

На правах рукописи



ЧЕРДЫНЦЕВ СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ

**КОМПЛЕКС СЕЙСМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КАРОТАЖА
И МЕТОДОЛОГИЯ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ НА
НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ**

Специальность 1.6.9 – Геофизика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Екатеринбург – 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Уральский государственный горный университет»

Научный руководитель: Талалай Александр Григорьевич – доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой геофизики ФГБОУ Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

Официальные оппоненты:

Ведущая организация:

Защита диссертации состоится «__» _____ 2025 г. в ____ на заседании диссертационного совета 24.1.132.01 при ИФЗ РАН по адресу: 123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИФЗ РАН и на сайте www.ifz.ru.

Автореферат размещен на официальном сайте Высшей аттестационной комиссии при Министерстве образования и науки Российской Федерации vak.ed.gov.ru и на сайте института www.ifz.ru.

Отзывы на автореферат, с подписью, заверенной печатью, в 1 экземпляре, просьба направлять по адресу: 123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1, ИФЗ РАН, ученому секретарю диссертационного совета кандидату физико-математических наук Жосткову Руслану Александровичу.

Автореферат разослан «__» _____ 2025 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат физико-математических наук

Р. А. Жостков.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Повышение информативности геофизических методов исследования скважин является важной и актуальной задачей промышленной геофизики при поисках, разведке, разработке и эксплуатации месторождений углеводородов. Превалирующую роль при этом играют качество входных данных каротажа и объективность интерпретации геофизической информации.

В рамках настоящего исследования разработан аппаратурно-методический комплекс сейсмоэлектрического каротажа. Сейсмоэлектрический каротаж – геофизический метод исследования скважин, основанный на изучении и анализе характера сейсмоэлектрического эффекта второго рода E , возникающего в результате электризации пористых насыщенных сред при воздействии на них упругим полем.

Актуальность создания и внедрения комплекса сейсмоэлектрического каротажа подтверждена его практическим применением на месторождениях Оренбургской области при решении ряда геологических и технологических задач.

Сейсмоэлектрические исследования, проведенные в рамках настоящей работы на нефтяных месторождениях Оренбургской области, направлены на повышение точности и детальности литологического расчленения геологических разрезов скважин в открытом стволе в процессе их строительства, а также точности оценки степени гидродинамической сообщаемости продуктивных пластов с внутренней полостью обсадных эксплуатационных колонн при прострелочно-взрывных работах в обсаженных скважинах.

В настоящей работе рассматриваются вопросы повышения интерпретационной информативности метода потенциалов собственной поляризации (ПС) за счет применения акустического воздействия на исследуемое скважинное пространство, а также использования в глубинном скважинном приборе в качестве чувствительного элемента мегаэлектродного блока – группы измерительных электродов.

Степень научной разработанности темы исследования

Исследования по изучению сейсмоэлектрического эффекта представлены в трудах таких российских и зарубежных ученых, как С. Мочли, Л. Блау,

Л. Стетхем, Р. Р. Томсон, А. Г. Иванов, Я. И. Френкель, М. П. Воларович, Э. И. Пархоменко, М. А. Био, М. С. Анцыферов, Н. М. Нейштадт, Л. М. Осипов, М. Б. Гохберг, О. А. Потапов, С. А. Лизун, В. Ф. Кондрат, Д. Н. Ляцук, Б. С. Светов, В. П. Губатенко, С. А. Назарный, В. А. Комаров, О.А. Агеева, А. Берг, Э. В. Эппельбаум, В. И. Костицын, В. А. Хмелевской, В. А. Давыдов, И. Я. Чеботарева, А. Н. Камшилин и др.

Несмотря на то, что многие проблемы изучения сейсмоэлектрических явлений в горных породах широко освещены в многочисленных работах, имеет место недостаточность исследований в области сейсмоэлектрического каротажа нефтяных скважин. Это обуславливает необходимость расширения спектра исследований для решения задач, связанных с повышением интерпретационной информативности метода потенциалов собственной поляризации при литологическом расчленении геологических разрезов скважин в открытом стволе и при определении интервалов и качества перфорации обсадных эксплуатационных колонн в обсаженных скважинах, что предопределило выбор темы работы, цель, задачи и ее основные направления.

Цель

Целью настоящего исследования является повышение интерпретационной информативности метода потенциалов собственной поляризации посредством практической реализации новых способов и устройств сейсмоэлектрического каротажа на нефтяных месторождениях Оренбургской области.

При реализации новых способов и устройств измеряется параметр разности электрических потенциалов исследуемых объектов при наложении акустического поля на околоскважинное пространство с применением в качестве чувствительного элемента в глубинном приборе мегаэлектродного блока для обеспечения наиболее выраженных аномалий измеряемого сигнала.

Задачи

1. Теоретическое обоснование применения сейсмоэлектрического каротажа в нефтяных скважинах для решения различных геологических и технологических задач.
2. Разработка новых способов и аппаратуры сейсмоэлектрического каротажа и обоснование целесообразности их применения.
3. Выявление эффекта от применения акустического воздействия на исследуемое скважинное пространство.
4. Выявление эффекта от применения в глубинном скважинном

приборе в качестве чувствительного элемента мегаэлектродного блока.

Объект и предмет исследования

Объектом исследования послужили продуктивные пласты нефтяных месторождений Оренбургской области в открытом стволе и в обсаженных скважинах.

Предметом исследования – новые методы и средства геофизических исследований скважин, применяемые для достижения поставленных целей и задач.

Научная новизна

1. Разработан аппаратно-методический комплекс сейсмоэлектрического каротажа, обеспечивающий повышение интерпретационной информативности метода ПС за счет применения акустического воздействия в комплексе с мегаэлектродным блоком.

2. Разработан новый способ определения интервала и качества перфорации обсадной колонны в скважине. Патент РФ № 2298648. Патентообладатель общество с ограниченной ответственностью «Оренбурггеофизика». 2005. Бюл. № 13.

3. Разработано новое устройство для измерения естественных электрических потенциалов горных пород при акустическом воздействии на зону исследования. Патент РФ № 81526. Патентообладатель Чердынцев С. Н. 2007. Бюл. № 8.

4. Разработан новый способ определения интервала и качества перфорации обсадной колонны в скважине. Патент РФ № 2796148. Патентообладатель Чердынцев С. Н. 2023.

5. Разработан новый способ определения интервала и качества перфорации обсадной колонны в скважине. Патент РФ № 2799729. Патентообладатель Чердынцев С. Н. 2023.

6. Разработано новое устройство сейсмоэлектрического каротажа. Патент РФ № 218949. Патентообладатель Чердынцев С. Н. 2023. Бюл. № 17.

