

*На правах рукописи*



**Исламгалиев Дмитрий Владимирович**

**МЕТОД СПОНТАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ С УЧЕТОМ  
ПЕРЕКРЕСТНЫХ И ПАРНЫХ ЭФФЕКТОВ ПОЛЕЙ В  
НЕОДНОРОДНЫХ СРЕДАХ ПРИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ  
КАРОТАЖА СКВАЖИН**

Специальность 1.6.9 – Геофизика

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Пермь 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Уральский государственный горный университет» (ФГБОУ ВО УГГУ)

**Научный руководитель:** **Ратушняк Александр Николаевич**, кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией электрометрии ФГБУН Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН

**Официальные оппоненты:** **Ельцов Игорь Николаевич**, доктор технических наук, профессор, заместитель директора по науке Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск;

**Титов Константин Владиславович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой геофизики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург.

**Ведущая организация:** Общество с ограниченной ответственностью «Нефтегазгеофизика» (ООО «Нефтегазгеофизика»), г. Тверь.

Защита состоится 10 июня 2025 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета диссертационного совета 24.2.358.01 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет».

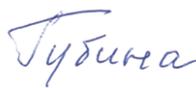
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет» и на сайте университета [www.psu.ru](http://www.psu.ru).

Отзыв на автореферат, заверенный печатью, в двух экземплярах направлять по адресу: 614990, г. Пермь, ул. Букирева 15, ПГНИУ, ученому секретарю диссертационного совета Губиной Августе Ивановне.

Тел: +79519321781, e-mail: dissovet.geophys@psu.ru.

Автореферат диссертации разослан « \_\_\_\_ » апреля 2025 г.

Ученый секретарь диссертационного совета 24.2.358.01,  
доктор геолого-минералогических наук

 Губина Августа Ивановна

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность темы исследований.** Метод спонтанной поляризации или метод потенциалов собственной поляризации (ПС) является одним из старейших и основных геофизических методов каротажа, применяемый для изучения геологического строения пород, пройденных геологоразведочными скважинами. Широкое производственное применение метода началось еще в первой трети прошлого века после экспериментов, проведенных братьями Шлюмберже и советским ученым Итенбергом С.С. на нефтяных месторождениях Чечни на Северном Кавказе.

Метод ПС прост и эффективен для выделения пластов-коллекторов нефти и газа. Потенциал ПС – это измерения разности потенциалов между электродами, один из которых является неподвижным и находится около устья скважины, а второй – перемещается по стволу скважины (Дахнов В. Н., 1981 и др.). Производственная эффективность метода ПС может существенно увеличиться благодаря разработанной в последнее время фундаментальной физико-химической теории, позволяющей усовершенствовать интерпретацию метода ПС (Кормильцев В. В., 2007). Изменение величины потенциала ПС связано с фундаментальными положениями физики поверхностных явлений, физической и коллоидной химии (Кормильцев В. В., 2007), так как возникает нарушение электрической нейтральности раствора в пористой среде вследствие неспецифической адсорбции твердой фазой ионов одного знака из жидкой фазы.

При поисках и разведке нефтегазовых месторождений ведущая роль отводится геолого-геофизической интерпретации результатов исследований скважин для получения достоверной информации о запасах. В связи с этим актуальным направлением является повышение эффективности геофизических исследований путем развития физико-теоретических исследований основ методов каротажа, а также разработки и применения новых технологий обработки данных и их интерпретации.

### **Степень разработанности темы исследований**

Исследованиями в области геофизических исследований скважин (ГИС), и, в частности, теории метода ПС занимались как отечественные так и зарубежные ученые: Абрикосов А. И., Астраханцев Ю. Г., Белов С. В., Вендельштейн Б. Ю., Губина А. И, Иванов В. Т., Иголкина Г. В., Дахнов В. Н., Ельцов И. Н., Итенберг С. С., Квинке Г., Колесников В. П., Колосов А. Л., Кормильцев В. В., Кузьмичев О. Б., Мамяшев В. Г, Некрасов А. С., Ратушняк А. Н., Савич А. Д, Светов Б. С., Сквородников И. Г., Снежко О. М., Сурнев В. Б., Теплухин В. К., Титов К. В., Ревил А., Фрумкин А. Н., Шеин Ю. Л., Шумилов А. В, Эпов М. И. и другие ученые.

До настоящего времени применительно к скважинным измерениям методом ПС теоретически и экспериментально широко исследовался эффект электрического поля адсорбции. В настоящей работе даны оценки численных

величин поля адсорбции, диффузии и течения в геологической среде и их вклад в измеряемый суммарный электрический потенциал.

**Цель исследований:** уточнение результатов интерпретации каротажа скважин методом спонтанной поляризации с учетом перекрестных и парных полей в неоднородных средах для определения фильтрационно-емкостных свойств и удельной поверхности горных пород.

#### **Задачи исследований**

Разработать и программно реализовать общую алгоритмическую основу для определения фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) горных пород по данным каротажа методом спонтанной поляризации.

Использовать уравнение потенциала адсорбции, создаваемым двойным электрическим слоем, на границе твердое тело–жидкость с учетом физико-геометрических и электрохимических параметров среды (таких как вязкость, удельная электропроводность и адсорбция).

Рассчитать электрическое поле 3D-неоднородных моделей для перекрестных и парных эффектов потенциальных полей, описывающих случаи электрических полей течения и диффузии, в том числе для диффузии при дополнительном конвективном переносе.

#### **Научная новизна**

1. Разработана программа для ЭВМ, реализующая алгоритм численного решения методом осреднения функциональных поправок для прямой задачи расчета электрического потенциала, создаваемого двойным слоем в неоднородной среде с цилиндрической симметрией.

2. Разработаны вычислительные программы, реализующие метод конечных разностей для численного решения систем интегральных уравнений Фредгольма.

3. Выполнено математическое моделирование для перекрестных и парных потенциальных полей применительно к изучению электрического поля эффектов адсорбции, диффузии и течения флюида.

#### **Теоретическая и практическая значимость**

1. Разработана электронная палетка определения поправочного коэффициента (программный комплекс «Paletka\_PS») для перехода от значений измеренного электрического потенциала спонтанной поляризации ПС на оси скважины напротив пласта-коллектора к истинной величине адсорбционного потенциала пород.

2. Созданы программные комплексы для ЭВМ для проведения математического моделирования парных и перекрестных эффектов потенциальных полей применительно к каротажу методом ПС: «PS-C», «PS-F», «PS-DT», «PS-DK» и «PS-D», «SP-AT».

Выполненные исследования соответствуют современному уровню развития теории и практики прикладной геофизики, а созданные программные комплексы могут применяться для интерпретации материалов скважинных геофизических исследований методом спонтанной поляризации.

**Методология и методы исследования.** Методологической основой проведенных исследований послужили принципы классической теории поля, геомеханики и коллоидной химии. Методы исследования заимствованы из математической физики: теория дифференциальных уравнений в частных производных, теория обобщенных функций, теория интегральных уравнений и методы их численного решения.

**Положения, выносимые на защиту**

1. Разработана и программно реализована математическая модель электрического поля адсорбции в виде плотности функции Лагранжа в методе спонтанной поляризации.
2. Предложен и реализован способ восстановления собственного адсорбционного потенциала горных пород по измеренному в скважинах потенциалу электрического поля спонтанной поляризации с учетом парных и перекрестных эффектов полей адсорбции, диффузии и течения.
3. Разработаны программные комплексы для моделирования прямых задач расчета потенциала спонтанной поляризации на оси скважины, позволяющие определить вклад в электрическое поле адсорбции от парных и перекрестных эффектов электрических полей диффузии и течения.

**Достоверность.** Сопоставление результатов численного моделирования, основанных на методах решения интегральных уравнений, не противоречат результатам других методов расчета.

