

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

Москва – 2025

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

Научный руководитель: **Талалай Александр Григорьевич**
доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой геофизики ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Официальные оппоненты: **Тюкавкина Ольга Валерьевна**
доктор технических наук, доцент, профессор кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»

Нестеренко Максим Юрьевич
доктор геолого-минералогических наук, доцент, заведующий отделом геоэкологии ФГБУН «Оренбургский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук»

Ведущая организация: Акционерное общество Научно-производственное предприятие Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт геофизических исследований геологоразведочных скважин (АО НПП «ВНИИГИС»)

Защита диссертации состоится **12 февраля 2026 года в 11:00** 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.gisnauka.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 «___» декабря 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 аппаратно-методический комплекс сейсмoeлектрического каротажа. Сейсмoeлектрический каротаж – геофизический метод исследования скважин, основанный на изучении и анализе характера сейсмoeлектрического эффекта, возникающего в результате электризации пористых насыщенных сред при воздействии на них упругим полем.

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

Сейсмoeлектрические 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 информативности метода потенциалов собственной поляризации (ПС) за счет акустического воздействия на исследуемое околоскважинное 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 сейсмoeлектрического 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. Ляшук, 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, П. А. Казначеев 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 обусловило необходимость расширения спектра исследований для решения задач, связанных с повышением 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 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 увеличения контраста аномалий измеряемого сигнала.

Задачи

1. Теоретическое обоснование применения сейсмоэлектрического каротажа в нефтяных скважинах для решения геологических и технических задач.
2. Разработка новых способов и аппаратуры сейсмоэлектрического каротажа и обоснование целесообразности их применения.
3. Выявление влияния применения акустического воздействия на исследуемое околоскважинное пространство.
4. Выявление влияния применения в глубинном скважинном приборе в качестве чувствительного элемента мегаэлектродного блока.

Объект и предмет исследования

Объектом исследования послужил метод сейсмоэлектрического каротажа.

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

Научная новизна

1. Разработан аппаратурно-методический комплекс сейсмоэлектрического каротажа, обеспечивающий повышение информативности метода потенциалов самопроизвольной поляризации 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.

7. Получены новые данные о литологии и качестве перфорации нефтяных скважин.

Теоретическая и практическая значимость работы

Основные положения работы расширяют теоретическую базу сейсмоэлектрических явлений в нефтяных скважинах и формируют направления совершенствования существующих и создания новых геофизических методов и устройств.

Разработанный аппаратурно-методический комплекс сейсмоэлектрического каротажа, реализующий многоэлектродную методику измерений параметра разности электрических потенциалов, повышает информативность геофизических исследований методом ПС и позволяет повысить качество:

1. Литологического расчленения исследуемых геологических разрезов скважин.

2. Определения границ интервалов и качества 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 низкого контраста аномалий. 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 контраст аномалий потенциалов самопроизвольной поляризации, увеличивая информативность исследований.

2. Разработанный мегаэлектродный блок увеличивает информативность каротажа в открытом стволе и в обсаженных скважинах в условиях нефтяных месторождений Оренбургской области.

3. Разработанный аппаратно-методический комплекс сейсмoeлектрического каротажа, одновременно реализующий акустическое воздействие на околоскважинное пространство и использующий мегаэлектродный блок, расширяет область применения и возможности метода потенциалов самопроизвольной поляризации при литологическом расчленении геологических разрезов скважин и при определении границ интервалов и качества перфорации обсадных колонн.

Степень достоверности и апробация результатов работы

Достоверность и обоснованность выводов, научных положений, технических решений и рекомендаций подтверждена использованием значительного объема результатов теоретических, лабораторных, полевых и скважинных исследований, апробацией и публикациями, а также внедрением в практическую область промышленной геофизики. Аппаратно-методический комплекс сейсмoeлектрического каротажа опробован на нефтяных месторождениях 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 и 2 патента на полезную модель.

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 сейсмoeлектрических явлений в скважинах, разработке методов, аппаратуры и методик каротажных исследований, получение патентов и подготовку публикаций по обоснованию применения и разработке аппаратурно-методического комплекса сейсмoeлектрического каротажа. Автор лично участвовал в проведении скважинных исследований и внедрении комплекса сейсмoeлектрического каротажа на нефтяных месторождениях Оренбургской области.

