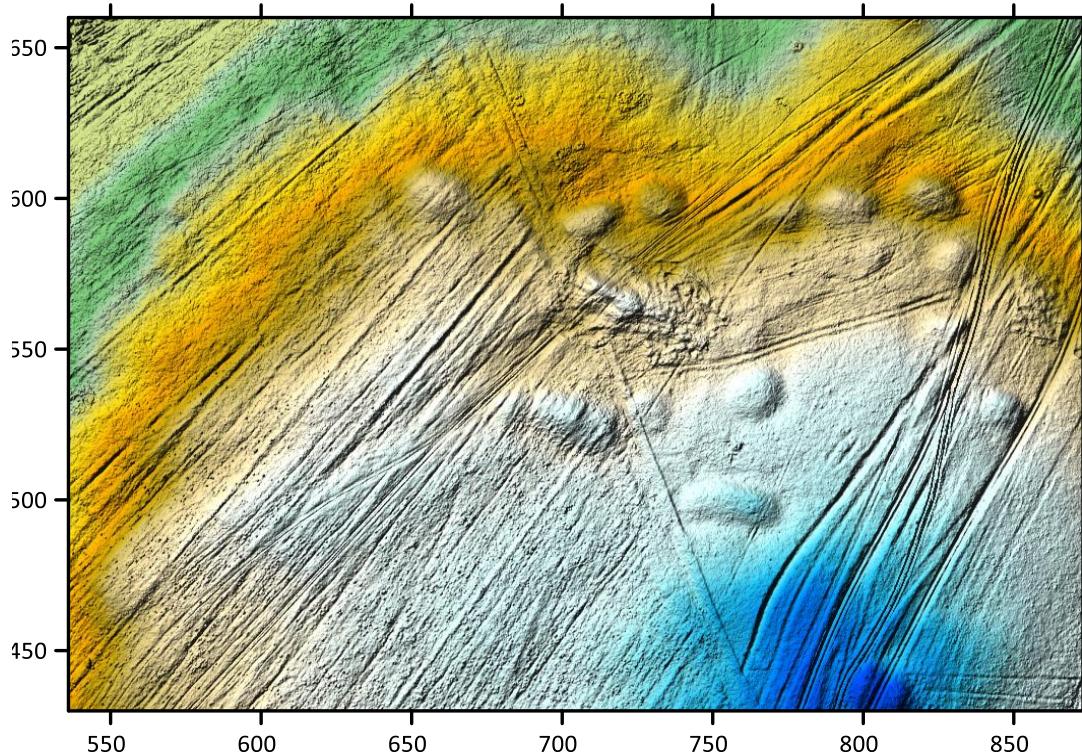


Рис. 3. Исходная карта рельефа Неплюевского курганного могильника

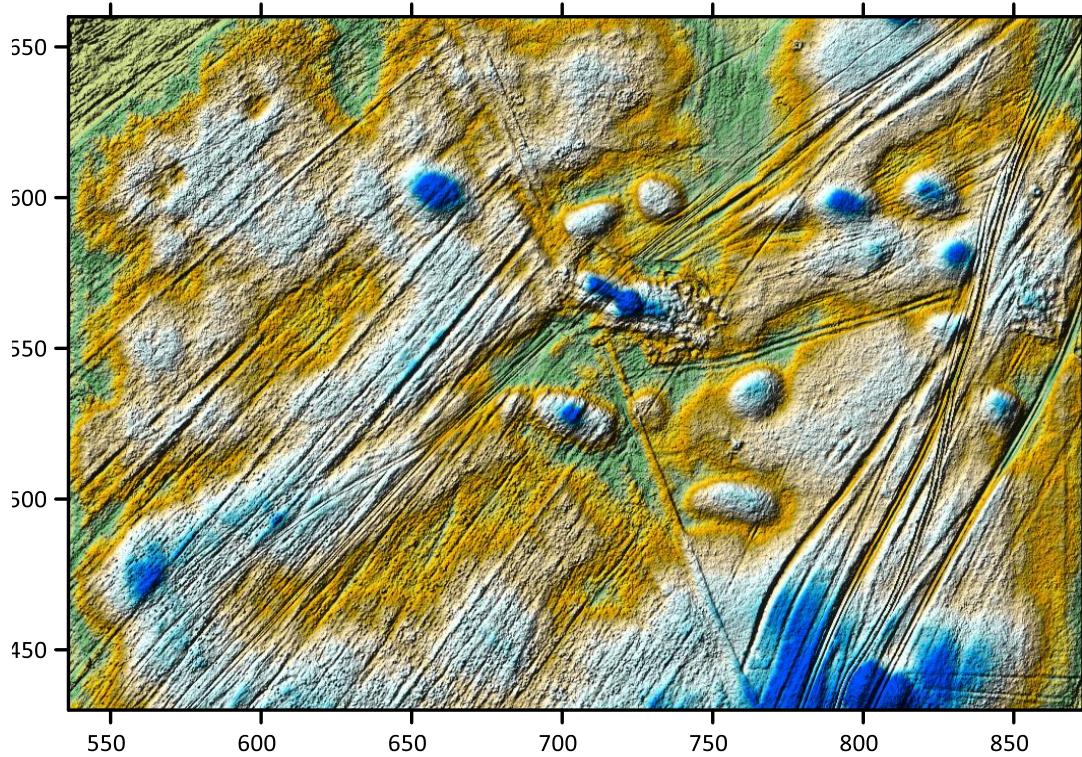


Рис. 4. Фильтрация рельефа изображенного на рис. 3.