Часть работы проводилась по договору между ИГф УрО РАН с ООО «КогалымНИПИнефть» № 253.08.210-3 2009 г. на тему: «Разработка методики оценки фильтрационно–емкостных свойств пород с использованием лабораторных измерений диффузионно-адсорбционного потенциала на образцах керна горных пород», где автор диссертации принимал участие со стороны ИГф УрО РАН.

В настоящее время программный комплекс «SP-AT» используется ООО «Радо» для интерпретации данных каротажа методом спонтанной поляризации.

**Личный вклад автора.** Работа подготовлена по результатам изучения потенциальных полей, выполненных в период с 2009 по 2023 год.

Автором выполнена разработка и создание программных комплексов с использованием различных численных методов решения систем интегральных уравнений.

Численные эксперименты, выполненные для интерпретации данных каротажа методом спонтанной поляризации, проведены автором под руководством научного руководителя к.т.н. А. Н. Ратушняка.

**Публикации.** Основные результаты исследований отражены в 30 научных работах, в том числе 5 – в рецензируемых научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией, одна – в научном журнале библиографической и реферативной базе данных Scopus и 24 работы в журналах РИНЦ. Получено 7 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

### **Апробация работы**

Результаты работы докладывались и обсуждались на:

- Международном научно-промышленном симпозиуме «Уральская горная школа – регионам» (УГГУ, 12-21 апреля 2010);
- XII Уральской молодежной научной школе по геофизике (Пермь, ГИ УрО РАН, 21-25 марта 2011);
- Международной научно-промышленной конференции «Уральская горная школа – регионам» (Екатеринбург, УГГУ, 4-13 апреля 2011);
- Шестых научных чтениях Ю.П. Булашевича. «Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей», (Екатеринбург, ИГФ УрО РАН, 12-17 сентября 2011);
- II Международном симпозиуме «Геофизика XXI века» (Екатеринбург, УГГУ, 24-25 ноября 2011);
- Международной научно-промышленной конференции «Уральская горная школа – регионам» (Екатеринбург, УГГУ, 16-25 апреля 2012);
- XIII Уральской молодежной научной школе по геофизике (Екатеринбург, ИГФ УрО РАН, 23-27 апреля 2012);
- XIV Уральской молодежной научной школе по геофизике (Екатеринбург, ИГФ УрО РАН, 18-22 марта 2013);
- IX Международной научно-практической конкурс-конференции молодых специалистов «ГЕОФИЗИКА-2013» (Санкт-Петербург, СПбГУ, 7-11 октября 2013);
- X Всероссийская научная конференция с международным участием (Самара, СамГТУ, 25-27 мая 2016);
- XVIII Уральской молодежной научной школе по геофизике (Пермь, ГИ УрО РАН, 14-18 марта 2017);
- Международной научно-промышленной конференции «Уральская горная школа – регионам» (Екатеринбург, УГГУ, 9-18 апреля 2018).
- XX Уральской молодежной научной школе по геофизике (Пермь, ГИ УрО РАН, 18-22 марта 2019);
- XIX Международной научно-промышленной конференции «Уральская горная школа – регионам» (Екатеринбург, УГГУ, 24-25 мая 2021).
- XI научных чтениях Ю.П. Булашевича. «Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей», (Екатеринбург, ИГФ УрО РАН, 20-24 сентября 2021);
- XXIII Уральской молодежной научной школе по геофизике (Екатеринбург, ИГФ УрО РАН, 21-25 марта 2022);
- XX Всероссийской научно-промышленной конференции «Уральская горная школа – регионам» (Екатеринбург, УГГУ, 11-12 апреля 2022);
- 49 сессия Международного семинара им. Д.Г. Успенского - В.Н. Страхова. Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей (Екатеринбург, ИГФ УрО РАН, УГГУ, 23-27 января 2023);
- XXIV Уральской молодежной научной школе по геофизике (Пермь, ГИ

УрО РАН, 20-24 марта 2023);

- XXI Всероссийской научно-промышленной конференции «Уральская горная школа – регионам» (Екатеринбург, УГГУ, 10-11 апреля 2023).

**Структура и объём работы.** Диссертационная работа состоит из оглавления, введения, четырех глав, заключения, приложения и списка литературы из 186 наименований. Диссертация изложена на 139 страницах машинописного текста, содержит 24 рисунка и 17 таблиц.

**Благодарности.** Автор благодарит научного руководителя кандидата технических наук, заведующего лабораторией электрометрии Института геофизики УрО РАН Ратушняка Александра Николаевича за неоценимую всестороннюю помощь, поддержку, советы и ценные замечания. Автор выражает признательность профессору, доктору физико-математических наук, заведующему кафедрой математики Уральского государственного горного университета Сурневу Виктору Борисовичу за проведение совместных исследований при построении математической модели генерации электрического поля.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В первой главе** диссертации рассмотрен потенциал спонтанной поляризации (ПС) в скважине и окружающих породах, который обязан трем эффектам: – электрическому полю двойного слоя, возникающего в порах пород за счет адсорбции ионов разного знака на границе твердой и жидкой фаз; – электрическому полю, возникающего при диффузии растворов солей различной концентрации во флюиде, заполняющем поры горных пород и в буровом растворе (промывочной жидкости); – электрическому полю, возникающего при фильтрации флюидов из проницаемых пород в скважину при положительном дебите, возникающем за счет превышения литостатического давления горных пород над гидростатическим давлением. Приведен обзор методов вычисления электрического потенциала ПС на оси скважины в среде, неоднородной по электрическим свойствам, от двойного слоя зарядов, возникающих за счет адсорбции. Рассмотрены такие физико-химические характеристики как вязкость, удельная поверхность и радиус ионов, оказывающие влияние на измеряемый потенциал спонтанной поляризации. Приведен обзор применяемых буровых растворов и дан анализ их физических свойств. Выполнен переход от условной вязкости к кинематической и динамической вязкостям, пользуясь действующими ГОСТами.

**Во второй главе** описано, как с использованием общих принципов теории поля, геомеханики и коллоидной химии построена математическая модель, позволяющая определить величину адсорбционного потенциала на оси скважины. Электрический потенциал адсорбции складывается из потенциала, создаваемого источником в виде двойного слоя зарядов в однородной проводящей среде и аномального потенциала за счет перераспределения электрического поля в среде, неоднородной по удельному сопротивлению. Описаны интегральные уравнения и формулы для парных и перекрестных эффектов потенциальных полей (электрического поля течения и диффузии) в неоднород-

ной по физическим свойствам среде с использованием цилиндрической симметрии для дальнейшего их решения. Создана электронная палетка вычисления поправочного коэффициента (программный комплекс «Paletka\_PS») для перехода от значений измеренного электрического потенциала спонтанной поляризации ПС на оси скважины напротив пласта-коллектора к истинной величине адсорбционного потенциала пород. Расчет поправки построен на основе многомерной интерполяционной формулы Лагранжа.

**В третьей главе** описан алгоритм решения систем интегральных уравнений методами осреднения функциональных поправок или исключения Гаусса для градиентов потенциалов полей, включая случаи парных и перекрестных эффектов, размерностью  $2N \times 2N$ . Приведен дискретный вид интегральных формул для расчетов потенциалов электрических полей в неоднородной среде.

**В четвертой главе** представлены результаты математического моделирования с помощью различных программных комплексов, зарегистрированных в государственном реестре программ для ЭВМ. В стационарном состоянии, используя уравнение потенциала адсорбции для двойного электрического слоя на границе твердое тело–жидкость с учетом физико-геометрических и электрохимических параметров среды, выполнено теоретическое моделирование и приведены расчетные кривые потенциала. Величины электрических потенциалов диффузии и фильтрации могут вносить заметный дополнительный вклад в измеряемый потенциал спонтанной поляризации, и необходим их учет для более точного определения величины собственного адсорбционного потенциала пласта-коллектора при определении его фильтрационно-емкостных параметров. Сопоставлены результаты электрического потенциала адсорбции, диффузии и фильтрации на середине пласта-коллектора при решении систем интегральных уравнений методом осреднения функциональных поправок и методом исключения Гаусса. Более точный результат расчета потенциала ПС получается при использовании метода осреднения функциональных поправок.