Теоретическая и практическая значимость работы

Основные положения и результаты исследования развивают

теоретическую базу изучения сейсмоэлектрических явлений в нефтяных и газовых скважинах и формируют направления совершенствования существующих и создания новых геофизических методов и устройств.

Разработанный аппаратурно-методический комплекс сейсмоэлектрического каротажа повышает интерпретационную информативность геофизических исследований методом ПС и позволяет с более высокой объективностью:

1. Производить литологическое расчленение исследуемых геологических разрезов скважин.
2. Определять границы интервалов и качество перфорации обсадных эксплуатационных колонн в скважинах.

Применение аппаратурно-методического комплекса сейсмоэлектрического каротажа имеет большое практическое значение при литологическом расчленении карбонатных разрезов скважин, так как в таких разрезах диаграммы ПС являются малоинформативными из-за низкой амплитуды диаграмм и их слабой дифференцированности. Также, в случае, когда величина минерализации скважинной жидкости мало отличается от величины минерализации пластовых вод, аномалии ПС становятся незначительными. Поэтому с целью получения наиболее выраженных аномалий каротажных диаграмм применяется акустическое воздействие и мегаэлектродный блок.

Комплекс сейсмоэлектрического каротажа может быть также использован для определения пористости и глинистости коллекторов, минерализации пластовых вод, величины пластовых давлений и интервалов нарушения целостности обсадных эксплуатационных колонн в местах притока или поглощения жидкости.

Методология и методы исследования

Методологической основой исследования послужил руководящий документ РД 153-39.0-072-01 Техническая инструкция по проведению геофизических исследований и работ приборами на кабеле в нефтяных и газовых скважинах (введен в действие приказом Министерства энергетики РФ от 07 мая 2001 г. № 134).

Сейсмоэлектрический каротаж основан на изучении и анализе взаимодействия электрического и акустического полей. Аппаратная реализация

метода осуществляется на базе стандартных отечественных скважинных приборов акустического и электрического каротажа путем совмещения глубинных модулей для возможности регистрации параметра разности электрических потенциалов исследуемой среды при одновременном акустическом воздействии. Для визуализации, регистрации измеряемых параметров и для управления режимами скважинных приборов применяются наземные цифровые регистраторы.

Интерпретация результатов сейсмоэлектрического каротажа производится аналогично методу ПС. При этом диаграммы фонового замера, полученные без наложения акустического поля, сравнивают с диаграммами, полученными при акустическом воздействии и с диаграммами, полученными при помощи мегаэлектродного блока, извлекая из этого дополнительную информацию.

Положения, выносимые на защиту

1. Акустическое воздействие на исследуемое околоскважинное пространство повышает величину и степень дифференцированности аномалий ПС увеличивая в целом результативность исследований.

2. Разработанный аппаратурно-методический комплекс сейсмоэлектрического каротажа расширяет область применения и возможности метода ПС при литологическом расчленении геологических разрезов скважин и при определении границ интервалов и качества перфорации за счет наведения акустического поля на околоскважинное пространство.

3. Применение мегаэлектродного блока в качестве чувствительного элемента в глубинном приборе в комплексе с акустическим воздействием на зону исследования существенно увеличивает интерпретационную информативность каротажа в открытом стволе и в обсаженных скважинах в условиях нефтяных месторождений Оренбургской области.

Степень достоверности и апробация результатов работы

Достоверность и обоснованность выводов, научных положений, технических решений и рекомендаций подтверждена использованием значительного объема теоретических, лабораторных, полевых и скважинных исследований, апробацией и публикациями, а также внедрением в практическую область промысловой геофизики. Аппаратурно-методический комплекс сейсмоэлектрического каротажа опробован на ряде нефтяных месторождений Оренбургского региона. Внедрение практических результатов

исследования подтверждено соответствующими каротажными материалами, актами внедрения и патентами.

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на:

- Региональной научно-практической конференции (с международным участием) «Современные информационные технологии в науке, образовании и практике», г. Оренбург, 2003;
- XXX Международной научно-практической конференции «Современные научные исследования: Актуальные вопросы, достижения и инновации», г. Пенза, 2022;
- 49-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского - В.Н. Страхова. «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей», г. Екатеринбург, 2023;
- XXIV Уральской молодежной научной школе по геофизике, г. Пермь, 2023;
- VI Международной геолого-геофизической конференции «ГеоЕвразия-2023. Геологоразведочные технологии – наука и бизнес», г. Москва, 2023;
- XXI Уральской горнопромышленной декаде «Уральская горная школа – регионам», г. Екатеринбург, 2023.

Публикации

Основные результаты исследования отражены в 11 научных работах, в том числе – 5 в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией (ВАК), кроме того получены 3 патента на изобретение (№ 2298648, № 2799729, № 2796148) и 2 патента на полезную модель (№ 81526, № 218949).

Личный вклад

Основу диссертации составили исследования, выполненные автором за время работы в ООО «Оренбургнефтегеофизика», ООО «Оренбурггеофизика», ЗАО «Восток-Урал-Нефть», ОАО «Южно-Аксютино», ЗАО «Карбон», ООО «Оренбурггеопроект» в Оренбургской области в период с 2003 по 2025 гг.

Вклад автора заключается в постановке цели и задач исследования, развитии теоретической базы изучения сейсмоэлектрических явлений в скважинах, разработке методов, аппаратуры и методик каротажных исследований, получение патентов и подготовку публикаций по обоснованию

применения и разработке аппаратурно-методического комплекса сейсмоэлектрического каротажа. Автор лично участвовал в проведении скважинных исследований и внедрении комплекса сейсмоэлектрического каротажа на нефтяных месторождениях Оренбургской области.

При разработке комплекса автор опирался на основополагающие работы С. С. Итенберга, А. Г. Талалая, И. Г. Сквородникова, А. Г. Иванова, Я. И. Френкеля, М. П. Воларовича, Э. И. Пархоменко, М. А. Био, Н. М. Нейштадта, Л. М. Осипова, В. В. Кормильцева, А. Н. Ратушняка, О. А. Потапова, С. А. Лизуна, В. Ф. Кондрата, Б. С. Светова, В. П. Губатенко, С. А. Назарного, В. А. Комарова, О. А. Агеевой, В. И. Костицына, В. А. Хмелевского, В. А. Давыдова, И. Я. Чеботаревой, А. Н. Камшилина и других ученых.

Результаты исследования, составляющие научную новизну работы и выносимые на защиту, получены автором лично.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 85 наименования. Работа изложена на 140 страницах машинописного текста, содержит 26 рисунков и 1 таблицу.