При разработке комплекса автор опирался на основополагающие работы С. С. Итенберга, А. Г. Талалая, И. Г. Сковородникова, 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. Кампилина, П. А. Казначеева 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 89 наименования. Работа изложена на 140 страницах машинописного текста, содержит 28 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 ВО «Уральский государственный горный университет», профессору Александру Григорьевичу Талалаю за всестороннюю помощь 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. Шинкарюк, Г. В. Иголкиной, П. А. Казначеева, С. А. Тихоцкого и др. Всем перечисленным коллегам автор выражает признательность и благодарит за оказанное содействие.

Автор благодарит своих коллег по ООО «Оренбурггеопроект», г. Оренбург, ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, ФГБУН «Институт физики Земли им О. Ю. Шмидта» Российской академии наук, г. Москва, оказавшим помощь при выполнении настоящего диссертационного исследования, а также принимавшим участие в обсуждении его результатов, за их ценные советы, замечания и рекомендации по теме работы, за их содействие, специалистов геофизических производственных предприятий ООО «ГИРС-сервис», Межрегиональной общественной организации «Евро-Азиатское геофизическое общество», ООО «Оренбурггеофизика», ООО «Оренбургнефтегеофизика», ЗАО «Восток-Урал-Нефть», 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 содействие и внимание.

Также автор выражает глубокую признательность доктору геолого-минералогических наук, профессору И. Г. Сковородникову 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 диссертации, обозначены цель, задачи, объект и предмет исследования, сформулированы основные защищаемые положения, научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов работы.

В **первой главе «Современное состояние изученности сейсмоэлектрического эффекта»** приведен литературный обзор по результатам изучения сейсмоэлектрических явлений в горных породах.

Приведены краткие сведения о теоретических, лабораторных, полевых и скважинных исследованиях сейсмоэлектрического эффекта, по результатам которых 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 породу раствора, температуры, частоты, мощности акустического воздействия и др.

В результате обобщения рассмотренного в обзоре литературных источников материала по результатам теоретических, лабораторных, полевых и скважинных исследований сейсмоэлектрического эффекта, выполненных с момента его обнаружения рядом русских и зарубежных ученых, можно выделить следующие основные аспекты возникновения сейсмоэлектрического эффекта в горных породах и влияние на его величину и характер особенностей акустического воздействия, строения и состояния геологической среды и других факторов:

- при воздействии упругим полем на пористые насыщенные горные породы в них возникает сейсмоэлектрический эффект: происходит увеличение их электропроводности (эффект I), а также возникновение в них вторичного электрического поля (эффект E);

- возникновение сейсмоэлектрического эффекта в горных породах происходит за счет преобразования энергии переменного упругого поля в электрическое, при этом на его параметры влияет дополнительное акустическое поле (двойное обратное влияние);

- электрическое поле, образующее сейсмоэлектрический эффект в определенном объеме горных пород, вызванное акустическим воздействием, сопровождается изменением давления в направлении распространения упругих волн;

- объем горных пород, в котором возникает сейсмоэлектрический эффект,

определяется геологическим строением исследуемого разреза, частотным диапазоном сейсмического возбуждения и частотным диапазоном регистрации сейсмоэлектрического эффекта;

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

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

- с увеличением водонасыщенности горной породы величина сейсмоэлектрического эффекта возрастает;

- 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 за счет изменения структуры 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 при его регистрации;

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

Исходя из основных аспектов возникновения сейсмоэлектрического эффекта в горных породах и влияния на его величину и характер особенностей акустического воздействия, строения и состояния геологической среды и других факторов сделан вывод о том, что сейсмоэлектрический эффект может быть эффективно применен в нефтепромысловой геофизике.

Подчеркнута недостаточная изученность области сейсмоэлектрического каротажа, обусловленная необходимостью расширения спектра исследований для решения задач, связанных с повышением информативности, расширения

области применения и возможностей метода потенциалов собственной поляризации за счет акустического воздействия на околоскважинное пространство.