## **ПЕРВОЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ**

*Разработана и программно реализована математическая модель электрического поля адсорбции в виде плотности функции Лагранжа в методе спонтанной поляризации.*

Для нахождения адсорбционного потенциала для модели «твердое тело – жидкая фаза» воспользуемся математическим аппаратом в виде плотности функции Лагранжа, который позволит получить дифференциальное уравнение для потенциала нестационарной адсорбции, зависящей от времени и координат пространства. В общем виде плотность функции Лагранжа представляется в виде разности плотностей кинетической и потенциальной энергии электрического поля [5]

$$\Lambda = w_k - w_p, \quad (1)$$

где  $w_k = \frac{1}{2} \alpha v^2$  – плотность кинетической энергии адсорбата (движущихся анионов, катионов и молекул со средней скоростью  $v$ ), моль/(м·с<sup>2</sup>);

$\alpha = \frac{\bar{\rho}}{M}$  – молярный объем анионов, катионов и молекул, моль/м<sup>3</sup>;

$\bar{\rho}$  – плотность анионов, катионов и молекул, кг/м<sup>3</sup>;

$M$  – молярная масса анионов, катионов и молекул, кг/моль;

$w_p = \frac{1}{2\alpha} q^2$  – плотность потенциальной энергии перемещения адсорбата (ионов, катионов и молекул), моль/(м·с<sup>2</sup>).

Используя обобщённый вариант основной леммы вариационного исчисления (леммы Лагранжа), приходим к уравнению нестационарной адсорбции [5]

$$\alpha \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{q}{\alpha} \operatorname{div}(nW \operatorname{grad} A) = 0, \quad (2)$$

а потенциал двойного слоя [26] в стационарном состоянии для метода спонтанной поляризации (ПС) можно записать в виде [5]:

$$U_{\text{адс}} = \pm F \left( \frac{n_{nl} z_{nl} W_{nl} A_{nl}}{\sigma_{nl}} - \frac{n_{np} z_{np} W_{np} A_{np}}{\sigma_{np}} \right), \quad (3)$$

$$n_{nl} = \frac{u_{nl}}{u_{nl} + u_{np}}, \quad n_{np} = \frac{u_{np}}{u_{nl} + u_{np}}, \quad (4)$$

где  $W_{nl}$  – суммарный параметр пласта твердой части и жидкости, кг/(м·с);  $W_{np}$  – вязкость промывочной жидкости, кг/(м·с);  $A_{nl}$  – адсорбция, создаваемая слоем ионов, возникающих на поверхности пласта, моль/кг;  $A_{np}$  – адсорбция, создаваемая слоем ионов, возникающих со стороны промывочной жидкости, моль/кг;  $z_{nl}$  – валентность ионов, возникающих на поверхности пласта, м<sup>2</sup>/(В·с);  $z_{np}$  – валентность ионов, возникающих со стороны промывочной жидкости, м<sup>2</sup>/(В·с);  $\sigma_{nl}$  – удельная электропроводность пласта, См/м;  $\sigma_{np}$  – удельная электропроводность промывочной жидкости, См/м;  $u_{nl}$  – подвижность ионов, возникающих на поверхности пласта, м<sup>2</sup>/(В·с);  $u_{np}$  – подвижность ионов, возникающих со стороны промывочной жидкости, м<sup>2</sup>/(В·с).

В формуле (3) знак плюс, если на поверхности пласта возникнут анионы, а со стороны промывочной жидкости – катионы, и знак минус в обратном случае.

Рассмотрим модель, содержащую: покрывающие (ПОК) и подстилающие (ПОД) породы; продуктивный пласт (ПЛ) с зоной проникновения (ЗП); промывочную жидкость (ПЖ) в скважине. В общем случае это пачка электрически неоднородных по удельным электрическим сопротивлениям (УЭС) пластов различной мощности, пересеченных скважиной. Скважину можно рассматривать как бесконечный цилиндр постоянного радиуса.

Измеряемое поле обусловлено электрическим полем, создаваемым

двойным слоем электрических зарядов (адсорбцией), в случае отсутствия диффузии растворов солей из пористых пород в скважину (равновесное состояние) и отсутствии притока флюидов из проницаемых пород.

В этом случае электрический потенциал, измеряемый на оси скважины, складывается из потенциала, создаваемого двойным слоем зарядов в однородной по удельной электропроводности среде  $U^0$  и аномального потенциала  $U_a$  за счет перераспределения электрического поля в неоднородных пластах.

С учетом (3) формулы для расчета напряженности электрического поля и потенциала для цилиндрической симметрии среды можно представить в следующем виде (Кормильцев В. В., 2007):

$$\begin{cases} E_\rho = E_\rho^0 + \int_V \left( \frac{\sigma}{\sigma_0} - 1 \right) (E_\rho G_{\rho\rho 0} + E_z G_{\rho z 0}) dV, \\ E_z = E_z^0 + \int_V \left( \frac{\sigma}{\sigma_0} - 1 \right) (E_\rho G_{z\rho 0} + E_z G_{zz 0}) dV, \end{cases} \quad (5)$$

$$U = U^0 + \int_V \left( \frac{\sigma}{\sigma_0} - 1 \right) (E_\rho G_{\rho 0} + E_z G_{z 0}) dV, \quad (6)$$

где  $E_\rho, E_z, E_\rho^0, E_z^0$  – составляющие  $\rho$  и  $z$  напряженности электрического поля в неоднородной и однородной среде соответственно,  $G_{\rho\rho 0}, G_{\rho z 0}, G_{z\rho 0}, G_{zz 0}$  – компоненты тензорной функции Грина,  $G_{\rho 0}, G_{z 0}$  – компоненты векторной функции Грина.

Приведем алгоритм решения интегральных уравнений для расчета градиентов полей, которые представим в обобщенном виде

$$\mathbf{W} = \mathbf{W}^0 + \mathbf{grad}_A \int_V \alpha \mathbf{W} \mathbf{grad}_M \frac{1}{R} dV + \mathbf{Q} \quad (7)$$

или в матричном виде для точек  $\mathbf{r}_i(x_1, x_2, x_3) \equiv \mathbf{r}_i(\rho, \varphi, z)$  и  $\mathbf{r}_j(x_1^0, x_2^0, x_3^0) \equiv \mathbf{r}_j(\rho^0, \varphi^0, z^0)$  при наличии осевой симметрии

$$W_m(\mathbf{r}_i) = W_m^0(\mathbf{r}_i) + \int_V \alpha(\mathbf{r}_j) G_{mn}(\mathbf{r}_i/\mathbf{r}_j) W_n(\mathbf{r}_j) dV + Q_m(\mathbf{r}_i). \quad (8)$$

где  $W_m(\mathbf{r}_i), W_n(\mathbf{r}_i)$  – составляющие градиента соответствующего потенциала поля по осям трехмерной системы координат в точке  $\mathbf{r}_i$ ;  $W_m^0(\mathbf{r}_i), Q_m(\mathbf{r}_i)$  – составляющие градиента соответствующего потенциала поля стороннего источника в однородной среде в отсутствие неоднородности;  $\alpha(\mathbf{r}_j)$  – относительные физические параметры, характеризующие неоднородный локальный объект в точке  $\mathbf{r}_j$ ;  $G_{mn}(\mathbf{r}_i/\mathbf{r}_j)$  – компоненты тензорной функции Грина.