В основу работы положены результаты исследований, проведенных под руководством и при непосредственном участии автора, а также лично автором.

Благодарности

Автор искренне выражает глубокую признательность и благодарность научному руководителю, доктору геолого-минералогических наук, заведующему кафедрой геофизики ФГБОУ «Уральского государственного горного университета», профессору Александру Григорьевичу Талалаю за всестороннюю помощь и поддержку в реализации диссертационной работы, постоянную поддержку, ценные консультации, советы и замечания по теме научного исследования, а также за содействие и внимание.

В период работы над диссертацией автором получены полезные советы и замечания от Л. А. Золотой, В. Е. Петряева, К. В. Вандышевой, И. Е. Шинкарьюк, Г. В. Иголкиной и др. Всем перечисленным коллегам автор выражает признательность и благодарит за оказанное содействие.

Автор благодарит своих коллег по ООО «Оренбурггеопроект», г. Оренбург, ФГБОУ «Уральский государственный горный университет»,

специалистов геофизических производственных предприятий ООО Концерн «Недра», г. Екатеринбург, ООО «ГИРС-сервис», г. Оренбург; Межрегиональной общественной организации «Евро-Азиатское геофизическое общество», г. Москва, ООО «Оренбурггеофизика», г. Оренбург, ООО «Оренбургнефтегеофизика», г. Оренбург и др., оказавшим помощь в проведении скважинных исследований, а также принимавшим участие в обсуждении их результатов, за их ценные советы, замечания и рекомендации по теме диссертационной работы, за их содействие и внимание.

Также автор выражает глубокую признательность доктору геолого-минералогических наук, профессору И. Г. Сквородникову за помощь и содействие в решении ряда вопросов, консультации, рекомендации, совместную работу при написании диссертации.

Создание аппаратурно-методического комплекса сейсмоэлектрического каротажа и его практическая реализация на объектах Оренбургской области, проведена совместно с В. И. Масленниковым, В. А. Марковым, А. Г. Талалаем и др., которым автор выражает глубокую благодарность.

За помощь в проведении скважинных геофизических исследований и внедрении методов и аппаратуры сейсмоэлектрического каротажа автор выражает благодарность работникам ряда геофизических организаций и предприятий В. А. Ананьеву, Е. А. Рябухе, С. В. Ильину, Т. Н. Санееву, Р. М. Слайманову, Б. П. Кузину.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснованы актуальность темы диссертационного исследования, определены цель, задачи, объект и предмет исследования, обозначены основные защищаемые научные положения, сформулированы научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов работы.

В **первой главе «Современное состояние изученности сейсмоэлектрического эффекта»**, имеющей обзорный характер, приводится информация о сейсмоэлектрических явлениях в горных породах и краткие сведения об исследованиях сейсмоэлектрического эффекта.

По результатам теоретических, лабораторных, полевых и скважинных исследований сейсмоэлектрического эффекта, выполненных с момента его обнаружения, рядом отечественных и зарубежных ученых, получено

представление о характере сейсмоэлектрических явлений в пористых насыщенных средах.

Изучение широкого перечня научных работ, публикаций, патентов и методик позволило выявить ряд зависимостей параметра сейсмоэлектрического эффекта от различных физических величин: от влажности, пористости, насыщенности горных пород, концентрации насыщающего породе раствора, температуры, частоты, мощности акустического воздействия и др.

По результатам литературного обзора сделаны следующие выводы:

- при воздействии упругим полем на пористую насыщенную горную породу происходит возникновение разности электрических потенциалов между двумя соседними ее точками, называемой сейсмоэлектрическим эффектом второго рода E ;

- разность электрических потенциалов, образующих сейсмоэлектрический эффект E в определенном объеме горных пород, вызванная акустическим воздействием, сопровождается изменением давления в направлении распространения упругих волн;

- объем горных пород, в котором возникает эффект E , определяется длиной измерительного электрического диполя, геологическим строением исследуемого разреза, частотным диапазоном сейсмического возбуждения и диапазоном регистрации сейсмоэлектрического эффекта;

- сейсмоэлектрический эффект не регистрируется или величина его ничтожно мала в объеме сухих и плотных кристаллических горных пород;

- с увеличением пористости, трещиноватости и проницаемости горной породы величина сейсмоэлектрического эффекта уменьшается;

- с увеличением водонасыщенности горной породы величина сейсмоэлектрического эффекта уменьшается;

- с ростом концентрации раствора электролита в объеме горной породы величина сейсмоэлектрического эффекта уменьшается;

- с ростом углеводородосодержания в объеме горной породы величина сейсмоэлектрического эффекта уменьшается;

- с понижением температуры величина сейсмоэлектрического эффекта уменьшается;

- с увеличением сопротивления горной породы величина

сейсмоэлектрического эффекта возрастает;

- акустическое воздействие изменяет сопротивление геологической среды до 10 % за счет изменения контактной компоненты минеральных зерен;

- максимальные значения величины сейсмоэлектрического эффекта отмечаются в плотных низкопористых, слабопроницаемых, нетрещиноватых и некавернозных горных породах;

- с увеличением частоты и мощности акустического воздействия величина сейсмоэлектрического эффекта возрастает;

- конструкция, форма, материал и масса измерительных электродов не оказывает значительного влияния на величину сейсмоэлектрического эффекта;

- контактные явления электродов с исследуемыми горными породами не оказывают значительного влияния на величину сейсмоэлектрического эффекта.

Исходя из выводов литературного обзора очевидна целесообразность и эффективность применения сейсмоэлектрических явлений в нефтепромысловой геофизике. Предложено использование сейсмоэлектрического эффекта E при геофизических исследованиях нефтяных и газовых скважин для решения ряда геологических и технологических задач путем применения сейсмоэлектрического каротажа.

Предложен аппаратно-методический комплекс сейсмоэлектрического каротажа и методология его применения на нефтяных месторождениях Оренбургской области.

При применении данного комплекса в открытом стволе производится литологическое расчленение геологических разрезов скважин.

В обсаженных скважинах осуществляется определение местоположения зон перфорации и оценка качества прострелочно-взрывных работ.

Во **второй главе «Метод потенциалов собственной поляризации»** представлены основные теоретические положения возникновения естественных электрических полей в нефтяных и газовых скважинах. Приведено описание аппаратной реализации метода ПС. Описаны особенности естественных геоэлектрических полей в карбонатных разрезах скважин. Обоснована эффективность применения наложения акустического поля на околоскважинное пространство при регистрации диаграмм разности естественных электрических потенциалов в скважинах.