Рисунок 3 представляет собой съемку участка Неплюевского курганного могильника. Часть курганных насыпей видны и на исходной карте, но фильтрация рельефа (рис. 4) значительно улучшила качество отображаемых объектов.

Чтобы улучшить результат можно повторить операцию, однако это может привести и к ухудшению результата.

Заключение.

Опыт применения программного комплекса «КОСКАД 3D» показывает, что статистическую обработку, которая обычно применяется к геофизическим полям, можно применять так же и к рельефу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Зданович Г.Б., Батанина И.М.. Аркаим – страна городов: пространство и образы (Аркаим: горизонты исследований). Челябинск: Из-во Крокус; Юж.-Урал. кн. изд-во, 2007. – 260 с.
2. Носкевич В.В., Федорова Н.В., Молчанов И.В. Результаты геофизических исследований древнего поселения Яндырка-2 (Южный Урал) // Уральский геофизический вестник. 2019. № 1 (35). – С. 23–27.
3. Molchanov I.V., Muravyev L.A., Byzov D.D., Soldatkin N.V. Remote Sensing of the Konoplyanka 2 Settlement in the Southern Trans-Urals. In: Geoarchaeology and Archaeological Mineralogy—2021 // Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16544-3_29.
4. Петров А.В. Алгоритм двумерной адаптивной энергетической фильтрации геофизических наблюдений. Геология и разведка №4, 1994. – С. 124-128.

TERRAIN PROCESSING WITH «COSCAD 3D»

*Yankovsky Evgeny Valerevich
Institute of Geophysics UB of RAS, Yekaterinburg
Klenor1234@gmail.com*

Summary. We performed a relief processing of two bronze age archaeological sites using two-dimensional filtering in a fixed window with COSCAD 3D software, which is usually used for processing of geopotential fields in geophysics.

Key words: relief, filtration, archaeological site.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Анварова Садокат Гайратовна

sadokat.anvarova@mail.ru

Ташкент, Республика Узбекистан

Институт Сейсмологии АН РУз

Андреенок Анжелика Васильевна

An.andreenok@gmail.com

Санкт-Петербург

Санкт-Петербургский горный

университет

Аронов Аркадий Гесселевич

aronov@cgm.by

Минск, Республика Беларусь

Центр геофизического мониторинга

НАН Беларуси

Артиков Фарход Рустамович

farhadbek_uz@mail.ru

Ташкент, Республика Узбекистан

Институт Сейсмологии АН РУз

Баженова Евгения Анатольевна

bazenova_jena@mail.ru

Екатеринбург

Институт геофизики УрО РАН

Бахриддинова Дилдора Хамза кизи

dildora.baht@gmail.com

Ташкент, Республика Узбекистан

Институт Сейсмологии АН РУз

Научный руководитель

Хамидов Лутфулла Абдуллаевич,

к.ф.-м.н.

Белов Владимир Сергеевич

Оренбург

Оренбургский федеральный

исследовательский центр УрО РАН

Беляева Виктория Александровна

bialiayeva@cgm.by

Минск, Республика Беларусь

Центр геофизического мониторинга

НАН Беларуси

Научный руководитель

Аронов Аркадий Гесселевич, д.ф.-м.н.

Бирюлин Сергей Викторович

serreg2009@gmail.com

Екатеринбург

Институт геофизики УрО РАН

Научный руководитель

Юрков Анатолий Константинович, к.г.-м.н.

Бородулин Данил Алексеевич

d-borodulin@list.ru

Тюмень

Тюменский индустриальный университет

Научный руководитель

Мамяшев Венер Галлиуллинович, к.г-м.н.

Брюханова Екатерина Вячеславовна

Бронников Анатолий Константинович

bronnikovak1992@gmail.com

Хабаровск

ИТИГ ДВО РАН

Научный руководитель

Каплун Виталий Борисович, к.г.-м.н.

Брюханова Екатерина Вячеславовна

4brjuhanovaev@tyuiu.ru

Тюмень

Тюменский индустриальный университет

Вирясова Ульяна Васильевна

viryasova.u@mail.ru

Екатеринбург

Институт геофизики УрО РАН

Научный руководитель

Белоглазова Надежда Анатольевна, к.т.н.