Преобразуем данное выражение, используя,  $\bar{W}_m^0(\mathbf{r}_i) = W_m^0(\mathbf{r}_i) + Q_m(\mathbf{r}_i)$ ,  $\hat{V}_{mn}(\mathbf{r}_i/\mathbf{r}_j) = \alpha(\mathbf{r}_j) \hat{G}_{mn}(\mathbf{r}_i/\mathbf{r}_j)$ ,  $V_m^n = \sum_{j=1}^N \sum_{n=1}^2 \hat{V}_{mn}(\mathbf{r}_i/\mathbf{r}_j)$ ,  $\hat{G}_{mn}(\mathbf{r}_i/\mathbf{r}_j) = \int_{V_j} G_{mn}(\mathbf{r}_i/\mathbf{r}_j) dV_j$ ,

$$D = \begin{pmatrix} 1 - hV_{\rho}^p & 1 - hV_z^p \\ 1 - hV_{\rho}^z & 1 - hV_z^z \end{pmatrix} \quad (9)$$

где  $D_j^i$  – алгебраическое дополнение матрицы  $D$ ,  $h$  – шаг по оси  $z$ .

Тогда на первом шаге находим коэффициенты приближения (Лучка А. Ю., 1963 и др.)

$$\xi_m^1 = \frac{1}{\det D} \sum_{n=1}^2 D_m^n \sum_{m=1}^N \bar{W}_m^0(\mathbf{r}_i), \quad (10)$$

и значения функции на этом шаге

$$W_m^1(\mathbf{r}_i) = \bar{W}_m^0(\mathbf{r}_i) + \sum_{j=1}^N \sum_{n=1}^2 \xi_n^1 D_n^m. \quad (11)$$

Для второго и последующих шагов используем следующую итерационную схему (Соколов Ю. Д., 1967 и др.): сначала находим коэффициенты приближения  $\xi_m^t$

$$\xi_m^t = \frac{1}{\det D} \sum_{n=1}^2 D_n^m \sum_{p=1}^2 \sum_{j=1}^N \sum_{n=1}^2 \hat{V}_{mn}(\mathbf{r}_i/\mathbf{r}_j) [\delta_{j-1}^p(r_j) - \xi_{j-1}^p], \quad (12)$$

и значения функции на этом шаге

$$W_m^t(\mathbf{r}_i) = \bar{W}_m^0(\mathbf{r}_i) + \sum_{p=1}^2 \sum_{s=1}^N \sum_{n=1}^2 \hat{V}_{mn}(\mathbf{r}_i/\mathbf{r}_j) [W_{s-1}^p(\mathbf{r}_j) + \xi_s^p], \quad (13)$$

где  $\delta_n^t(\mathbf{r}_j) = W_n^t(\mathbf{r}_j) - W_n^{t-1}(\mathbf{r}_j)$ ;  $\delta_n^1(\mathbf{r}_j) = W_n^1(\mathbf{r}_j)$ ;  $t=2,3,\dots$ ;  $\xi_m^t$  – коэффициенты приближения на  $t$ -м шаге;  $W_m^t(\mathbf{r}_i)$ ,  $W_n^t(\mathbf{r}_j)$  – значения функций на  $t$ -м шаге.

Одной из задач метода ПС является “переход от значений электрического потенциала ПС, измеряемого на оси скважины напротив середины пласта-коллектора (обычно это песчаники с высокой пористостью), к истинной величине адсорбционного потенциала пород пласта” (Кормильцев В. В., 2007).

Значение адсорбционного потенциала для продуктивного пласта найдем по формуле (Дахнов В. Н., 1982 и др.)

$$U_{АДС} = U_{ПЛ} \cdot v_{изм}, \quad (14)$$

где  $U_{ПЛ}$  – значения потенциала, измеренного напротив середины продуктивного пласта, мВ;  $v_{изм}$  – поправочный коэффициент за влияние скважины, пластов, зоны проникновения фильтрата промывочной жидкости в пласт, удельного сопротивления пласта, промывочной жидкости и вмещающих пород при помощи палеток Шлюмберже (Дахнов В. Н., 1982 и др.) или электронных палеток [7].

Созданное программное обеспечение в виде программного комплекса «SP-AT» [37] предназначено для расчета двойного электрического потенциала на оси скважины, создаваемого источником в виде электрического слоя в сло-

истой электрически неоднородной среде, реализующее выражение (3).

Программный комплекс «SP-AT» является программной реализацией прямой трехмерной задачи для модели с цилиндрической симметрией и производит расчет потенциала на оси скважины по заданным физико-геометрическим характеристикам среды и пласта. В числе физико-геометрических факторов, влияющих на величину потенциала, кроме мощностей пластов учитываются диаметры скважины и удельные сопротивления раствора и пластов [37].

При применении растворов на пресной и морской воде (ИТС-28-2017) потенциал уменьшается до 4 мВ, на полимерных растворах – до 6 мВ, на соле-насыщенных растворах – до 10 мВ, на углеводородной основе – до 40 мВ. Существенное влияние на потенциал растворов обусловлено значительным влиянием вязкости применяемой жидкости. Эти величины являются достаточно существенными при интерпретации данных каротажа методом спонтанной поляризации (ПС) при определении фильтрационно-емкостных параметров продуктивных пластов и требуют учета [6].

Рассмотрим модель, содержащую: покрывающий пласт мощностью 10 метров, три тонких пласта, продуктивный пласт мощностью 21,5 метров и подстилающий пласт мощностью 12 метров, пересеченные скважиной диаметром 0,2 м, где находится промывочная жидкость (ПЖ). В общем случае это пачка электрически однородных по удельным электрическим сопротивлениям (УЭС) пластов с различной мощностью и удельной поверхностью, содержащих пластовую жидкость, пересеченных скважиной. Скважину можно рассматривать как бесконечный цилиндр постоянного радиуса [5]. Пластовую и промывочную жидкости следует рассматривать как среды с различными числами переноса [26]. В таблице 1 выбраны параметры модели, а в таблице 2 задается адсорбционный потенциал напротив середины пласта на контакте твердой и жидкой фаз [5].

Для апробации нашей модели использовались материалы ПФ «Севергаз-геофизика» (Сковородников И. Г., 1995). В первом приближении пластовую воду и промывочную жидкость можно считать растворами  $NaCl$ . Тогда используемый катион  $Na^+$ , а анион  $Cl^-$ . Надо отметить, в виду бóльшей подвижности анионов, чем у катионов, напротив глинистых пород истинная величина адсорбционного потенциала положительна, а у пород-коллекторов – отрицательна (Вендельштейн Б. Ю., 1966) в результате  $U_{\text{пок}} = 52\text{мВ}$ , подстилающего пласта –  $U_{\text{под}} = 56\text{мВ}$ , а продуктивного пласта –  $U_{\text{прод}} = -4\text{мВ}$  [5].

Таблица 1

Данные модели [5]

Параметры		$H, \text{ м}$	$S_{\text{уд}}, 10^3 \text{ м}^2/\text{кг}$		$W, 10^{-3} \text{ кг}/(\text{м}\cdot\text{с})$		$\sigma, \text{ См}/\text{м}$	
Глина	ПЖ	1070–1080	637	32	25	13	0.18	0.5
Песчаник	ПЖ	1086.5–1108	5.2	32	50	13	0.01	0.5
Глина	ПЖ	1108–1120	687	32	25	13	0.18	0.5

Адсорбционный потенциал [5]

$H, \text{ м}$	$r_i, 10^{-10} \text{ м}$		$n$		$U, \text{ мВ}$		$U_{\text{адс}}, \text{ мВ}$
1070–1080	2.28	3.41	0.6	0.4	52.2	0.2	52
1086,5–1108	3.41	2.28	0.4	0.6	4.5	0.5	–4
1108–1120	2.28	3.41	0.6	0.4	56.2	0.2	56

Рассчитанный потенциал ПС напротив мощных пластов незначительно отличается от измеренной величины потенциала [26]. Как видно, данные достаточно хорошо согласуются с теоретической кривой, представленной на рис. 1, используя программный комплекс «SP-AT» [37]. Значения  $\alpha_{\text{ПС}}$  для нашей модели и данной каротажной диаграммы на середине пластов отличаются не больше, чем на 3 мВ, что является допустимым, учитывая погрешность метода. Также не учитываются диффузионный и фильтрационный потенциалы, которые могут изменить измеряемую величину потенциала до 15 мВ [5].