В третьей главе «Сейсмоэлектрический каротаж и его применение» приведено описание характера сейсмоэлектрических явлений в горных породах.

Представлено математическое описание влияния акустического воздействия на естественные электрические поля в скважинах и на физические свойства горных пород.

Выявлен характер влияния акустического поля на электропроводность коллекторов нефти и газа и на фильтрационные свойства горных пород.

Приведена схема измерительной установки сейсмоэлектрического каротажа.

Описаны основные аспекты интерпретации данных сейсмоэлектрического каротажа – качественная интерпретация (литологическое расчленение исследуемого геологического разреза (определение мощности пластов и их границ)), определение интервала перфорации и качества прострела обсадной колонны), количественная (определение минерализации пластовых вод, пористости и глинистости коллекторов).

Отмечено существенное влияние акустического воздействия на физико-химические свойства горных пород и происходящие в них электромагнитные процессы, а именно на естественные электрические поля в скважинах, электропроводность исследуемых пористых сред, а также на фильтрационные свойства горных пород.

Определена высокая эффективность применения сейсмоэлектрического каротажа в открытом стволе скважин в процессе их строительства, а также в скважинах эксплуатационного фонда при прострелочно-взрывных работах и исследовании их технического состояния.

Подчеркнута перспектива применения и внедрения сейсмоэлектрического каротажа для дальнейшего изучения сейсмоэлектрических явлений в нефтяных и газовых скважинах; исследования связи сейсмоэлектрического эффекта с литологией пород и наличием углеводородов в коллекторах; разработки оптимальных методик сейсмоэлектрических наблюдений, а также для решения многочисленных задач промысловой геологии и геофизики, таких как детальное литолого-стратиграфическое расчленение исследуемого геологического разреза, определение коллекторских свойств, характера насыщения пластов, оценка технического состояния скважин и параметров их

эксплуатации.

При сейсмoeлектрическом каротаже измеряется параметр электрического поля $U'_{\text{ПС}}$ при акустическом воздействии на зону исследования, включающий в себя составляющие естественных электрических полей и потенциалов акустически вызванной поляризации (сейсмoeлектрических потенциалов). Регистрация диаграмм $U'_{\text{ПС}}$ производится аналогично методу потенциалов самопроизвольной поляризации (ПС) посредством замера параметра разности

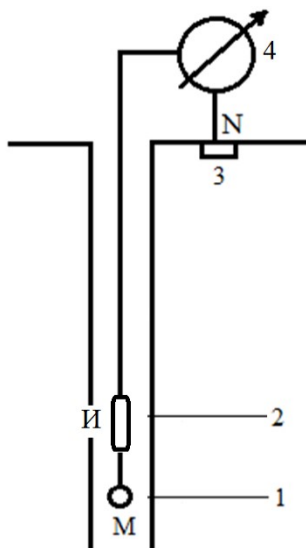


Рисунок 1 – Схема регистрации диаграмм сейсмoeлектрического каротажа.

1 – измерительный электрод М; 2 – магнитоотрицательный акустический излучатель; 3 – электрод N, заземленный на поверхности; 4 – наземный цифровой регистратор

электрических потенциалов между измерительным электродом М, перемещаемым по разрезу скважины, и электродом N, заземленным на поверхности при одновременном акустическом воздействии на околоскважинное исследуемое пространство посредством магнитоотрицательного акустического излучателя И (рис. 1). Для визуализации и записи каротажных диаграмм используется наземный цифровой регистратор.

Диаграмма сейсмoeлектрического каротажа отображает изменение значения скважинного потенциала у измерительного электрода М с изменением глубины при одновременном влиянии акустического поля. К электроду М, соответственно, относится точка записи измеряемого параметра.

При каротажных исследованиях данным методом сначала измеряется

разность потенциалов физического параметра исследуемой среды без акустического воздействия (фоновый замер). Затем производится запись диаграмм при акустическом воздействии, которое дает дополнительные приращения амплитуды измеряемого сигнала, а также увеличивает дифференцированность кривой $U'_{ПС}$. Интерпретация результатов сейсмоэлектрического каротажа производится аналогично методу ПС, при этом диаграммы фонового замера сопоставляют с диаграммами, полученными при акустическом воздействии, извлекая из их сравнения дополнительную информацию.

В рамках настоящего диссертационного исследования рассмотрены вопросы качественной интерпретации сейсмоэлектрического каротажа в нефтяных скважинах Оренбургского региона.

К задачам качественной интерпретации в открытом стволе относится литологическое расчленение геологических разрезов скважин (определение границ и мощности пластов).

В обсаженных скважинах по результатам качественной интерпретации диаграмм сейсмоэлектрического каротажа определяются границы интервалов и качество перфорации их эксплуатационных колонн.

Отмечена актуальность акустического воздействия при записи диаграмм ПС в карбонатных разрезах скважин, применение которого позволяет с более высокой точностью судить о физических свойствах горных пород и проводить более детальное литологическое расчленение геологического разреза по дополнительным аномалиям в интервалах пористых насыщенных пластов и по всему стволу скважины.

Таким образом, акустическое воздействие на исследуемое околоскважинное пространство повышает величину и степень дифференцированности аномалий ПС, увеличивая эффективность исследований, что обосновывает первое защищаемое положение.

В четвертой главе «Методология применения сейсмоэлектрического каротажа на нефтяных месторождениях Оренбургского региона» приведено описание и принцип работы аппаратурно-методического комплекса мегаэлектродного сейсмоэлектрического каротажа, разработанного в рамках диссертационного исследования.

Представлена схема измерительной установки, принципиальная схема, основные технические характеристики скважинного прибора, наземного

цифрового регистратора.

Описаны цели, задачи сейсмоэлектрических измерений, методика проведения работ, основные аспекты интерпретации полученных каротажных диаграмм, результаты скважинных геофизических исследований.

Приведены результаты сейсмоэлектрических каротажных исследований на нефтяных месторождениях Оренбургской области, проведенных в рамках диссертационной работы.

Представлены каротажные исследования в открытом стволе в терригенном разрезе и в карбонатных разрезах скважин, а также исследования зон префорации эксплуатационных колонн в обсаженных скважинах.

Подтверждена эффективность применения аппаратурно-методического комплекса сейсмоэлектрического каротажа.