Предложено применение акустического воздействия при измерениях методом ПС для решения ряда геологических и технических задач при литологическом расчленении геологических разрезов скважин в открытом стволе и при определении интервалов и качества перфорации обсадных эксплуатационных колонн в обсаженных скважинах для увеличения точности и детальности исследований.

Во второй главе **«Метод потенциалов собственной поляризации»** представлены основные теоретические положения возникновения естественных электрических полей в нефтяных и газовых скважинах. Отражены основные причины и принципы возникновения диффузионно-адсорбционных, фильтрационных и окислительно-восстановительных электрических полей в скважинах. Освещены особенности естественных геоэлектрических полей в карбонатных разрезах скважин. Приведены схема измерительной установки регистрации параметра естественного электрического поля и примеры каротажных диаграмм ПС. Описаны основные аспекты качественной и количественной интерпретации диаграмм ПС.

Выявлен ряд недостатков метода ПС. Подчеркнута слабая эффективность применения метода потенциалов собственной поляризации в карбонатных разрезах скважин в связи с низкой информативностью.

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.

Приведена схема измерительной установки сейсмоэлектрического каротажа.

Описаны основные аспекты качественной интерпретации данных сейсмоэлектрического каротажа: литологическое расчленение исследуемого геологического разреза (определение мощности пластов и их границ), определение интервала перфорации и качества прострела обсадной колонны.

Отмечено 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.

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 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.

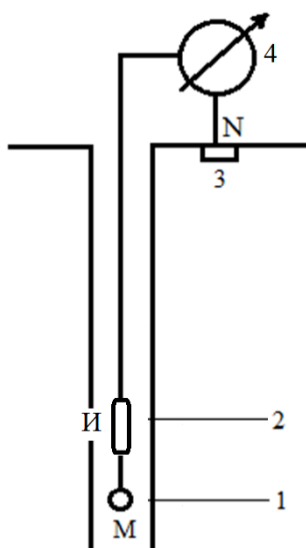


Рисунок 1 – Схема регистрации диаграмм сейсмоэлектрического каротажа.

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

При сейсмоэлектрическом каротаже измеряется параметр электрического поля $U'_{ПС}$ при акустическом воздействии на зону исследования, включающий в себя составляющие естественных электрических полей и потенциалов акустически вызванной поляризации (сейсмоэлектрических потенциалов). Регистрация диаграмм $U'_{ПС}$ производится аналогично методу потенциалов самопроизвольной поляризации путем замера параметра разности 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 магнитострикционного 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 повышает контраст аномалий кривой $U'_{\text{ПС}}$. Акустическое воздействие производится непрерывно на всем протяжении измерения ПС. Интерпретация результатов сейсмoeлектрического 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 сейсмoeлектрического 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 сейсмoeлектрического 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 контраст аномалий потенциалов самопроизвольной поляризации, увеличивая информативность исследований, что обосновывает первое защищаемое положение.

В четвертой главе «Методология применения сейсмоэлектрического каротажа на нефтяных месторождениях Оренбургского региона» приведено описание и принцип работы аппаратно-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 перфорации эксплуатационных колонн в обсаженных скважинах.

Подтверждена эффективность применения аппаратно-методического комплекса сейсмоэлектрического каротажа.

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 в качестве первичного измерительного преобразователя в глубинном скважинном приборе, состоящий из группы выносных измерительных неполяризуемых 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.

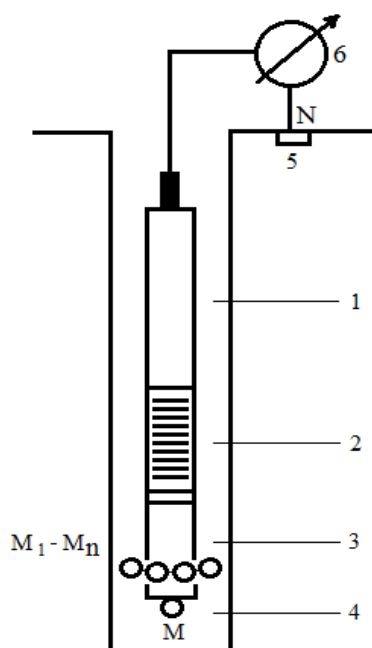


Рисунок 2 – Схема измерительной установки сейсмоэлектрического каротажа.