Вдовин Алексей Геннадьевич

Екатеринбург

Институт геофизики УрО РАН

Владимирова Ирина Сергеевна,

к. ф.-м. н

vladis@gsras.ru

Москва, Обнинск

ИО РАН, ФИЦ ЕГС РАН

Галеева Эльвира Рафисовна

galeevskoe@mail.ru

Оренбург

Оренбургский государственный
университет

Научный руководитель

Нестеренко Максим Юрьевич, д.г.-м.н.

Ганиева Барно Рустамовна

barno.rustamovna@mail.ru

Ташкент, Республика Узбекистан

Институт Сейсмологии АН РУз

Геодакян Эдуард Григорьевич

geodakyan.e@mail.ru

Гюмри, Республика Армения

ИГИС НАН РА

Гинзбург Евгений Александрович

ginzburg2014@mail.ru

Пермь

Пермский государственный
национальный исследовательский
университет

Гладских Дарья Сергеевна

daria.gladskikh@gmail.com

Нижний Новгород

Институт Прикладной Физики РАН

Денисюк Евгения Александровна

denisyuk@geo.istu.edu

Иркутск

Сибирская школа геонаук ИРНИТУ

Научный руководитель

Снопков Сергей Викторович, к.г.-м.н.

Езимова Юлия Евгеньевна

ezimova89@mail.ru

Сыктывкар

ИГ Коми НЦ УрО РАН

Научный руководитель

Удоратин Валерий Вячеславович, к.г.-
м.н.

Живаева Вера Викторовна

bngssamgtu@mail.ru

Самара

Самарский государственный технический
университет

Жуков Александр Анатольевич

Пермь

АО «ВНИИ Галургии»

Зверева Анастасия Сергеевна

zvereva.as59@gmail.com

Пермь

ФИЦ ЕГС РАН

Научный руководитель

Собисевич Алексей Леонидович,
чл.-корр. РАН

Зотин Никита Алексеевич

zotin@antikarst.ru

Пермь

Пермский государственный национальный
исследовательский университет

Зубриков Александр Андреевич

zubrikoff92@gmail.com

Пермь

ИП Зубриков А.А.

Зубрикова Екатерина Сергеевна

katerina.bushueva@mail.ru

Пермь

«ГИ УрО РАН»

Иброгимов Фахриёр Исмоил угли

fakhriyoribrogimov@gmail.com

Ташкент, Республика Узбекистан

Институт Сейсмологии АН РУз

Научный руководитель

Хамидов Хайрулла Лутфуллаевич, д.т.н.

Иванков Олег Евгеньевич

ivankov.ol@yandex.ru

Воронеж

Воронежский Государственный

Университет,

ФИЦ ЕГС РАН

Научный руководитель

Надёжка Людмила Ивановна, к.г.-м.н.

Илмен Саид

ilmensaid@gmail.com

Уарзазат, Королевство Марокко

Университет Ибн Зор

Ильин Виталий Викторович

vitaliy.ilin.2000@bk.ru

Воронеж

Воронежский Государственный

Университет

Научный руководитель

Жаворонкин Валерий Иванович, к.г.-м.н.

Иосифиди Александр Георгиевич

iosag@mail.ru

Москва

ГИН РАН, СПбФ ИЗМИРАН

Исламгалиев Дмитрий Владимирович

Dmitriy.Islamgaliev@m.ursmu.ru

Екатеринбург

Уральский государственный горный университет

Казарян Анжела Арменовна

AA_Kazarian@bnipi.rosneft.ru

Уфа

ООО "РН-БашНИПИнефть",

Уфимский Университет Науки и

Технологий

Научный руководитель

Вахитова Гузель Ринатовна, к.т.н.

Каннинен Максим Юрьевич

kanninen01@mail.ru

Тюмень

Тюменский индустриальный университет

Научный руководитель

Мамяшев Венер Галлиуллинович, к.г.-м.н.

Брюханова Екатерина Вячеславовна

Карапетян Джон Костикович, к.г.н.

jon_iges@mail.ru

Гюмри, Республика Армения

ИГИС НАН РА

Келарев Дмитрий Александрович

kelarevdmity06@yandex.ru

Санкт-Петербург

Санкт-Петербургский горный университет

Кириллов Виктор Станиславович

vikkirkirillov@yandex.ru

Санкт-Петербург

ООО "СЗГК "ГЕОКОМПЛЕКС"

Кокодей Диана Юрьевна

dkokodey@gmail.ru

Иркутск

Сибирская школа геонаук ИРНИТУ

Конечная Яна Викторовна

yanakon@mail.ru

Архангельск

ФИЦ ЕГС РАН

Кочетов Михаил Владимирович

kochetov.mv@mage.ru

Москва

АО «МАГЭ»

Научный руководитель

Глазнев Виктор Николаевич, д.ф.-м.н.

Крутенко Даниил Сергеевич

dskrutenko@gmail.com

Томск

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Научный руководитель

Исаев Валерий Иванович, д.г.-м.н.

Крутенко Маргарита Фаритовна

mfg2@tpu.ru

Томск

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Научный руководитель

Исаев Валерий Иванович, д.г.-м.н.