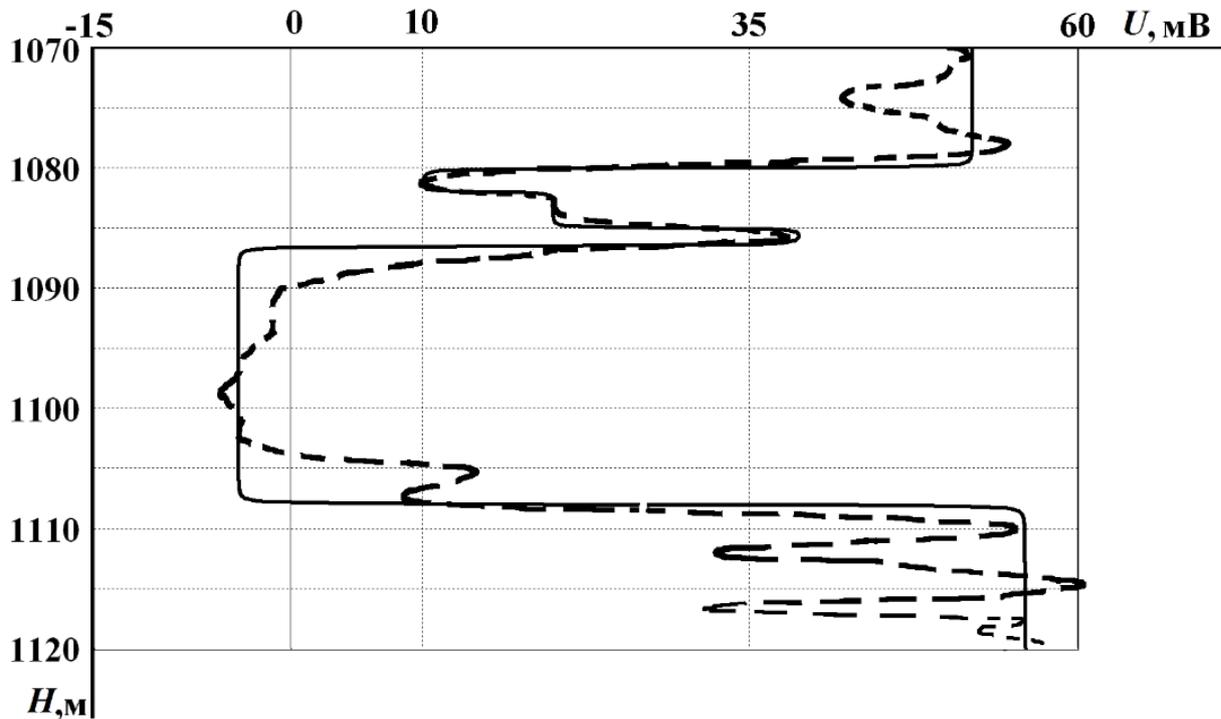


Рис. 1. Кривые потенциала ПС на оси скважины.

Штриховая линия – измеренная (по материалам ПФ «Севергазгеофизика», Сквородников И. Г., 1995); сплошная линия – теоретическая [5]

Созданное программное обеспечение в виде программного комплекса «PS-C» [31] предназначено для расчета электрического потенциала на оси скважины, создаваемого источником в виде двойного электрического слоя в слоистой электрически неоднородной среде.

Программный комплекс «PS-C» является программной реализацией прямой трехмерной задачи для модели с цилиндрической симметрией и производит расчет потенциала на оси скважины по заданным физико-

геометрическим характеристикам среды и пласта. В числе физико-геометрических факторов, влияющих на величину потенциала, кроме мощностей пластов учитываются диаметры скважины и зоны проникновения фильтра бурового раствора в проницаемые части пластов и удельные удельным электрическим сопротивлениям раствора, пластов и зон проникновения [31].

## ВТОРОЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

*Предложен и реализован способ восстановления собственного адсорбционного потенциала горных пород по измеренному в скважинах потенциалу электрического поля спонтанной поляризации с учетом парных и перекрестных эффектов полей адсорбции, диффузии и течения.*

На рис. 2 [13] представлен пример рассчитанных палеток поправок в минимальные значения ПС напротив пласта-коллектора для различной относительной мощности пласта и его относительного удельного электрического сопротивления при отсутствии или наличии зоны проникновения при относительных параметрах:  $d_{зп}/d_c = 3$ ,  $\rho_{пок}/\rho_c = 1$ ,  $\rho_{под}/\rho_c = 1$ ,  $\rho_{зп}/\rho_c = 4$ ,  $U_{под}/U_{пок} = 1$ ,  $U_{адс}/U_{пок} = 0,25$ .

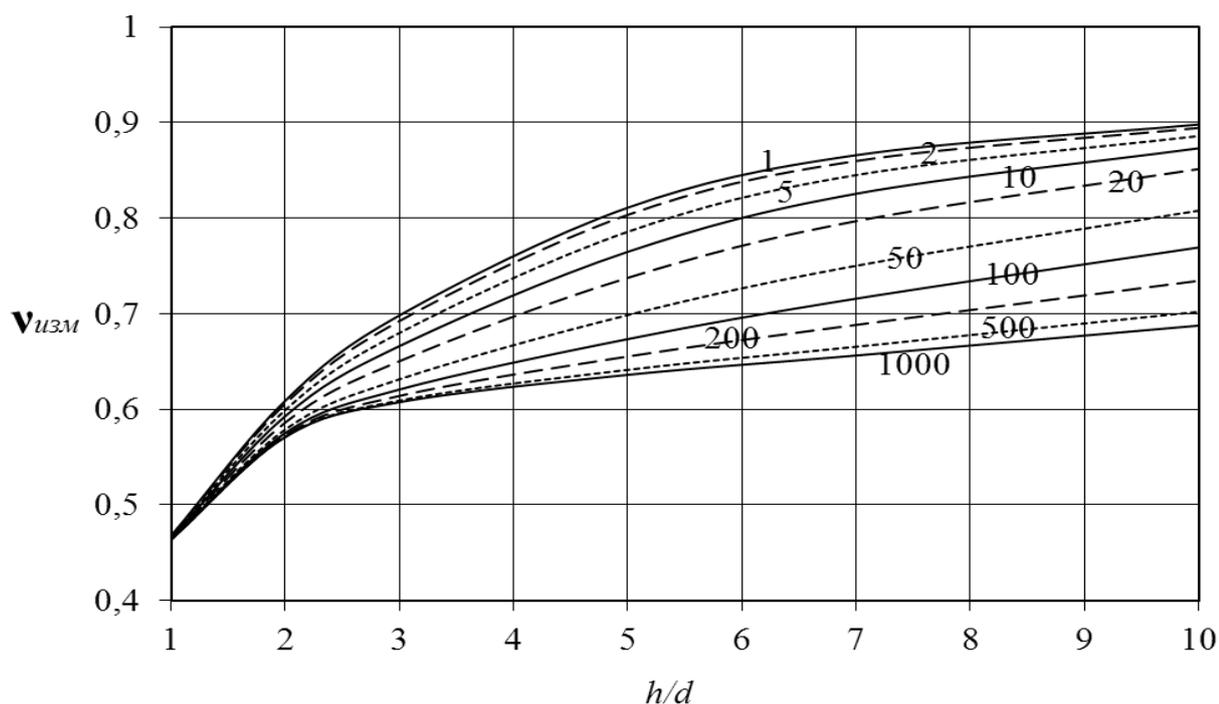


Рис. 2. Палетки  $v_{изм} = f(h/d)$ , рассчитанные программным комплексом «PS-C» при различных значениях  $\rho_{пл}/\rho_c = const$  (шифр кривых), для  $d_{зп}/d_c = 3$  [13]

Созданный программный комплекс электронной палетки «Paletka\_PS» [32] на основе физико-геометрических параметров среды, определяемых по данным материалов комплекса методов каротажа и результатов измерения потенциала спонтанной поляризации ПС в геологоразведочной скважине, опре-

деляет величину поправочного коэффициента  $v_{изм}$  и рассчитывает исправленное значение величины адсорбционного потенциала пласта [32]. Расчет поправки построен на основе многомерной интерполяционной формулы Лагранжа (Вержбицкий В.М., 2001).