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

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 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 сейсмоэлектрических исследований, проведенных на нефтяных месторождениях Оренбургской области в открытом стволе и в обсаженных скважинах.

Исследования в открытом стволе

На рис. 3 представлены результаты литологического расчленения геологического разреза скважины по диаграммам ПС, записанным: одним центральным измерительным электродом М (а) и мегаэлектродным блоком (б).

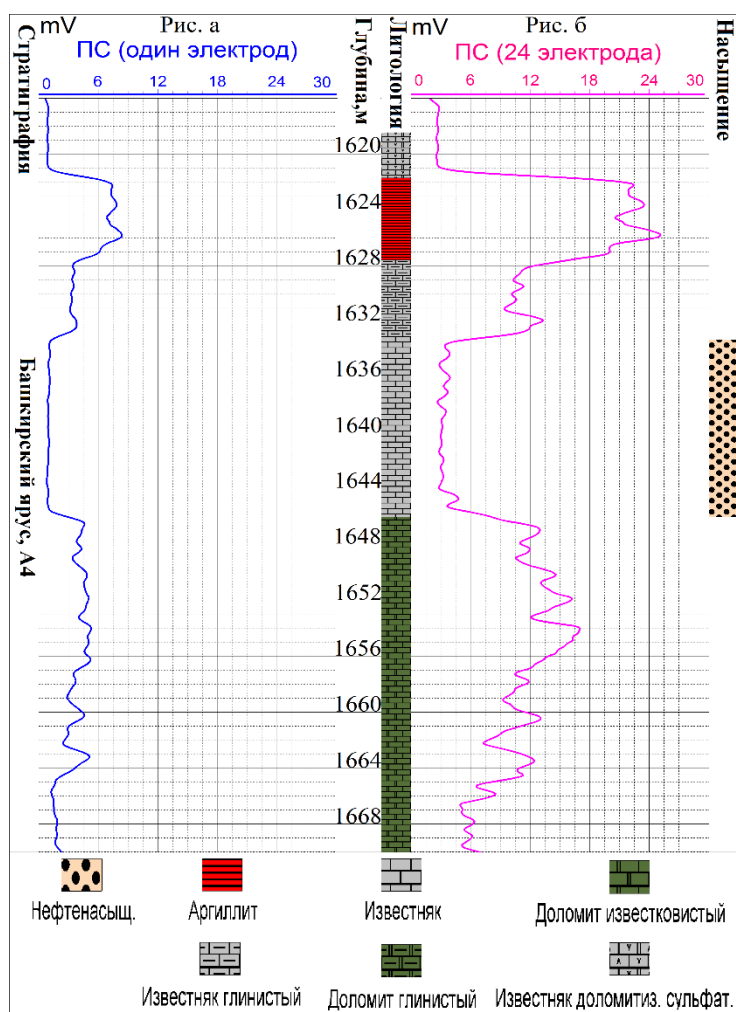


Рисунок 3 – Результаты литологического расчленения геологического разреза скважины по диаграммам ПС

а – запись одним измерительным электродом; б – запись при помощи мегаэлектродного блока

Из рисунка 3 видно, что применение в глубинном приборе мегаэлектродного блока в качестве первичного измерительного преобразователя вызывает увеличение контраста аномалий регистрируемого параметра. В данном

случае на диаграмме, полученной при записи группой измерительных электродов более детально отбиваются границы пластов, просматриваются дополнительные приращения относительно фонового замера ПС.

Дополнительные приращения аномалий на диаграмме при использовании мегаэлектродного блока связаны с наличием на границах горной породы и скважинной жидкости электрических 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 в рамках 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 контраста аномалий 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 контраста аномалий 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 контраста аномалий 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.

Из рисунка 4 следует, что с увеличением частоты акустического воздействия на исследуемый объект наблюдается увеличение контраста аномалий регистрируемого параметра.

Увеличение контраста аномалий связано с дополнительными электрическими потенциалами, образующимися при акустическом воздействии на околоскважинное пространство.