Крушельницкий Кирилл Валерьевич

kirillkrush@mail.ru

Москва

ИТПЗ РАН

Научный руководитель

Шебалин Петр Николаевич,

д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН

Кузьмина Екатерина Максимовна
katerinchaaaa@yandex.ru
Тюмень
Тюменский индустриальный университет
Научный руководитель
Мамяшев Венер Галиуллинович, к.г.-м.н.
Брюханова Екатерина Вячеславовна

Курсевич Алексей Александрович
kursevich@cgm.by,
Минск, Республика Беларусь
Центр геофизического мониторинга
НАН Беларуси

Латифуллина Миляуша Фаритовна
latifullina1997@mail.ru
Казань
КФУ ИГиНГТ
Научный руководитель
Борисов Анатолий Сергеевич

Лубянская Евгения Александровна
Уфа
ООО «РН-БашНИПИнефть»

Лучников Максим Сергеевич
maximluchnikov@mail.ru
Пермь
«ГИ УрО РАН»
Научный руководитель
Степанов Юрий Иванович, к.г.-м.н.

Малов Александр Иванович
malovai@yandex.ru
Архангельск
ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН

Мамяшев Венер Галиуллинович
tmngeofiz@mail.ru
Тюмень
Тюменский индустриальный университет

Мартинович Юлия Витальевна
martsinovich@cgm.by
Минск, Республика Беларусь
Центр геофизического мониторинга
НАН Беларуси

Маточкина София Дмитриевна
sofijamat@mail.ru
Москва
ИТПЗ РАН
Научный руководитель
Шебалин Петр Николаевич,
д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН

Меренкова Анна Сергеевна
a.merenckowa@yandex.ru
Томск
Национальный исследовательский Томский
политехнический университет
Научный руководитель
Исаев Валерий Иванович, д.г.-м.н.

Милехина Александра Михайловна
amilekhina@gsras.ru
Обнинск
ФИЦ ЕГС РАН
Научный руководитель
Виноградов Юрий Анатольевич, д.т.н.

Миннигузин Вадим Эльфатович
dlystima@gmail.com
Пермь
АО ВНИИ Галургия,
Пермский государственный национальный
исследовательский университет
Научный руководитель
Костицын Владимир Ильич, д.т.н.

Мирошниченко Юлия Владимировна
Санкт-Петербург
Санкт-Петербургский горный университет

Мкртчян Мери Артушовна
mary-mary-86@mail.ru
Гюмри, Армения
ИГИС НАН РА
Научный руководитель
Геодакян Эдуард Григорьевич, к.ф.-м.н.

Молокова Алисия Павловна
molokova.ap18@physics.msu.ru
Москва
Московский государственный
университет,
ИТПЗ РАН
Научный руководитель
Шебалин Петр Николаевич,
д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН

Морозова Екатерина Руслановна
morozova_er@fciaarctic.ru
Архангельск
ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН
Научный руководитель
Антоновская Галина Николаевна, д.т.н.

Мортиков Евгений Валерьевич
evgeny.mortikov@gmail.com
Москва
НИВЦ МГУ,
ИВМ РАН

Мохова Виктория Вадимовна
viktorijaperevoznikova@rambler.ru
Воронеж
ФИЦ ЕГС РАН,
Воронежский государственный
университет

Мурашко Екатерина Евгеньевна
muraskokata16@gmail.com
Тюмень
Тюменский индустриальный университет
Научный руководитель
Мамышев Венер Галлиуллинович, к.г.-м.н.
Брюханова Екатерина Вячеславовна

**Мухаммадқұлов Нурали
Муродалиевич**
nuralimuhammadqulov@gmail.com
Ташкент, Республика Узбекистан
Институт сейсмологии АН РУз

Наход Виталий Александрович
vitaliy.nakhod@knauf.com
Архангельск
Архангельский филиал
ООО "КНАУФ ГИПС КОЛПИНО"
Научный руководитель
Малов Александр Иванович, д.г.-м.н.

Нестеренко Максим Юрьевич, д.г.-м.н
n_mu@mail.ru
Оренбург
Оренбургский федеральный
исследовательский центр УрО РАН

Никонорова Анастасия Николаевна
anastasia.nikonorova@list.ru
Москва
РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина

Обмелюхин Михаил Андреевич
Пермь
Пермский государственный национальный
исследовательский университет

Оvezov Батыр Аннамухаммедович
ovezovba@mgri.ru
Москва
МГРИ

Оганесян Севада Мкртичевич
4iges@mail.ru
Гюмри, Республика Армения
ИГИС НАН РА

Ольнева Татьяна Владимировна
Санкт-Петербург
ООО «Газпромнефть НТЦ»

Орешкова Мария Юрьевна
wintersurprise@mail.ru
Санкт-Петербург
Санкт-Петербургский горный университет
Научный руководитель
Егоров Алексей Сергеевич, д.г.-м.н.