По результатам проведенного анализа значений потенциала пласта при интерполяции в программном комплексе «Paletka\_PS» [32] относительная погрешность не превышает 2%, а абсолютная – менее 1 мВ от значений потенциала пласта, рассчитанных в программном комплексе «PS-C», что удовлетворяет заданной погрешности. Это означает, что программный комплекс «Paletka\_PS» [32] осуществляет восстановление адсорбционного потенциала по известному измеренному значению потенциала пласта [32].

Электронные палетки, в отличие от используемых палеток Шлюмберже, более точно определяют поправочный коэффициент, так как в них учитываются модели с различными физико-геометрическими характеристиками покрывающего и подстилающего пластов. Достоинствами данного метода определения поправочного коэффициента являются высокая технологичность, низкая трудоемкость и более полный учет различий в свойствах подстилающих и перекрывающих пород.

### **ТРЕТЬЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ**

*Разработаны программные комплексы для моделирования прямых задач расчета потенциала спонтанной поляризации на оси скважины, позволяющие определить вклад в электрическое поле адсорбции от парных и перекрестных эффектов электрических полей диффузии и течения.*

Эффект возникновения электрического поля при протекании жидкости в проницаемой среде в 1859 году обнаружил Георг Квинке. Это явление получило название потенциала течения (Баранов В. Я., 2007 и др.). Течение жидкости и положительный дебит флюида в геологоразведочных скважинах возникает за счет превышения литостатического давления горных пород над гидростатическим давлением флюида (Дахнов В. Н., 1982 и др.).

Диффузионный потенциал является неотъемлемой частью измеряемого в геологоразведочных скважинах электрического потенциала ПС. После проходки скважин возникает неравновесное состояние, связанное с различной концентрацией растворенных солей в промывочной жидкости скважины и пористых пластах, что приводит к началу процесса диффузии, и появлению диффузионного электрического потенциала.

Для неоднородной по электропроводности среды можно воспользоваться интегральной формулой для расчета электрического потенциала фильтрации (потенциала течения), диффузии (с учетом и без учета конвекции), давления и концентрации, а также системами интегральных уравнений для напряженности электрического поля течения, диффузии, градиента давления и концентрации в среде с цилиндрической симметрией, приведенной в работе (Кормильцев В.В., 2007 и др.).

При отсутствии конвекции диффузия приводит к установлению нового равновесного состояния во всем объеме среды. Этот процесс занимает длительное время и в чистом виде не наблюдается из-за влияния конвекции, однако квазиравновесное состояние диффузии устанавливается довольно быстро. В этом случае между объемом среды, где сохранилась первоначальная концентрация, и поверхностью пласта, вскрытой скважиной, устанавливается квазилинейный поток диффундирующего вещества, медленно изменяющийся со временем. Время установления равновесного состояния может составлять до 500 дней. Экспозицию, необходимую для установления квазиравновесного состояния, находят из уравнения нестационарной диффузии [1].

Созданное программное обеспечение в виде программного комплекса «PS-F» предназначено для расчета фильтрационного потенциала на оси скважины в слоистой электрически неоднородной среде [36].

Программный комплекс «PS-F» является программной реализацией прямой трехмерной задачи для модели с цилиндрической симметрией и производит расчет потенциала на оси скважины по заданным физико-геометрическим и фильтрационно-емкостным характеристикам среды и пласта. В числе физико-геометрических и фильтрационно-емкостных факторов, влияющих на величину потенциала, кроме мощностей пластов учитываются диаметры скважины и зоны проникновения фильтрата бурового раствора в проницаемые части пластов и удельные электрические сопротивления раствора, пластов и зон проникновения, потенциалы течения и проницаемости пластов [36].

Созданное программное обеспечение в виде программного комплекса «PS-DT» предназначено для расчета диффузионного потенциала на оси скважины в слоистой электрически неоднородной среде [33].

Программный комплекс «PS-DT» является программной реализацией прямой трехмерной задачи для модели с цилиндрической симметрией для расчета электрического поля, создаваемого диффузией вещества (или раствора) по формуле В. Нернста и производит расчет потенциала на оси скважины по заданным физико-геометрическим и фильтрационно-емкостным характеристикам среды и пласта, а также во времени. В числе физико-геометрических и фильтрационно-емкостных факторов, влияющих на величину потенциала, кроме мощностей пластов и учитываются диаметры скважины и зоны проникновения фильтрата бурового раствора в проницаемые части пластов и удельные электрические сопротивления и концентрации раствора, пластов и зон проникновения [8].

Созданное программное обеспечение в виде программных комплексов «PS-D» и «PS-DK» предназначено для расчета фильтрационного потенциала на оси скважины в слоистой электрически неоднородной среде [34, 35].

Программные комплексы «PS-D» [35] и «PS-DK» [34] являются программной реализацией прямой трехмерной задачи для модели с цилиндрической симметрией для расчета электрического поля, создаваемого диффузией вещества (раствора) без учета и с учетом конвективного переноса и произво-

дят расчет потенциала по заданным физико-геометрическим и фильтрационно-емкостным характеристикам среды и пласта, а также во времени. В числе физико-геометрических и фильтрационно-емкостных факторов, влияющих на величину потенциала, кроме мощностей пластов учитываются диаметры скважины и зон проникновения фильтрата бурового раствора в проницаемые части пластов, а также удельные электрические сопротивления и концентрации раствора, пластов и зон проникновения, коэффициенты пористости пластов [34, 35].

В заключение приведен пример расчетов потенциала ПС на оси скважины, пересекающей пласт, с учетом всех эффектов возникновения электрического поля – адсорбции, диффузии и течения для оценки возможной погрешности, получаемой при определении поправочного коэффициента  $\nu_{изм}$ .

На рис. 3 приведены кривые потенциалов ПС, рассчитанные с помощью программных комплексов «PS-C», «PS-F» и «PS-DK», при следующих физико-геометрических параметрах: диаметр скважины  $d_c = 0,2$  м; мощность пласта  $h = 3$  м; величины адсорбционных потенциалов пласта, покрывающих и подстилающих сред соответственно равны  $-5$  мВ,  $55$  мВ и  $35$  мВ.

