УТВЕРЖДАЮ
И.о. директора Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института нефтегазовой геологии и
геофизики им. А.А. Трофимука
Сибирского отделения
Российской академии наук
д.г.-м.н., член-корреспондент РАН
Никитенко Борис Леонидович

05 октября 2026 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука
Сибирского отделения Российской академии наук

Диссертация **«Интерпретация потенциалов самопроизвольной поляризации в терригенных отложениях с применением метода конечных элементов и аппроксимации сигмоидальными функциями»** выполнена в лаборатории многомасштабной геофизики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН).

В период подготовки диссертации соискатель Глинских Анастасия Вячеславовна работала в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук в должности младшего научного сотрудника лаборатории многомасштабной геофизики.

Научный руководитель – академик РАН, профессор, д.т.н. Михаил Иванович Эпов, главный научный сотрудник лаборатории многомасштабной геофизики, научный руководитель ИНГГ СО РАН.

А.В. Глинских в 2020 г. окончила физический факультет Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» с присуждением степени магистра по специальности «Физика».

В 2024 г. А.В. Глинских окончила очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук по направлению подготовки 05.06.01 - «Науки о Земле». Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2026 г. в ИНГГ СО РАН.

Материалы диссертации представлены соискателем на заседании Учёного совета ИНГГ СО РАН 28 сентября 2026 г., протокол № 11.

ПРИСУТСТВОВАЛИ:

Члены Ученого совета: чл.-корр. РАН В.Н. Глинских, академик РАН В.А. Верниковский, академик РАН М.И. Эпов, чл.-корр. РАН Л.М. Бурштейн, чл.-корр. РАН В.А. Каширцев, чл.-корр. РАН В.А. Конторович, чл.-корр. РАН Б.Л. Никитенко, чл.-корр. РАН Б.Н. Шурыгин, д.ф.- м.н. Е.Ю. Антонов, д.г.-м.н. С.Б. Бортникова, д.г.-м.н. Д.В. Гражданкин, д.т.н. В.М. Грузнов, д.г.-м.н. О.С. Дзюба, д.г.-м. н. В.А. Казаненков, д.т.н. Ю.И. Колесников, д.г.-м.н. И.В. Коровников, д.г.-м.н. О.Е. Лепокурова, д.г.-м.н. Е.А. Мельник, д.т.н. А.Г. Плавник, д.ф.-м.н. М.И. Протасов, д.г.-м.н. Н.В. Сенников, д.г.-м.н. В.Д. Суворов, д. г.-м. н. А.Н. Фомин, к.ф.-м.н. А.А. Дучков, к.г.- м.н. Т.М. Парфенова, к.г.- м.н. М.А. Фомин, к.г.-м.н. Б.М. Попов, к.г.-м.н. Е.В. Цибизова.

Сотрудники ИНГГ СО РАН: д.г.-м.н. З.Н. Гнибиденко, д.ф.-м.н. Г.М. Митрофанов, д.г.-м.н. Н.Н. Неведрова, д.ф.-м.н. В.В. Плоткин, д.ф.-м.н. Г.В. Решетова, д.г.-м.н. А.С. Сальников, д.ф.-м.н. Б.П. Сибиряков, д.ф.-м.н. В.А. Чеверда, к.ф.-м.н. А.М. Айзенберг, к.ф.-м.н. А.Ю. Белинская, к.г.-м.н. Л.А. Глинских, к.т.н. Н.А. Голиков, к.т.н. К.Н. Даниловский, к.ф.-м.н. С.И. Марков, к.г.-м.н. К.А. Мезина, к.т.н. И.В. Михайлов, к.т.н. Г.В. Нестерова, к.г.-м.н. П.С. Осипова, к.г.-м.н. С.В. Рыжкова, к.г.-м.н. А.М. Санчаа, к.г.-м.н. Ю.К. Советов, к.г.-м.н. С.Н. Хафаева, к.г.-м.н. Е.В. Цибизова, О.О. Асанов.

ВОПРОСЫ ЗАДАЛИ: д.ф.-м.н. Г.М. Митрофанов, д.ф.-м.н. Г.В. Решетова, д.г.-м.н. А.С. Сальников, д.ф.-м.н. Б.П. Сибиряков, д.ф.-м.н. В.А. Чеверда, к.ф.-м.н. А.А. Дучков, к.ф.-м.н. С.И. Марков.

ВЫСТУПИЛИ: акад. РАН, д.т.н. М.И. Эпов, д.ф.-м.н. Е.Ю. Антонов, д.ф.-м.н. Г.В. Решетова, д.г.-м.н. А.С. Сальников, д.ф.-м.н. Б.П. Сибиряков, д.т.н. К.В. Сухорукова, д.ф.-м.н. В.А. Чеверда, к.т.н. Н.А. Голиков, к.т.н. К.Н. Даниловский, к.ф.-м.н. А.А. Дучков.