Орловский Вячеслав Чеславович
to@granit.by
Микашевичи, Республика Беларусь
Республиканское унитарное производственное предприятие «Гранит»
Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь

Островский Лев Аронович
ev.ostrovsky@gmail.com
Boulder, USA
University of Colorado

Петина Виктория Александровна
vicka.petina@yandex.ru
Москва
МГРИ
Научный руководитель
Щербакова Ксения Олеговна

Петросян Рубен Нверович
petrosyan@antikarst.ru
Пермь
Пермский государственный национальный исследовательский университет
Научный руководитель
Долгаль Александр Сергеевич, д.ф.-м.н.

Пригара Андрей Михайлович, к.т.н
Пермь
Пермский государственный национальный исследовательский университет

Прилуцкий Александр Александрович
yosahelp@gmail.com
Москва
РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина
Научный руководитель
Кременецкий Михаил Израилевич, д.т.н.

Рахимов Эмиль Артурович
rahimovball15@mail.ru
Санкт-Петербург
Санкт-Петербургский горный университет
Научный руководитель
Горелик Глеб Дмитриевич, к.т.н.

Рябова Светлана Александровна
riabovasa@mail.ru
Москва
Институт физики Земли РАН,
Институт динамики геосфер РАН
Научный руководитель
Шалимов Сергей Львович, д.ф.-м.н.

Саакян Бабкен Вазгенович
sahakyan_babken@mail.ru
Гюмри, Республика Армения
ИГИС НАН РА
Научный руководитель
Геодакян Эдуард Григорьевич, к.ф.-м.н.

Сабитов Эмиль Артурович
emilsabitovkzn@gmail.com
Казань
КФУ ИГиНГТ
Научный руководитель
Платов Борис Викторович

Сайдов Сайджон Сухробович
saidgoh03@gmail.com
Москва
МГРИ
Научный руководитель
Оvezov Батыр Аннамухаммедович

Сальная Наталья Викторовна
natasavi@inbox.ru
Москва
ГИН РАН

Се Минцюнь
yiranxmj@gmail.com
Пермь
Пермский государственный национальный исследовательский университет
Научный руководитель
Костицын Владимир Ильич, д.т.н.

Снопков Сергей Викторович
snopkov_serg@mail.ru
Иркутск
Сибирская школа геонаук ИРНИТУ

Сотников Антон Александрович
anton.sotnikov.01@mail.ru
Воронеж
Воронежский государственный
университет
Научный руководитель
Муравина Ольга Михайловна, д.т.н.

Соустова Ирина Анатольевна
soustovai@mail.ru
Нижний Новгород
ИПФ РАН

Станишевская Юлия Львовна
www2325962@gmail.com
Санкт-Петербург
ООО "СЗГК "ГЕОКОМПЛЕКС"

Сулыянова Ксения Владимировна
suluynova@ya.ru
Санкт-Петербург
Санкт-Петербургский горный
университет
Научный руководитель
Горелик Глеб Дмитриевич, к.т.н.

Сюраева Ксения Васильевна
syuraeva94@mail.ru
Самара
Самарский государственный
технический университет
Научный руководитель
Живаева Вера Викторовна, к.т.н.

Тезиков Артемий Дмитриевич
artemii.tezikov@gmail.com
Пермь
Пермский государственный
национальный исследовательский
университет
Научный руководитель
Санфиров Игорь Александрович, д.т.н.

Терещенко Ксения Валерьевна
tsiareshchenko@cgm.by
Минск, Республика Беларусь
Центр геофизического мониторинга
НАН Беларуси
Научный руководитель
Аронов Аркадий Гесселевич, д.ф.-м.н.

Трапезникова Анна Борисовна
a.b.trapeznikova@gmail.com
Пермь
«ГИ УрО РАН»

Троицкая Юлия Игоревна
yuliyatrinity@mail.ru
Нижний Новгород
ИПФ РАН

Факаева Нелли Рафаэлевна
Екатеринбург
Институт геофизики УрО РАН
Научный руководитель
Демежко Дмитрий Юрьевич, д.г.-м.н.

Федоров Владимир Геннадьевич
vgf2@tpu.ru
Томск
Томский Политехнический Университет
Научный руководитель
Колмаков Юрий Викторович, д.г.-м.н.

Филина Татьяна Владимировна
katacimuri@gmail.com
Санкт-Петербург
ООО "СЗГК "ГЕОКОМПЛЕКС"

Филиппов Сергей Витальевич
sfilip@izmiran.ru
Москва
ИЗМИРАН,
ИТПЗ РАН

Филиппова Алена Игоревна
aleirk@mail.ru
Москва
ИЗМИРАН,
ИТПЗ РАН

Фролов Владимир Александрович
vovan.frolov2011@yandex.ru
Саратов
СГУ им. Н.Г. Чернышевского
Научный руководитель
Михеев Сергей Иванович, д.г.-м.н.