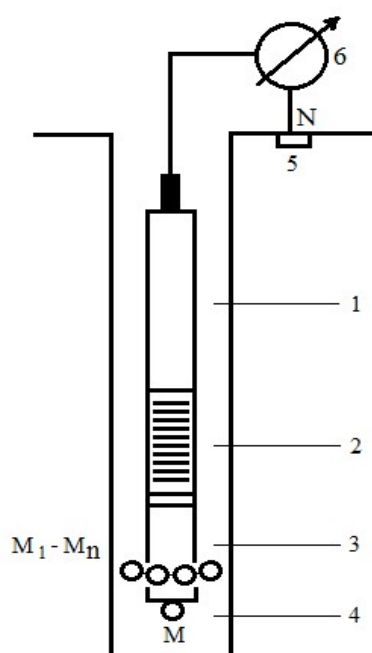


Рисунок 2 – Схема измерительной установки сейсмоэлектрического каротажа.

1 – скважинный прибор; 2 – модуль акустического излучателя; 3 – мегаэлектродный блок (M_1-M_n - группа измерительных электродов, расположенных на прижимных устройствах); 4 – центральный измерительный электрод M ; 5 – электрод, заземленный на поверхности; 6 – наземный цифровой регистратор

На рисунке 2 представлена схема измерительной установки сейсмоэлектрического каротажа, включающая в себя скважинный прибор 1, состоящий из модуля акустического излучателя 2, мегаэлектродного блока 3, центрального измерительного электрода М 4, электрода N, заземленного на поверхности 5, и наземный цифровой регистратор 6.

Излучатель скважинного прибора служит для создания акустического воздействия и состоит из трех магнитострикционных сердечников, на которых намотаны катушки. Излучатель имеет три диапазона частот: Частота излучателя в режиме ВЧ3 – 24 кГц, в режимах: ВЧ1 – 6 кГц, ВЧ2 – 12 кГц. Излучатель резонансный, при возбуждении его мощным электрическим импульсом, он создает колебания определенной частоты, которая зависит от размеров сердечника и количества витков катушки. В режиме ВЧ1 работают три катушки (6 кГц), в режиме ВЧ2 - две, соединенные последовательно (12 кГц), в режиме ВЧ3 работает одна катушка (24 кГц).

Чувствительными элементами глубинного прибора являются центральный измерительный электрод М и мегаэлектродный блок, предложенный автором в качестве первичного измерительного преобразователя в глубинном скважинном приборе, состоящий из группы выносных измерительных неполяризующихся электродов M_1-M_n , расположенных радиально оси прибора на прижимном механизме для регистрации значений разности электрических потенциалов по стволу скважины, относительно заземленного на поверхности электрода N.

Мегаэлектродный блок крепится к нижней части скважинного прибора посредством герметичного резьбового соединения. Такая конструкция глубинного зонда увеличивает степень контакта чувствительного элемента с исследуемой средой и позволяет регистрировать изменение величины параметра электрических потенциалов непосредственно на границе раздела: горная порода – буровой раствор.

Наземный цифровой регистратор предназначен для визуализации и записи каротажных диаграмм, а также для задания режимов частоты акустического воздействия излучателя. Выбор частоты производится с учетом особенностей влияния геологической среды в зависимости от поставленных задач каротажных исследований.

Аппаратура мегаэлектродного сейсмоэлектрического каротажа создана на

базе стандартного используемого отечественного скважинного и наземного геофизического оборудования, поэтому является доступной и невысокой по себестоимости.

Приведены результаты скважинных сейсмoeлектрических исследований, проведенных на нефтяных месторождениях Оренбургской области в открытом стволе и в обсаженных скважинах.

Исследования в открытом стволе

На рисунке 3 приведены результаты литологического расчленения геологического разреза скважины по диаграммам ПС, записанным: при помощи одного центрального измерительного электрода М (а) и при помощи мегаэлектродного блока (б).

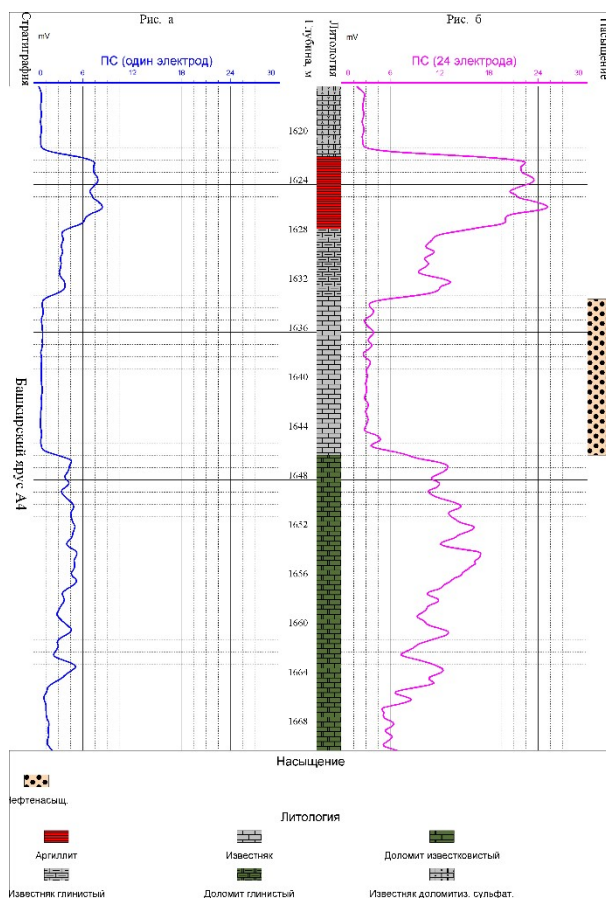


Рисунок 3 – Результаты литологического расчленения геологического разреза скважины по диаграммам ПС при помощи одного и нескольких измерительных электродов. а – запись одним измерительным электродом; б – запись при помощи мегаэлектродного блока

Рисунок 3 показывает, что применение в глубинном приборе в качестве первичного измерительного преобразователя мегаэлектродного блока повышает величину и степень дифференцированности аномалий ПС. На диаграмме, полученной при использовании мегаэлектродного блока более детально отбиваются границы пластов, отмечаются дополнительные приращения относительно фонового замера ПС одним центральным измерительным электродом.

Дополнительные приращения аномалий на диаграмме разности электрических потенциалов при использовании мегаэлектродного блока связаны с наличием на границах горной породы и скважинной жидкости диффузионно-адсорбционных потенциалов, параметры которых с высокой точностью невозможно зарегистрировать, применяя в качестве первичного измерительного преобразователя в глубинном приборе один центральный измерительный электрод.

Применение мегаэлектродного блока позволяет более детально производить литологическое расчленение геологических разрезов скважин.

Помимо использования мегаэлектродного блока автором настоящей работы предложено применение акустического воздействия различной частоты на околоскважинное исследуемое пространство.