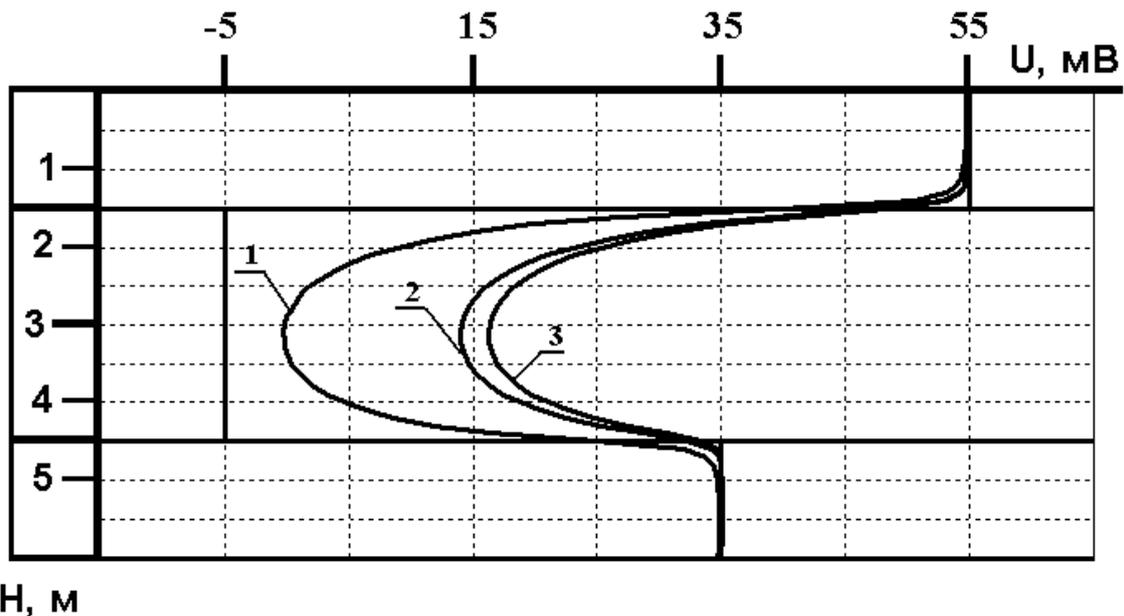


Рис. 3. Кривые потенциала ПС на оси скважины:

- 1 – потенциал адсорбции; 2 – потенциал адсорбции с диффузией;  
3 – потенциал адсорбции с диффузией и фильтрацией [14]

Кривая 1 показывает величину и характер адсорбционного потенциала при удельных электропроводностях вмещающей среды  $\sigma_0 = 1$  См/м; промывочной жидкости  $\sigma_{ПЖ} = 1$  См/м; пласта  $\sigma_{Пл} = 0,02$  См/м.

Кривая 2 – потенциал адсорбции с теми же параметрами с учетом электрического поля диффузии при концентрации солей  $C$ : во вмещающих породах  $30$  кг-экв/м<sup>3</sup>; в промывочной жидкости  $8$  кг-экв/м<sup>3</sup>; в пласте  $40$  кг-экв/м<sup>3</sup>; коэффициенты пористости вмещающих пород  $0,1$  и пласта  $0,2$ .

Кривая 3 – потенциал адсорбции и диффузии с теми же параметрами с учетом электрического поля фильтрации при отношении проницаемостей  $c/c_0 = 10^3$ , если  $c_0 = 10^{-13} \text{ м}^2$ ; коэффициенты потенциала течения пласта  $L = 8 \cdot 10^{-6} \text{ В/Па}$ , вмещающей среды  $L_0 = 0,4 \cdot 10^{-8} \text{ В/Па}$ ; радиус контура питания 30 м при подавлении дебита жидкости из скважины  $Q = 1 \text{ м}^3/\text{сутки}$ .

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований определены перспективы для более успешного использования метода ПС, связанные с разработкой и программной реализацией общей алгоритмической основы для определения фильтрационно-емкостных свойств горных пород по данным каротажа методом спонтанной поляризации.

Во-первых, с применением электронной палетки вычисления поправочного коэффициента обеспечивается переход от значений измеренного электрического потенциала спонтанной поляризации ПС на оси скважины напротив пласта-коллектора к истинной величине адсорбционного потенциала пород, который в свою очередь связан с радиусом пор, т.е. с удельной поверхностью.

Во-вторых, с привлечением дополнительных данных возможен учет всех компонентов, составляющих измеряемое электрическое поле, а именно: электрического поля течения и диффузии вещества для выделения потенциала, связанного с адсорбцией. Дополнительный вклад в основной потенциал адсорбции двух потенциалов диффузии и течения приводит как к завышению, так и к занижению определяемого коэффициента пористости с вытекающими отсюда последствиями для подсчета запасов.

Улучшение качества интерпретации материалов измерений методом ПС связано с корректировкой подходов к обработке данных и привлечением результатов исследований другими методами каротажа и данными лабораторных исследований. Такими исходными данными и применяемыми для их определения методами каротажа являются: диаметр скважины (по результатам метода кавернометрии), диаметр и удельное электрическое сопротивление (УЭС) зоны проникновения пласта (по данным методов высокочастотного индукционного каротажного изопараметрического зондирования (ВИКИЗ) и бокового каротажного зондирования (БКЗ), УЭС промывочной жидкости (по данным резистивиметрии), УЭС пласта, УЭС покрывающих и подстилающих пород (по данным методов ВИКИЗ, БКЗ и кажущегося сопротивления (КС)).

Исходные данные, необходимые для учета электрических эффектов течения и диффузии вещества, основываются на данных методов расходомерии и дебитометрии, а также лабораторных исследованиях состава и концентрации солей во флюидах, насыщающих пористые коллекторы, и в промывочной жидкости скважины.

Для практического применения выполненных исследований необходимо провести дополнительные экспериментальные исследования по динамике диффузионного потенциала при режимных измерениях в скважине, а также

исследования фильтрационного потенциала при напорном и безнапорном режимах работы скважины.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### *Статьи в рецензируемых научных журналах перечня ВАК*

1. **Исламгалиев Д. В.** Вклад поля диффузии в потенциал спонтанной поляризации / **Д. В. Исламгалиев**, О. Б. Кузьмичев, А. Н. Ратушняк // Известия ВУЗов. Горный журнал. 2012. – № 2. – С.162-167 (вклад автора 34%).
2. **Исламгалиев Д. В.** Вклад электрического фильтрационного потенциала в самопроизвольный при интерпретации каротажа спонтанной поляризации / **Д. В. Исламгалиев**, О. Б. Кузьмичев, А. Н. Ратушняк. – НТВ Каротажник. – 2012. №2 (212). – С. 49-56 (вклад автора 34%).
3. **Исламгалиев Д. В.** Электрическое поле диффузии с конвективным переносом вещества в неоднородной среде / **Д. В. Исламгалиев**, О. Б. Кузьмичев, А. Н. Ратушняк. – Известия ВУЗов. Горный журнал. – 2012. № 3. – С. 160-164 (вклад автора 34%).
4. **Исламгалиев Д. В.** Математическая модель генерации электрического поля в методе спонтанной поляризации / **Д. В. Исламгалиев**, В. Б. Сурнев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. № 10. С.337-343 (вклад автора 50%).
5. **Исламгалиев Д. В.** Адсорбционный потенциал двойного электрического слоя на границе двухфазной среды / **Д. В. Исламгалиев** // Мониторинг. Наука и технологии. – 2022. – № 1 (51). – С. 47-57 DOI: <https://doi.org/10.25714/MNT.2022.51.007>.

### *Статья в научном журнале международной базы данных Scopus*

6. **Исламгалиев Д. В.** Влияние бурового раствора на величину потенциала спонтанной поляризации при каротаже скважин / **Д. В. Исламгалиев**, А. Н. Ратушняк // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 11-1. – С. 46–54. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_111\_0\_46 (вклад автора 50%).