Хамидов Лутфулла Абдуллаевич
hamidov_1@mail.ru
Ташкент, Республика Узбекистан
Национальный университет Узбекистана

Хамидов Хайрулла Лутфуллаевич
hayrulla_classic@mail.ru
Ташкент, Республика Узбекистан
Институт Сейсмологии АН РУз

Хацкевич Богдан Дмитриевич
disaybl@yandex
Екатеринбург
Институт геофизики УрО РАН
Научный руководитель
Демежко Дмитрий Юрьевич, д.г.-м.н.

Ходоров Иван Сергеевич
khodorovis@gmail.com
Томск
Национальный исследовательский
Томский политехнический университет
Научный руководитель
Недоливко Наталья Михайловна, к.г.-м.н.

Холмуродов Истроил Завки угли
isroil.holmurodov@mail.ru
Ташкент, Республика Узбекистан
ГУ «ИГИРНИГМ»
Научный руководитель
Ражабов Ш.С., д.г.-м.н.

Царев Роман Ильич
Пермь
АО «ВНИИ Галургии»

Чердынцев Сергей Николаевич
89501818580@mail.ru
Оренбург
ООО "Оренбурггеопроект"
Научный руководитель
Талалай Александр Григорьевич, д.г.-м.н.

Шалимов Сергей Львович
pmsk7@mail.ru
Москва
ИФЗ РАН

Шахтарова Дарья Александровна
d.shahtarovaa@gmail.com
Тюмень
ФГБОУ ВО «Тюменский
индустриальный университет»
Научный руководитель
Мамяшев Венер Галлиуллинович, к.г-м.н.
Брюханова Екатерина Вячеславовна

Щевьёва Надежда Сергеевна
Nadezda.Shchevyeva@yandex.ru
Москва
ИО РАН
Научный руководитель
Владимирова Ирина Сергеевна, к.ф.-м.н.

Щербакова Ксения Олеговна
sherbakovak@mri.ru
Москва
МГРИ

Юлдоп Максим Янусович
yuldop@inbox.ru
Пермь
Пермский государственный национальный
исследовательский университет
Научный руководитель
Горожанцев Андрей Владимирович,
к.г.-м.н.

Юртаева Анна Андреевна
yurtaeva9@mail.ru
Самара
СамГТУ

Янковский Евгений Валерьевич
Klenor1234@gmail.com
Екатеринбург
Институт геофизики УрО РАН
Научный руководитель
Муравьев Лев Анатольевич, к.т.н.

СОДЕРЖАНИЕ

АНВАРОВА С. Г., ГАНИЕВА Б. Р., ЗАРТИКОВ Ф. Р. Локальный каталог землетрясений ближней зоны крупных водохранилищ центрального и южного Узбекистана.....	3
БАЖЕНОВА Е. А., ВДОВИН А. Г. Проявление зон трещиноватости в полях геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения.....	8
БАХРИДИНОВА Д. Х. КИЗИ, ХАМИДОВ Л. А. Пространственно-временное распределение землетрясений вблизи Джизакского водохранилища	12
БЕЛЯЕВА В. А., АРОНОВ А. Г., КУРСЕВИЧ А. А., МАРТИНОВИЧ Ю. В., ТЕРЕЩЕНКО К. В. Сейсмические воздействия от технологических одиночных взрывов в ближней зоне	18
БИРЮЛИН С. В. Особенности поведения изотопов радона при измерениях в сейсмоактивном регионе	23
БОРОДУЛИН Д. А., КАННИНЕМ М. Ю., МАМЯШЕВ В. Г., БРЮХАНОВА Е. В. Анализ теоретических моделей удельного электрического сопротивления текстурно-неоднородных пород.....	27
БРОННИКОВ А. К. Влияние сети глубинных разломов на проявление берегового эффекта.....	34
ВИРЬЯСОВА У. В. Решение геологических задач методом скважинной магнитометрии на примере железорудного месторождения Северо-Тараташского участка.....	38
ГАЛЕЕВА Э. Р., НЕСТЕРЕНКО М. Ю., БЕЛОВ В. С. Статистические данные о сейсмических событиях на территории восточной части Оренбургской области	43
ГЛАДСКИХ Д. С., МОРТИКОВ Е. В., ОСТРОВСКИЙ Л. А., ТРОИЦКАЯ Ю. И., СОУСТОВА И. А. О численном моделировании термогидродинамики и биогеохимии устойчиво стратифицированного водоема с применением модифицированного описания турбулентного переноса.....	47
ДЕНИСЮК Е. А., КОКОДЕЙ Д. Ю., СНОПКОВ С. В. Магнитная восприимчивость материала древнеметаллургических горнов Приольхонья	51
ЕЗИМОВА Ю. Е. Геолого-геофизические исследования Подчерьем-Каменского разлома Печоро-Колвинского авлакогена	55
ЗВЕРЕВА А. С. Опыт использования программного комплекса <i>seisan</i> для расчета добротности литосферы Северного Кавказа	59
ЗУБРИКОВ А. А. Использование метода групповых зондирований для изучения карстовых процессов на территории Пермского края	65
ИБРОГИМОВ Ф. И. УГЛИ, МУХАММАДКУЛОВ Н. М., ХАМИДОВ Х. Л. Состояние деформации плотины Ахангаранского водохранилища	69
ИВАНКОВ О. Е. Некоторые особенности глобальной сейсмичности за последние 25 лет.....	75
ИЛЬИН В. В. Петрофизическая характеристика гранитоидов Павловского комплекса и ассоциирующих с ними пород (Воронежский кристаллический массив).....	79
ИСЛАМГАЛИЕВ Д. В. Буровые растворы и их влияние на данные каротажа методом спонтанной поляризации.....	85
КАЗАРЯН А. А., ЛУБЯНСКАЯ Е. А. Подходы к автоматизации поиска интервалов разрушенного ствола скважины при построении интерпретационной модели по данным ГИС	89