На рисунке 4 приведены результаты литологического расчленения геологического разреза скважины по диаграммам ПС, записанным при различных значениях частоты акустического воздействия.

На рисунке 4 а представлен фоновый замер ПС, полученный без акустического воздействия на околоскважинное пространство.

Рисунок 4 б демонстрирует повышение величины и степени дифференцированности аномалии ПС при применении акустического воздействия с частотой излучателя 6 кГц относительно фонового замера. На диаграмме более детально отбиваются границы пластов и отмечаются дополнительные приращения.

Рисунок 4 в демонстрирует повышение величины и степени дифференцированности аномалии ПС при применении акустического воздействия с частотой излучателя 12 кГц относительно фонового замера и замера при частоте излучателя 6 кГц. На диаграмме более детально отбиваются границы пластов и отмечаются дополнительные приращения.

Рисунок 4 г демонстрирует повышение величины и степени дифференцированности аномалии ПС при применении акустического воздействия с частотой излучателя 24 кГц относительно фонового замера и замеров при частотах излучателя 6 кГц и 12 кГц. На диаграмме более детально отбиваются границы пластов и отмечаются дополнительные приращения.

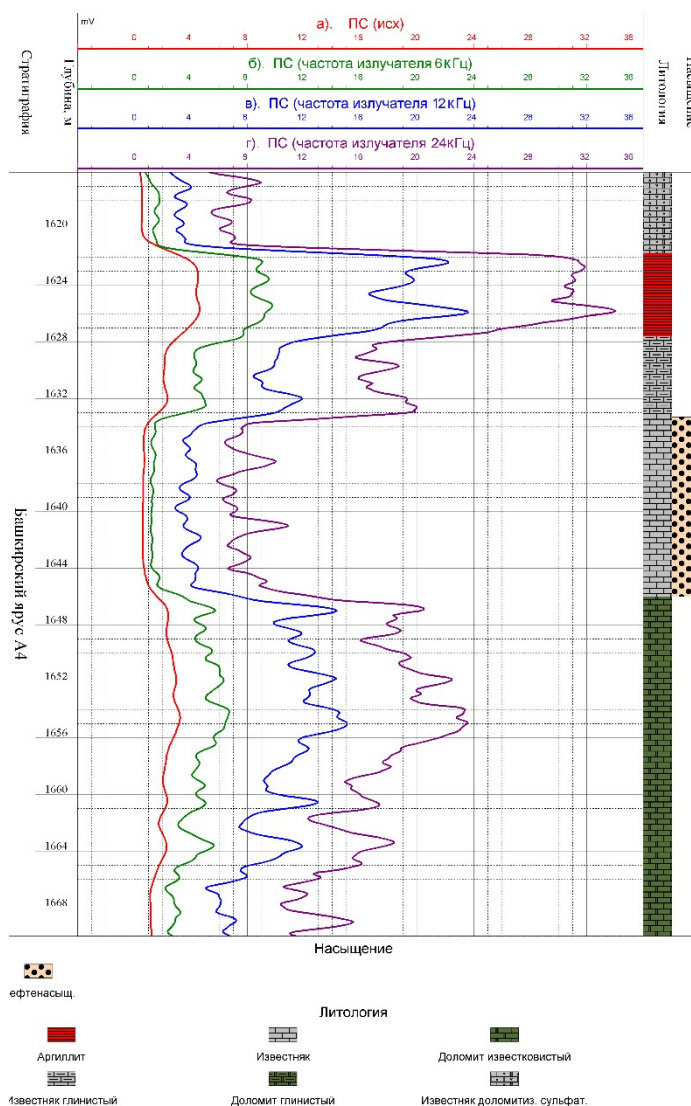


Рисунок 4 – Результаты литологического расчленения геологического разреза по диаграммам сейсмоэлектрического каротажа на различных частотах акустического воздействия. а – фоновый замер, полученный без наложения акустического поля; б – диаграмма, полученная при акустическом воздействии частотой 6 кГц; в – диаграмма, полученная при акустическом воздействии частотой 12 кГц; г – диаграмма, полученная при акустическом воздействии частотой 24 кГц

Из рисунка 4 следует, что с увеличением частоты акустического воздействия величина и степень дифференцированности аномалий ПС возрастает.

Увеличение амплитуды и дифференцированности измеряемого параметра при воздействии акустическом полем в проницаемых горных породах связано в основном с возникновением электрокинетических потенциалов фильтрационного происхождения, а в плотных непроницаемых – с возникновением диффузионно-адсорбционных потенциалов.

Рисунок 4 показывает, что применение акустического воздействия на зону исследования позволяет более детально судить о литологическом строении изучаемых геологических объектов и о параметрах слагающих их горных пород.

Исследования в обсаженных скважинах

На рисунке 5 приведены результаты определения интервала и качества перфорации обсадной эксплуатационной колонны в нефтяной скважине по диаграммам сейсмoeлектрического каротажа.

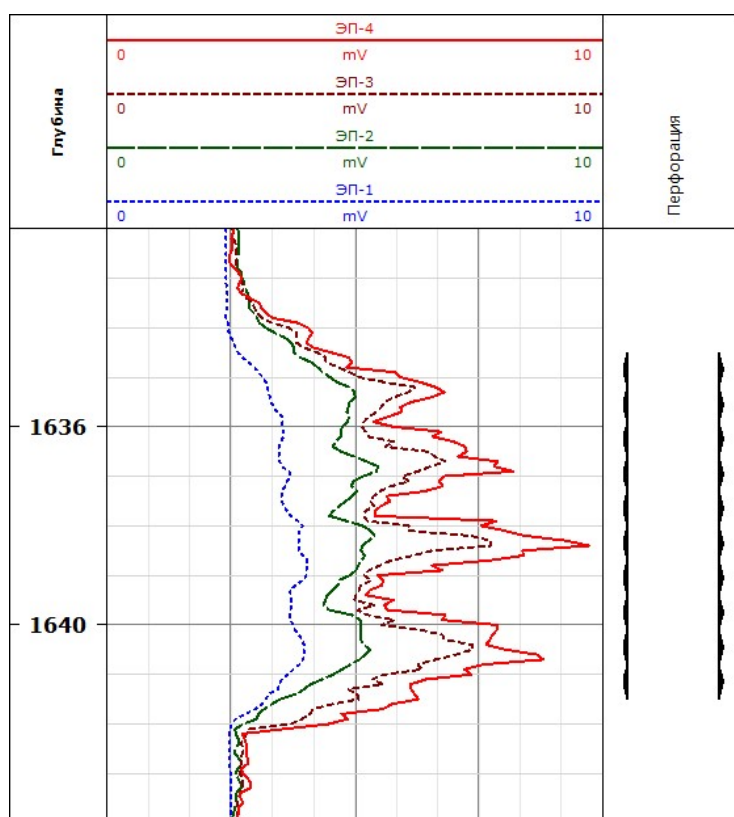


Рисунок 5 – Результаты определения интервала и качества перфорации эксплуатационной колонны в нефтяной скважине по диаграммам