### *Работы в других изданиях (в том числе иностранных журналах), входящих в перечень РИНЦ*

7. **Исламгалиев Д. В.** Электронные палетки Шлюмберже для интерпретации каротажа скважин методом спонтанной поляризации (ПС) / **Д. В. Исламгалиев** // Международный научно-практический симпозиум. Уральская горная школа. – Екатеринбург: УГГУ, 2010. – С. 66-68.
8. **Исламгалиев Д. В.** Диффузионный потенциал и его вклад в потенциал спонтанной поляризации при интерпретации каротажа скважин методом ПС / **Д. В. Исламгалиев** // Двенадцатая Уральская молодежная школа по геофизике: Сборник науч. материалов. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2011. – С. 100-102.
9. **Исламгалиев Д. В.** Фильтрационный потенциал в первом приближе-

- нии и его вклад в потенциал спонтанной поляризации при интерпретации каротажа скважин методом ПС / **Д. В. Исламгалиев** // Международная научно-практическая конференция «Уральская горная школа – регионам». – Екатеринбург: УГГУ, 2011. – С. 100-101.
10. **Исламгалиев Д. В.** Диффузионный потенциал и его вклад в потенциал спонтанной поляризации при интерпретации каротажа скважин методом ПС / **Д. В. Исламгалиев** // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. Шестые научные чтения Ю. П. Булашевича. Материалы конференции. – Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – С. 170-172.
  11. **Исламгалиев Д. В.** Электрическое поле диффузии / **Д. В. Исламгалиев** // Тринадцатая Уральская молодежная школа по геофизике: Сборник докладов. УрО РАН, 2012. – С. 93-94.
  12. **Исламгалиев Д. В.** Потенциал спонтанной поляризации (ПС) на оси скважины и функция Грина для расчета потенциала ПС / **Д. В. Исламгалиев** // Международная научно-практическая конференция «Уральская горная школа – регионам». – Екатеринбург: УГГУ, 2012. – С. 181-182.
  13. **Исламгалиев Д. В.** Вычисление потенциала спонтанной поляризации (ПС) на оси скважины / **Д. В. Исламгалиев** // II Международный симпозиум «Геофизика XXI века». – Екатеринбург, УГГУ, 2012. – С. 139-141.
  14. **Исламгалиев Д. В.** Изучение электрического поля адсорбции, диффузии и течения в неоднородной среде / **Д. В. Исламгалиев** // Четырнадцатая Уральская молодежная школа по геофизике: Сборник науч. материалов. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2013. – С. 138-140.
  15. **Исламгалиев Д. В.** Исследование электрического поля адсорбции, диффузии и течения в неоднородной среде / **Д. В. Исламгалиев** // Международная научно-практическая конференция «Уральская горная школа – регионам». – Екатеринбург: УГГУ, 2013. – С. 81-82.
  16. **Исламгалиев Д. В.** Оценки погрешностей при численном моделировании математической модели генерации электрического поля в методе спонтанной поляризации / **Д. В. Исламгалиев** // IX Международной научно-практической конкурс-конференции молодых специалистов «ГЕОФИЗИКА-2013». – СПб: СПбГУ, 2013. – С. 56-57.
  17. Сурнев В. Б. Рассеяние упругих волн предварительно напряжённым ограниченным объектом / В. Б. Сурнев, **Д. В. Исламгалиев** // Известия Уральского государственного горного университета. № 4. 2015. С. 35-44 (вклад автора 50%).
  18. Surnev V. B. Analisi di strade di protezione di domande di cliente / V. B. Surnev, **D. V. Islamgaliev** // Italian Science Review. 2016. ISSN: 2308-832X. ISSUE 2(35). PP. 16-30 (вклад автора 50%).
  19. **Исламгалиев Д. В.** Математическая модель генерации электрического поля адсорбции, диффузии и течения в методе спонтанной поляризации

- / **Д. В. Исламгалиев** // Восемнадцатая уральская молодежная научная школа по геофизике: Сборник науч. материалов. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2017. – С. 100-102.
20. **Исламгалиев Д. В.** Математическая модель генерации электрического поля в методе спонтанной поляризации / **Д. В. Исламгалиев** // Международная научно-практическая конференция «Уральская горная школа – регионам». – Екатеринбург: УГГУ, 2017. – С. 160-161.
  21. **Islamgaliev D.V.** Modello matematico di generazione del campo elettrico di adsorbimento, la diffusione e il flusso / **Islamgaliev D. V.**, Surnev V. B. // Italian Science Review. 2017; 1(44). PP. 6-9.
  22. **Исламгалиев Д. В.** Краевая задача в каротаже скважин методом спонтанной поляризации / **Д. В. Исламгалиев** // Международная научно-практическая конференция «Уральская горная школа – регионам». – Екатеринбург: УГГУ, 2018. – С. 160-161.
  23. **Исламгалиев Д. В.** Математическая модель в методе спонтанной поляризации / **Д. В. Исламгалиев** // XX Уральская молодежная научная школа по геофизике: Сборник науч. материалов. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2019. – С. 88-91.
  24. **Исламгалиев Д. В.** Вязкость / **Д. В. Исламгалиев** // Международная научно-практическая конференция «Уральская горная школа – регионам». – Екатеринбург: УГГУ, 2021. С 52-53.
  25. **Исламгалиев Д. В.** Удельная поверхность / **Д. В. Исламгалиев** // Международная научно-практическая конференция «Уральская горная школа – регионам». – Екатеринбург: УГГУ, 2021. С. 54–55.
  26. **Исламгалиев Д. В.** Теория образования адсорбционного потенциала и её применение для интерпретации данных каротажа методом спонтанной поляризации / **Д. В. Исламгалиев** // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. Одиннадцатые научные чтения Ю. П. Булашевича. Материалы конференции. Екатеринбург: УрО РАН, 2021. С. 99–101.
  27. **Исламгалиев Д. В.** Интерпретация данных каротажа методом спонтанной поляризации / **Д. В. Исламгалиев** // XXIII Уральская молодежная научная школа по геофизике: Сборник науч. материалов. – 2022. – С. 86-89.
  28. **Исламгалиев Д. В.** Экспериментальные методы нахождения адсорбции / **Д. В. Исламгалиев** // Международная научно-практическая конференция «Уральская горная школа – регионам». – Екатеринбург: УГГУ, 2022. – С. 57-58.
  29. **Исламгалиев Д. В.** Программные комплексы для восстановления адсорбционного потенциала при интерпретации данных методом спонтанной поляризации // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: 49 сессия Международного семинара им. Д.Г. Успенского - В.Н. Страхова. ИГФ УрО РАН, УГГУ, 2023. С. 174-177.

30. **Исламгалиев Д. В.** Буровые растворы и их влияние на данные каротажа метода спонтанной поляризации // XXIV Уральская молодежная научная школа по геофизике: Сборник науч. материалов. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2023. – С. 85-88.

*Программные продукты, зарегистрированные в Федеральном институте промышленной собственности (ФИПС)*

31. Ратушняк А. Н. Программный комплекс «PS-C» / А. Н. Ратушняк, **Д. В. Исламгалиев** // Рег. № 2012660335. 14.11.2012 г (вклад автора 50%).
32. **Исламгалиев Д. В.** Программный комплекс «PALETKA\_PS» / **Д. В. Исламгалиев**, А. Н. Ратушняк // Рег. № 2017611525. 06.02.2017 г (вклад автора 50%).
33. **Исламгалиев Д. В.** Программный комплекс «PC-DT» / **Д. В. Исламгалиев** // Рег. № 2017660435. 21.09.2017 г.
34. **Исламгалиев Д. В.** Программный комплекс «PS-DK» / **Д. В. Исламгалиев** // Рег. № 2018614773. 28.06.2018 г.
35. **Исламгалиев Д. В.** Программный комплекс «PS-D» / **Д. В. Исламгалиев** // Рег. № 2018617848. 03.07.2018 г.
36. **Исламгалиев Д. В.** Программный комплекс «PS-F» / **Д. В. Исламгалиев** // Рег. № 2018617876. 03.07.2018 г.
37. **Исламгалиев Д. В.** Программный комплекс «SP-AT» / **Д. В. Исламгалиев** // Рег. 2021660975. 05.07.2021.