КИРИЛЛОВ В. С., КЕЛАРЕВ Д. А., МИРОШНИЧЕНКО Ю. В. Геофизические критерии поиска золоторудных месторождений в пределах Карельских зеленокаменных поясов	94
КОЧЕТОВ М. В. Гидромагнитные исследования при решении инженерно-геологических задач на Арктическом шельфе	99
КРУТЕНКО Д. С. Выявление связи градиентных зон теплового потока с нефтегазоносностью запада Томской области	104
КРУТЕНКО М. Ф. Моделирование Фанерозойских очагов генерации углеводородов на Урманском месторождении (Томская область).....	108
КРУШЕЛЬНИЦКИЙ К. В. Вариации параметров группирования сейсмичности перед сильными землетрясениями.....	113
ЛАТИФУЛЛИНА М. Ф. Привлечение методов магнитоминерологического анализа для создания концептуальной модели осадконакопления неморских микробиальных известняков красноцветной формации Казанского яруса на территории нижней Камы	116
ЛУЧНИКОВ М. С., ЗУБРИКОВА Е. С. Режимные электроразведочные наблюдения на участке техногенной нарушенности пород	120
МАТОЧКИНА С. Д. Закономерности пространственно-временного группирования событий акустической эмиссии в лабораторных экспериментах по разрушению горных пород	124
МЕРЕНКОВА А. С. Зональное районирование резервуаров коры выветривания и палеозоя Восточно-Пайдугинской мегавпадины (Томская область).....	129
МИЛЕХИНА А. М. Оценка возможности регистрации образования воронок газового выброса сейсмологическим методом	134
МИННИГУЗИН В. Э., ЖУКОВ А. А., ПРИГАРА А. М., ЦАРЕВ Р. И., ОБМЕЛЮХИН М. А. Геофизические методы поисков карстовых полостей в солеотвалах	139
МКРТЧЯН М. А., СААКЯН Б. В., ГЕОДАКЯН Э. Г., ОГАНЕСЯН С. М., КАРАПЕТЯН ДЖ. К. Характерные особенности проявления сейсмичности на территории Армении и сопредельных районов	144
МОЛОКОВА А. П. Изучение вулканических землетрясений Ключевской группы вулканов методом спектральных отношений	149
МОРОЗОВА Е. Р., КОНЕЧНАЯ Я. В. Идентификация льдотрясений среди локальных сейсмических событий на архипелаге Северная Земля	153
МОХОВА В. В. Особенности сейсмических событий, возникающих при производстве промышленных взрывов в карьерах на территории ВКМ	158
МУРАШКО Е. Е., МАМЯШЕВ В. Г., ШАХТАРОВА Д. А., КУЗЬМИНА Е. М. Геолого-геофизическая информативность и значение опорного бурения при проведении поисково-разведочных работ в Западной Сибири.....	162
НАХОД В. А., МАЛОВ А. И. Оценка воздействия промышленных взрывов на карстовый рельеф ландшафтного заказника	168
ОРЕШКОВА М. Ю., ОЛЬНЕВА Т. В. комплексный подход к моделированию геометрии отложений палеорусловых систем тюменской свиты Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна.....	173
ПЕТИНА В. А., ОВЕЗОВ Б. А. Исследования карстовых провалов	178
ПЕТРОСЯН Р. Н., ГИНЗБУРГ Е. А., ЗОТИН Н. А. Определение удельного электрического сопротивления при решении карстологических задач в условиях урбанизированных территорий Пермского края	181