сейсмoeлектрического каротажа. ЭП-1 – фоновая запись одним измерительным электродом; ЭП-2 – запись с применением мегаэлектродного блока; ЭП-3 – запись одним измерительным электродом при акустическом воздействии; ЭП-4 – запись с применением мегаэлектродного блока при акустическом воздействии

Диаграмма фонового замера разности электрических потенциалов колонны ЭП-1, полученная без применения акустического воздействия отображает границы интервала перфорации, которые определяются по правилу полумаксимума амплитуды аномалии регистрируемого сигнала. Места прострела колонны в исследуемом интервале перфорации выделяются незначительными положительными отклонениями.

Диаграмма ЭП-2 демонстрирует, что применение мегаэлектродного блока повышает величину и степень дифференцированности аномалий регистрируемого сигнала. На диаграмме, полученной при помощи мегаэлектродного блока более детально отбиваются границы интервала перфорации, просматриваются дополнительные приращения в местах прострела относительно фонового замера, что позволяет с более высокой точностью и достоверностью судить о степени гидродинамической сообщаемости пласта с внутренней полостью обсадной колонны.

Дополнительные приращения амплитуды аномалий на диаграмме разности электрических потенциалов связаны с тем, что мегаэлектродный блок, обеспечивает измерение значений разности электрических потенциалов непосредственно на границах пласта и проперфорированных стенок скважины, увеличивая интенсивность регистрируемого параметра в отличие от измерений одним центральным электродом, движущимся при записи ориентировочно по центру скважины.

Диаграмма ЭП-3, полученная одним измерительным электродом при акустическом воздействии демонстрирует, что наложение акустического поля на исследуемый интервал перфорации повышает величину и степень дифференцированности аномалий регистрируемого сигнала по сравнению с двумя предыдущими замерами, что позволяет с более высокой точностью и достоверностью судить о степени гидродинамической сообщаемости пласта с внутренней полостью обсадной колонны. На диаграмме ЭП-3 более детально выделяются границы интервала перфорации, просматриваются дополнительные приращения в местах прострела относительно предыдущих замеров.

Дополнительные приращения амплитуды аномалий на диаграмме разности электрических потенциалов связаны, очевидно, в основном с возникновением за счет наложения акустического поля на исследуемую зону перфорации электрокинетических потенциалов фильтрационного происхождения, а также других электрических потенциалов различной природы.

Диаграмма ЭП-4 указывает на то, что акустическое воздействие с применением мегаэлектродного блока значительно повышает величину и степень дифференцированности аномалий регистрируемого сигнала в исследуемом интервале перфорации, что позволяет с еще более высокой точностью и достоверностью судить о степени гидродинамической сообщаемости пласта с внутренней полостью обсадной колонны. На диаграмме, полученной при записи группой измерительных электродов при одновременном акустическом воздействии более детально отбиваются границы зон перфорации, просматриваются дополнительные приращения в местах прострела относительно фонового замера одним измерительным электродом без наложения акустического поля, замера группой измерительных электродов без наложения акустического поля, замера одним измерительным электродом при акустическом воздействии на зону исследования.

Дополнительные приращения аномалий диаграммы разности электрических потенциалов колонны ЭП-4 связаны, во-первых - с увеличением степени контакта чувствительного элемента глубинного прибора с исследуемой средой за счет применения мегаэлектродного блока, во-вторых - с возникновением дополнительных электрокинетических потенциалов за счет наложения акустического поля на исследуемый интервал перфорации.

Результаты проведенных и обсуждаемых в работе скважинных исследований в условиях нефтяных месторождений Оренбургского региона свидетельствуют о том, что комплекс сейсмoeлектрического каротажа расширяет область применения и возможности метода ПС при литологическом расчленении геологических разрезов скважин, определении границ интервалов и качества перфорации за счет наведения акустического поля на околоскважинное пространство, применение мегаэлектродного блока в качестве чувствительного элемента в глубинном приборе в комплексе с акустическим воздействием на зону исследования существенно увеличивает интерпретационную информативность каротажа в открытом стволе и в

обсаженных скважинах и обосновывают второе и третье защищаемые положения.

В **Заключении** исследования обобщены результаты диссертации, сформулированы основные выводы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного диссертационного исследования дополнены теоретические положения в области сейсмоэлектрических явлений в нефтяных и газовых скважинах. Разработан и внедрен аппаратурно-методический комплекс сейсмоэлектрического каротажа, предназначенный для литологического расчленения геологических разрезов скважин и для определения интервалов и качества перфорации обсадных эксплуатационных колонн, расширяющий область применения метода потенциалов собственной поляризации при геофизических исследованиях.

В рамках внедрения аппаратурно-методического комплекса сейсмоэлектрического каротажа разработаны и запатентованы следующие новые устройства и способы его применения:

– устройство сейсмоэлектрического каротажа, представляющее из себя глубинный прибор с применением в качестве чувствительного элемента мегаэлектродного блока - группы измерительных электродов, расположенных радиально оси прибора на прижимном механизме;

– способ литологического расчленения геологических разрезов скважин в открытом стволе в процессе их строительства;

– способ определения интервалов и качества перфорации продуктивных пластов в обсаженных скважинах.

Проведены геофизические исследования на месторождениях Оренбургского региона с целью литологического расчленения геологических разрезов скважин и определения зон и качества перфорации.

Подтверждена эффективность применения акустического воздействия на зону исследования и использование в качестве первичного измерительного преобразователя в глубинном приборе мегаэлектродного блока – группы измерительных электродов при регистрации параметра разности электрических потенциалов исследуемой среды.

Выполнена качественная интерпретация диаграмм проведенного

сейсмоэлектрического каротажа, получены новые данные о литологии и качестве перфорации ряда нефтяных месторождений Оренбургской области.

Основные выводы и результаты диссертационной работы

1. Разработанный аппаратурно-методический комплекс сейсмоэлектрического каротажа обеспечивает повышение интерпретационной информативности метода ПС в открытом стволе и в обсаженных скважинах.

2. Применение акустического воздействия на исследуемое околоскважинное пространство повышает величину амплитуды аномалий ПС и степень ее дифференцированности, увеличивая эффективность исследований.