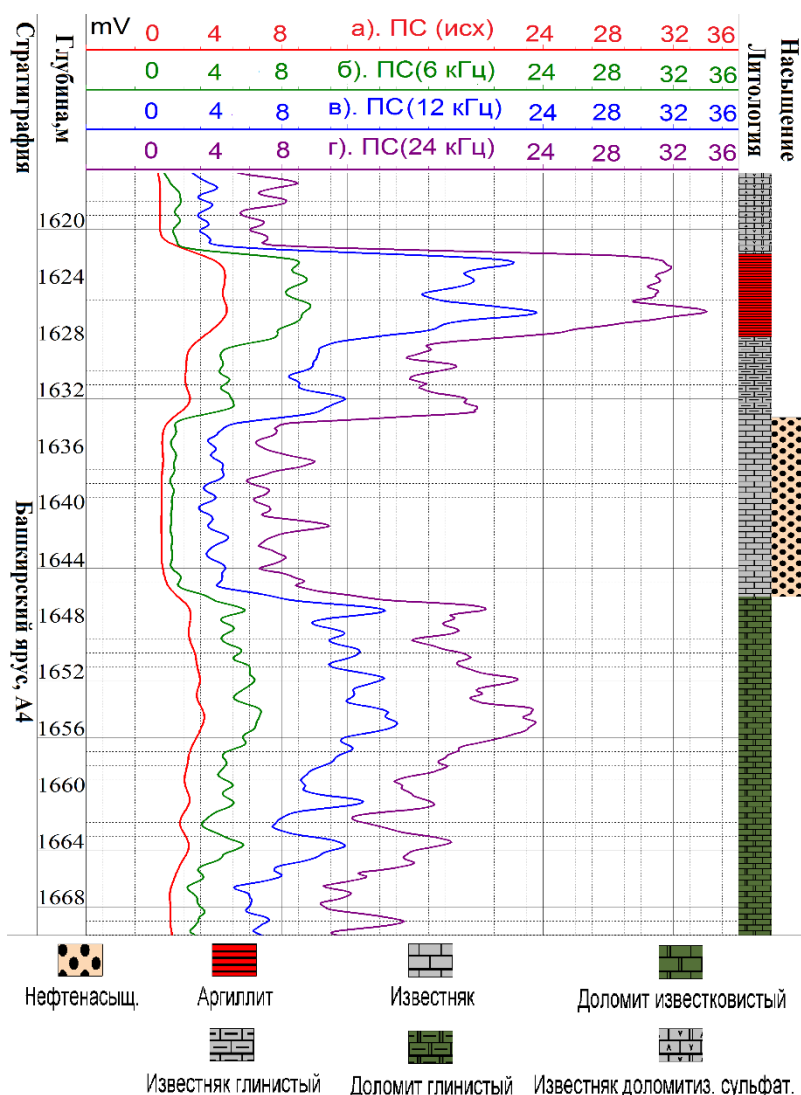


Рисунок 4 – Результаты литологического расчленения геологического разреза по диаграммам сейсмoeлектрического каротажа на различных частотах акустического воздействия. а – фоновый замер; б – диаграмма, полученная при акустическом воздействии частотой 6 кГц; в – диаграмма, полученная при акустическом воздействии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

Дополнительные электрические потенциалы возникают в пористой флюидонасыщенной среде при воздействии на нее упругими волнами за счет сейсмoeлектрического эффекта I, приводящего к увеличению её электропроводности и сейсмoeлектрического эффекта E, вызывающего

вторичное электрическое поле. За счет суммарного проявления этих явлений происходит возникновение дополнительных электрических потенциалов. При этом необходимо также учитывать взаимное влияние электрического и упругого полей.

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 сейсмоэлектрического каротажа.