С диссертацией ознакомились специалисты-эксперты: д.ф.-м.н. Е.Ю. Антонов, д.ф.-м.н. Г.В. Решетова, д.т.н. К.В. Сухорукова.

Члены экспертной комиссии дали **положительную оценку** диссертационной работе Глинских А.В.

По результатам рассмотрения диссертации принято следующее **заключение**.

Объект исследования – численные решения прямых и приближенные аналитические решения обратных задач стационарной геоэлектродинамики в осесимметричных моделях геологических сред применительно к задачам каротажа потенциалов самопроизвольной поляризации для экспресс-оценок содержания углеводородов и минерализации пластовых вод, а также количественного определения петрофизических параметров песчано-глинистых коллекторов, вскрытых нефтегазовыми скважинами.

Актуальность. Метод потенциалов самопроизвольной поляризации (ПС) является одним из основных инструментов геофизических исследований в скважинах (ГИС) и широко применяется при изучении геологических разрезов нефтегазовых залежей. Каротаж ПС входит в предусмотренный нормативными документами обязательный комплекс ГИС, что обусловлено простотой регистрации сигналов и их высокой информативностью при оценке фильтрационно-ёмкостных свойств флюидонасыщенных пластов-коллекторов и выделении глинистых флюидоупоров. Современные исследования в области метода ПС направлены на создание количественных физико-математических моделей сигналов и развитие численных подходов к решению соответствующих прямых и обратных задач в полных математических постановках. Это направление носит междисциплинарный характер и объединяет знания в области физики

пористых сред, геологии, гидрогеологии, электрохимии, коллоидной химии и вычислительной математики и процедур искусственного интеллекта. Это позволяет совершенствовать интерпретацию каротажных данных и создавать более достоверные и верифицируемые модели, учитывающие реальный состав и структуру геологической среды.

Целью исследования является развитие программно-алгоритмической базы метода ПС для количественного изучения характеристик песчано-глинистых коллекторов в сложнопостроенных терригенных разрезах путём создания эффективных вычислительных подходов к моделированию и интерпретации сигналов ПС.

Лично автором получены следующие **новые научные результаты:**

1. Алгоритм численного моделирования сигналов ПС в осесимметричных моделях геологических сред методом конечных элементов и его программная реализация, обеспечивающие описание радиальной неоднородности прискважинной области с помощью заданного числа зон с различными геоэлектрическими параметрами и учёт петрофизических свойств песчано-глинистых коллекторов, включая содержание и тип глинистых минералов.

2. Метод количественной интерпретации диаграмм ПС и его программная реализация, основанные на аналитической аппроксимации локальных по глубине аномалий функцией, построенной из сигмоидальных переходов, параметры которой зависят от геоэлектрических характеристик прискважинной области, и позволяющие выполнять приближённое экспресс-определение минерализации пластовой воды при наличии априорных геоэлектрических и петрофизических данных.

Научная новизна

1. Разработан алгоритм численного моделирования сигналов ПС:

– основанный на решении осесимметричной прямой задачи МКЭ;

– обеспечивающий описание радиальной неоднородности прискважинной области с помощью заданного числа зон с различными геоэлектрическими параметрами;

– учитывающий петрофизические свойства песчано-глинистых коллекторов, включая содержание и тип глинистых минералов;

– позволяющий исследовать влияние геоэлектрических и петрофизических параметров среды на форму и амплитуду диаграмм ПС;

– реализованный в виде программного обеспечения.

2. Разработан метод количественной интерпретации диаграмм ПС:

– основанный на аналитической аппроксимации локальных по глубине аномалий функцией, построенной из сигмоидальных переходов;

– учитывающий геоэлектрические характеристики прискважинной области посредством определения параметров аппроксимационной функции;

– применимый для сложнопостроенных многопластовых моделей, в том числе при наличии зон проникновения;

– позволяющий восстанавливать амплитуду статического потенциала ПС и выполнять приближённое экспресс-определение минерализации пластовой воды;

– реализованный в виде программного обеспечения.

Личный вклад. Автором разработан и программно реализован алгоритм численного моделирования сигналов ПС в осесимметричной постановке с использованием метода конечных элементов. Корректность алгоритма подтверждена сопоставлением с аналитическими решениями и корректировочными палетками; выполнена его апробация на практических каротажных данных. Автором разработан и программно реализован метод количественной инверсии диаграмм ПС на основе их аналитической аппроксимации, проведены его проверка на синтетических данных и апробация на практических каротажных материалах. Выполнены анализ и обобщение полученных результатов, подготовлены научные публикации.