ПРИЛУЦКИЙ А. А., НИКОНОРОВА А. Н. Количественная оценка параметров геометрии трещин ГРП и проницаемости пласта по циклическим термическим исследованиям скважин	186
РАХИМОВ Э. А. Определение участков, перспективных на медно-колчеданное оруденение, методом профильной сейсморазведки	191
РЯБОВА С. А. Синглеты δS_2 по данным геомагнитного мониторинга на обсерватории «Михнево» в период землетрясения у берегов Тонга, произошедшего 11 ноября 2022 г.	196
РЯБОВА С. А., ШАЛИМОВ С. Л. Вариации f_0F2 на станции «Рим» в период активности вулкана Стромболи в ноябре-декабре 2020 г.	200
СААКЯН Б. В., МКРТЧЯН М. А., ГЕОДАКЯН Э. Г., ОГАНЕСЯН С. М., КАРАПЕТИЯН ДЖ. К. Геодинамика и сейсмичность на сейсмическом линеаменте Эрзрум-Боржоми-Казбек (ЭБК).....	204
САБИТОВ Э. А. Нахождение зависимости керн-ГИС для заволжского горизонта одного из месторождений Республики Татарстан	210
САИДОВ С. С., ОВЕЗОВ Б. А. Neotron – геофизический прибор нейтронного каротажа с аппаратурой для возбуждения и остановки реакции синтеза.....	214
САЛЬНАЯ Н. В., ИОСИФИДИ А. Г. Палеомагнитные исследования пород Лохковского яруса о. Западный Шпицберген в свете проблемы геомагнитного поля Девона.....	219
СЕ МИНЦЮНЬ. Моделирование влияния толщины обсадной колонны на показание датчика при гамма-гамма цементометрии	223
СОТНИКОВ А. А. Комплексирование геофизических методов при поиске самородного серебра на участке Хачакчан в пределах Алларо-Сахского рудного узла (Восточная Якутия).....	228
ФИЛИНА Т. В., СТАНИШЕВСКАЯ Ю. Л., АНДРЕЕНОК А. В., САИД ИЛМЕН. Применение гамма-спектрометрии для разделения аномалий вызванной поляризацией над рудными телами (на примере месторождения Бу-Аззер, Марокко).....	231
СУЛУЯНОВА К. В. Сравнение способов возбуждения упругих волн при малоглубинных исследованиях МОВ-ОСТ	236
СЮРАЕВА К. В., ЖИВАЕВА В. В. Выявление оптимальной расстановки сейсмодатчиков в пассивном методе сейсморазведки с использованием метода Монте-Карло.....	241
ТЕЗИКОВ А. Д., ТРАПЕЗНИКОВА А. Б. комплексная интерпретация данных малоглубинных скважинных геофизических исследований.....	246
ТЕРЕЩЕНКО К. В. АРОНОВ А. Г., БЕЛЯЕВА В. А., КУРСЕВИЧ А. А., МАРТИНОВИЧ Ю. В., ОРЛОВСКИЙ В. Ч. Оценка сейсмических воздействий при взрывах на гранитном карьере в Беларуси.....	251
ФЕДОРОВ В. Г. Геофизические признаки оруденения золото-медно-порфирового типа на Понийском участке Приамурской вулкано-плутонической зоны (Хабаровский край).....	256
ФИЛИППОВА А. И., ФИЛИППОВ С. В. Параметры магнитоактивного слоя литосферы под полуостровом Таймыр.....	261
ФРОЛОВ В. А. Сравнительный анализ 2Д и 3Д модификаций сейсморазведки на примере Боливарского участка в Республике Саха (Якутия).....	266
ХАЦКЕВИЧ Б. Д. ФАКАЕВА Н. Р. Некоторые особенности высокоточных температурных измерений в скважинах	272

ХОДОРОВ И. С. Геологическая интерпретация геофизических данных для выявления строения, литологических особенностей и условий формирования пород-коллекторов пласта ХМ ₂ месторождения N (ЯНАО).....	276
ХОЛМУРОДОВ И. З. УГЛИ Определение фильтрационно-ёмкостных свойств продуктивных коллекторов месторождения Тумарис и установление границ газоводяных контактов	280
ЧЕРДЫНЦЕВ С. Н. Повышение информативности сейсмоэлектрического каротажа при определении границ интервалов и качества перфорации эксплуатационных колонн в нефтяных скважинах	285
ЩЕВЬЁВА Н. С., ВЛАДИМИРОВА И. С. Исследование сильнейших землетрясений начала XXI века в Чилийской зоне субдукции на основе данных спутниковой геодезии	290
ЮЛДОП М. Я. Результаты электрометрии методом вэз на отдельном участке территории кампуса ПГНИУ	295
ЮРТАЕВА А. А., ДУБИНОВА А. А., ПРИЛИПКО Н. М. Выявление и изучение взбросов северного борта жигулевско-пугачевского свода по комплексу сейсморазведки и ГИС на площади «КС».....	300
ЯНКОВСКИЙ Е. В. Обработка рельефа местности с помощью «Коскад 3D».....	304
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ.....	308

Научное издание

Двадцать Четвертая Уральская молодежная
научная школа по геофизике

Сборник научных материалов

Рекомендовано к изданию Ученым советом «ГИ УрО РАН»
Протокол № 2 от 02.02.2023

Компьютерная верстка: Верхоланцев Ф.Г., Злобина Т.В., Гусева Н.С.



Сдано в набор 06.02.2023. Подписано в печать 08.02.2023.

Формат 60x90/8.