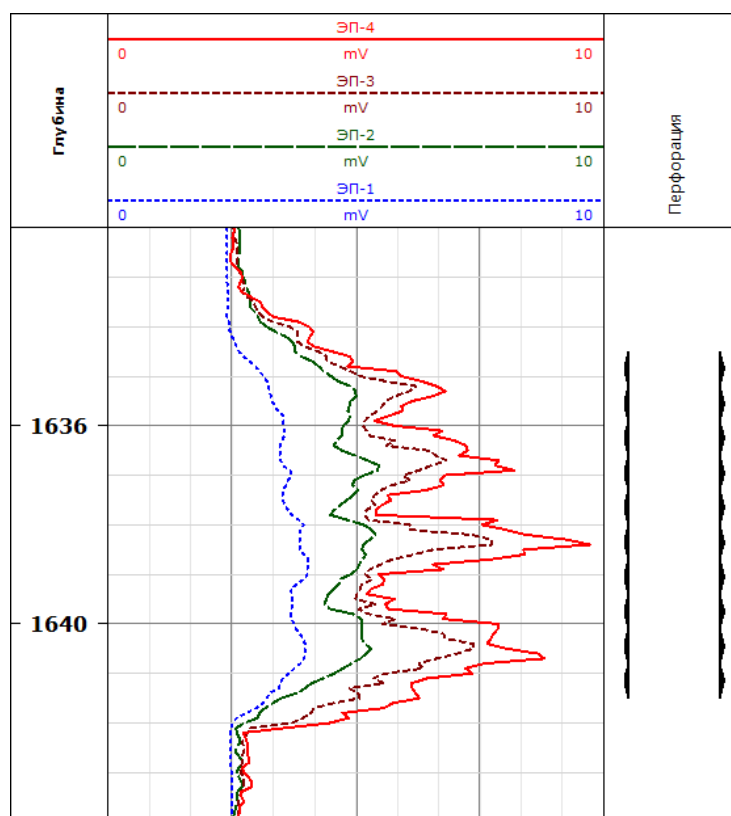


Рисунок 5 – Результаты определения интервала и качества перфорации эксплуатационной колонны в нефтяной скважине по диаграммам сейсмоэлектрического каротажа. ЭП-1 – фоновая запись одним измерительным электродом; ЭП-2 – запись с применением мегаэлектродного блока; ЭП-3 – запись одним измерительным электродом при акустическом воздействии; ЭП-4 – запись с применением мегаэлектродного блока при акустическом воздействии

По фоновой диаграмме ЭП-1 невозможно с высокой точностью определить границы интервала перфорации и качество проведенных прострелочно-взрывных работ из-за низкого контраста аномалий измеряемого параметра, в связи с этим по диаграмме ЭП-1 осуществляется предварительное определение границ интервала перфорации и оценка степени гидродинамической сообщаемости вскрытого продуктивного интервала с внутренней полостью колонны.

Диаграмма ЭП-1 отображает границы интервала перфорации, определяемые по правилу полумаксимума амплитуды аномалии регистрируемого сигнала, участки прострела в исследуемом интервале перфорации выделяются слабыми отклонениями.

Диаграмма ЭП-2 подтверждает эффективность применения мегаэлектродного блока и демонстрирует, что его использование вызывает увеличение контраста аномалий измеряемого параметра относительно фоновой записи, что позволяет с более высокой точностью и объективностью судить о степени гидродинамической сообщаемости пласта с внутренней полостью обсадной колонны. На диаграмме ЭП-2 более детально отбиваются границы интервала перфорации, просматриваются дополнительные приращения в местах прострела относительно фонового замера.

Повышение контраста аномалий на диаграмме ЭП-2 связано 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 по центру скважины. Применение мегаэлектродного блока в скважинном приборе повышает степень контакта чувствительного элемента с исследуемой средой.

Диаграмма ЭП-3 демонстрирует, что акустическое воздействие на исследуемый интервал перфорации вызывает увеличение контраста аномалий измеряемого параметра по сравнению с двумя предыдущими замерами, что позволяет с более высокой точностью и достоверностью судить о степени гидродинамической сообщаемости нефтенасыщенного пласта с внутренней полостью обсадной колонны и более точно определять границы интервала перфорации. На диаграмме ЭП-3 более детально выделяются границы интервала перфорации, просматриваются дополнительные приращения в местах прострела

относительно предыдущих замеров.