3. Использование мегаэлектродного блока в качестве чувствительного элемента в глубинном приборе увеличивает степень контакта с исследуемой средой по окружности скважины и повышает величину амплитуды аномалий ПС и степень ее дифференцированности, увеличивая эффективность исследований.

Применение аппаратурно-методического комплекса сейсмоэлектрического каротажа имеет существенное практическое значение при литологическом расчленении карбонатных разрезов скважин, так как в таких разрезах диаграммы ПС являются малоинформативными из-за низкой амплитуды диаграмм и их слабой дифференцированности.

Комплекс эффективно может быть использован при исследовании интервалов слабопроницаемых продуктивных пластов и пластов, насыщенных высоковязкими углеводородами, так как в таких пластах диаграммы ПС являются также малоинформативными из-за низкой амплитуды диаграмм и их слабой дифференцированности.

Аппаратурно-методический комплекс сейсмоэлектрического каротажа может быть использован для определения пористости и глинистости коллекторов нефти и газа, определения минерализации пластовых вод и величины пластовых давлений в открытом стволе, а также для определения интервалов нарушения целостности обсадных эксплуатационных колонн в обсаженных скважинах в местах притока или поглощения жидкости.

Рекомендации:

Сейсмоэлектрический каротаж рекомендуется включить в полный комплекс геофизических исследований скважин для повышения эффективности разработки нефтяных и газовых месторождений.

Перспективы дальнейшей разработки темы:

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы при дальнейшем изучении сейсмоэлектрических явлений в нефтяных и газовых скважинах, а также при разработке новых геофизических методов и устройств.

Список опубликованных работ в научных журналах (изданиях), входящих в перечень ВАК:

1. Чердынцев С. Н. Повышение информативности метода потенциалов самопроизвольной поляризации (ПС) посредством применения акустического воздействия на зону исследования / С. Н. Чердынцев // Научно-технический вестник «Каротажник». – 2007. – № 161. – С. 60–65.

2. Чердынцев С. Н. Повышение информативности геофизических исследований при определении интервала перфорации и оценке гидродинамической сообщаемости пласта с внутренней полостью обсадной колонны в скважинах / С. Н. Чердынцев // Научно-технический вестник «Каротажник». – 2008. – № 169. – С. 119–124.

3. Чердынцев С. Н. Сейсмоэлектрический эффект – основа нового геофизического метода исследований нефтяных скважин – сейсмоэлектрического каротажа / С. Н. Чердынцев // Успехи современного естествознания. – 2022. – № 11. – С. 143–150.

4. Чердынцев С. Н. Применение сейсмоэлектрического каротажа для повышения интерпретационной информативности качества проведенных прострелочно-взрывных работ в нефтяных скважинах / С. Н. Чердынцев // Геофизика. – 2023. – № 1. – С. 71–76.

5. Чердынцев С. Н. Применение метода мегаэлектродного сейсмоэлектрического каротажа для повышения интерпретационной информативности литологического расчленения геологических разрезов нефтяных скважин / С. Н. Чердынцев // Геофизика. – 2023. – № 3. – С. 72–77.

Список патентов:

6. Марков В. А., Масленников В. И., Чердынцев С. Н. Патент на изобретение РФ № 2298648 Е21В 47/10. Способ определения интервала и качества перфорации обсадной колонны в скважине. Патентообладатель ООО «Оренбурггеофизика». 2007.

7. Чердынцев С. Н., Масленников В. И. Патент на полезную модель

РФ № 81526 E21B 47/12. Устройство для измерения естественных электрических потенциалов горных пород при акустическом воздействии на зону исследования. Патентообладатель Чердынцев С.Н. 2009.

8. Чердынцев С. Н. Патент на изобретение РФ № 2796148 E21B 47/10. Способ определения интервала и качества перфорации обсадной колонны в скважине. Патентообладатель Чердынцев С. Н. 2023.

9. Чердынцев С. Н. Патент на изобретение РФ № 2799729 E21B 47/10. Способ определения интервала и качества перфорации обсадной колонны в скважине. Патентообладатель Чердынцев С. Н. 2023.

10. Чердынцев С. Н. Патент на полезную модель РФ № 218949 E21B 47/10. Устройство сейсмoeлектрического каротажа. Патентообладатель Чердынцев С. Н. 2023.

Статьи, опубликованные в других изданиях:

11. Чердынцев С. Н. Применение сейсмoeлектрического каротажа в Оренбургском регионе с целью повышения информативности метода ПС / С. Н. Чердынцев // Современные информационные технологии в науке, образовании и практике: Материалы региональной научно-практической конференции (с международным участием). Оренбург: РИК ГОУ ОГУ. 2003.

12. Чердынцев С. Н. Повышение точности и детальности исследований при сейсмoeлектрическом каротаже / С. Н. Чердынцев // XXX Международная научно-практическая конференция «Современные научные исследования: Актуальные вопросы, достижения и инновации. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2022.

13. Чердынцев С. Н. Применение комплекса сейсмoeлектрического каротажа на нефтяных месторождениях Оренбургской области / С. Н. Чердынцев // 49-я сессия Международного семинара им. Д. Г. Успенского - В. Н. Страхова. Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей. г. Екатеринбург: ИГФ УрО РАН. 2023.

14. Чердынцев С. Н. Повышение информативности сейсмoeлектрического каротажа при определении границ интервалов и качества перфорации эксплуатационных колонн в нефтяных скважинах / С. Н. Чердынцев // Двадцать четвертая Уральская молодежная научная школа по геофизике. г. Пермь: ГИ УрО РАН. 2023.

15. Чердынцев С. Н. Повышение информативности

сейсмоэлектрического каротажа при литологическом расчленении геологических разрезов нефтяных скважин / С. Н. Чердынцев // VI Международная геолого-геофизическая конференция «ГеоЕвразия-2023. Геологоразведочные технологии – наука и бизнес». г. Москва: МОО ЕАГО. 2023.

16. Талалай А. Г., Чердынцев С. Н. /Талалай А. Г., Чердынцев С. Н./ Применение мегаэлектродного сейсмоэлектрического каротажа для литологического расчленения карбонатных разрезов нефтяных скважин/ Материалы международной научно-практической конференции «Уральская горная школа – регионам», г. Екатеринбург, Уральский государственный горный университет. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2023. – 901 с.

Подписано в печать «___» _____ 2025 г.

Формат 64×84/16. Объем 1,5 усл. печ. л.

Тираж 100 шт.

Заказ № ___

Отпечатано в ИАЦ ИФЗ РАН

123242, г. Москва, Б. Грузинская ул., д. 10, стр. 1

Тел./факс: (499) 254 90 88