Увеличение контраста аномалий на диаграмме ЭП-3 связано с дополнительными электрическими потенциалами, образующимися в исследуемой среде при воздействии на нее упругими волнами за счет суммарного проявления сейсмоэлектрического эффекта I , приводящего к увеличению её электропроводности и сейсмоэлектрического эффекта E , вызывающего вторичное электрическое поле. При этом необходимо также учитывать взаимное влияние электрического и упругого полей. На параметры вторичного электрического поля оказывает влияние дополнительное акустическое поле, при этом вторичное электрическое поле влияет на упругое.

Диаграмма ЭП-4 указывает на то, что применение акустического воздействия и мегаэлектродного блока вызывает увеличение контраста аномалий регистрируемого сигнала по отношению к трем предыдущим замерам, что позволяет с еще более высокой точностью и достоверностью судить о степени гидродинамической сообщаемости пласта с внутренней полостью обсадной колонны. На диаграмме ЭП-4 более детально отбиваются границы зон перфорации, просматриваются дополнительные приращения в местах прострела относительно трех предыдущих диаграмм.

Увеличение контраста аномалий регистрируемого параметра связано, во-первых, с увеличением степени контакта чувствительного элемента глубинного прибора с исследуемой средой за счет применения мегаэлектродного блока, во-вторых с возникновением дополнительных электрических потенциалов, образующихся в исследуемой среде за счет сейсмоэлектрических явлений.

Результаты проведенных в работе скважинных исследований свидетельствуют о том, что разработанный мегаэлектродный блок увеличивает информативность каротажа в открытом стволе и в обсаженных скважинах в условиях нефтяных месторождений Оренбургской области, а разработанный аппаратно-методический комплекс сейсмоэлектрического каротажа, одновременно реализующий акустическое воздействие на околоскважинное пространство и использующий мегаэлектродный блок, расширяет область применения и возможности метода потенциалов самопроизвольной поляризации при литологическом расчленении геологических разрезов скважин и при определении границ интервалов и качества перфорации обсадных колонн 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 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 интервалов и качества перфорации.

Подтверждена эффективность применения акустического воздействия на околоскважинное пространство и использование в качестве первичного измерительного преобразователя в глубинном приборе мегаэлектродного блока 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. Акустическое воздействие на околоскважинное пространство повышает контраст аномалий потенциалов самопроизвольной поляризации, увеличивая информативность исследований.

2. Разработанный мегаэлектродный блок увеличивает степень контакта с исследуемой средой по окружности скважины и повышает контраст аномалий потенциалов самопроизвольной поляризации, увеличивая информативность исследований.

3. Предложенный аппаратурно-методический комплекс сейсмoeлектрического каротажа обеспечивает повышение информативности метода потенциалов собственной поляризации в открытом стволе и в обсаженных скважинах.

Применение аппаратурно-методического комплекса сейсмoeлектрического каротажа имеет существенное практическое значение при литологическом расчленении карбонатных разрезов скважин, так как в таких разрезах диаграммы потенциалов самопроизвольной поляризации являются малоинформативными из-за низкого контраста аномалий.

Комплекс эффективно может быть использован при исследовании интервалов слабопроницаемых продуктивных пластов и пластов, насыщенных высоковязкими углеводородами, так как в таких пластах диаграммы потенциалов самопроизвольной поляризации являются также малоинформативными из-за низкого контраста аномалий.

Аппаратурно-методический комплекс сейсмoeлектрического 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:

Сейсмoeлектрический 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 сейсмoeлектрических явлений в нефтяных и газовых скважинах, а также при разработке новых геофизических методов и устройств.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в журналах из перечня ВАК РФ:

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.

Патенты:

1. Марков В. А., Масленников В. И., Чердынцев С. Н. Патент на изобретение РФ № 2298648 E21B 47/10. Способ определения интервала и качества перфорации обсадной колонны в скважине. Патентообладатель ООО «Оренбурггеофизика». 2007.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

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

Материалы и тезисы докладов на конференциях:

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. Чердынцев С. Н. Повышение информативности сейсмoeлектрического 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.

6. Талалай А. Г., Чердынцев С. Н. / А. Г. Талалай, С. Н. Чердынцев / Применение мегаэлектродного сейсмoeлектрического 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 «2 » декабря 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. E-mail: serg@tigra-press.ru