Высокая степень достоверности результатов проведенных исследований определяется следующим. Основным методом исследования сигналов ПС является численное моделирование в осесимметричных моделях геологических сред. Прямая задача формулируется на основе уравнения Пуассона и соответствующих граничных условий для электрического потенциала с описанием электрохимического источника тока в рамках формализма связанных потоков и

решается методом конечных элементов. Алгоритм разработан на основе широко используемого программно-алгоритмического обеспечения для решения прямой задачи бокового каротажного зондирования, созданного в ИНГГ СО РАН (разработчик: к.ф.-м.н. О.В. Нечаев) и реализованного на языке С++. При параметризации среды учитываются слоистое строение разреза, радиальная неоднородность прискважинной области с заданным числом зон и петрофизические свойства песчано-глинистых коллекторов, включая содержание и тип глинистых минералов. Верификация алгоритма проводилась на синтетических данных и практических диаграммах ПС, полученных при каротаже скважин на месторождениях Юго-Восточной Азии. Результаты численного моделирования сопоставляются с известными аналитическими решениями и данными корректировочных палеток ПС. При моделировании практических диаграмм параметры среды задаются в рамках тонкослоистых геоэлектрических моделей, построенных по результатам инверсии сигналов высокочастотного индукционного каротажного изопараметрического зондирования (ВИКИЗ), а также с привлечением результатов интерпретации данных других методов ГИС и лабораторных исследований керна.

Для количественной интерпретации диаграмм ПС предлагается метод аналитической аппроксимации. Форма локальных аномалий по глубине описывается функцией, построенной на основе двух сигмоидальных переходов на кровле и подошве пласта, параметры которой связываются с геоэлектрическими характеристиками прискважинной области. Неизвестные коэффициенты в этих зависимостях определяются путём минимизации невязки между аналитическими и синтетическими диаграммами, рассчитанными с помощью ресурсоемкого метода конечных элементов. Для приближённого определения минерализации пластовой воды используются восстановленная амплитуда статического ПС, априорные геоэлектрические и петрофизические параметры среды, а также значения пластовой температуры. Апробация метода аналитической аппроксимации проводилась на синтетических диаграммах ПС и при интерпретации значительного числа практических диаграмм ПС, полученных при каротаже скважин на месторождениях Западной Сибири.

Теоретическая и практическая значимость. Разработанный алгоритм численного моделирования расширяет возможности анализа источников сигналов ПС в сложнопостроенных терригенных разрезах. Алгоритм позволяет описывать радиальную неоднородность прискважинной области с помощью заданного числа зон с различными геоэлектрическими параметрами и учитывать петрофизические свойства песчано-глинистых коллекторов, включая содержание и тип глинистых минералов. С его использованием установлены особенности влияния геоэлектрических и петрофизических параметров среды на форму и амплитуду сигналов ПС. Программная реализация алгоритма может применяться для расчёта синтетических диаграмм в реалистичных моделях геологических сред, оценки влияния прискважинных условий на измеряемые сигналы и обоснования подходов к интерпретации реальных каротажных данных. Практическая применимость алгоритма подтверждена результатами моделирования и интерпретации данных ПС в водонасыщенных песчано-глинистых разрезах.

Предложенный метод аналитической аппроксимации развивает подходы к количественной интерпретации диаграмм ПС посредством установления связей между параметрами локальных по глубине аномалий и геоэлектрическими характеристиками прискважинной области. Метод позволяет учитывать влияние зоны проникновения и описывать сигналы ПС в сложнопостроенных многопластовых моделях без многократного выполнения ресурсоёмких прямых расчётов. Восстановленная в результате аппроксимации амплитуда статического потенциала ПС используется для приближённого экспресс-определения минерализации пластовой воды при наличии априорных геоэлектрических и петрофизических данных. Практическая применимость метода показана на каротажных материалах, полученных при каротаже скважин на месторождениях Западной Сибири.

Все вышесказанное позволяет утверждать, что представляемое диссертационное исследование является **самостоятельной законченной работой и соответствует паспорту специальности 1.6.9 – «геофизика»** (п. 14 «Математические и численные исследования в теории прямых и обратных задач геофизики (сейсмики, геоэлектрики, гравиметрии, магнитометрии, геотермики,

ядерной геофизики, петрофизики, дистанционных зондирований Земли), включая геофизические методы разведки, скважинную и инженерную геофизику. Разработка алгоритмов решения прямых и обратных задач геофизики, методов аппроксимации геофизических полей, цифровой фильтрации, нейронных сетей и машинного обучения для повышения разрешающей способности методов и подавления помех, построения изображений. Создание соответствующих компьютерных технологий, в том числе для суперкомпьютеров и графических процессоров, и их применение в геолого-геофизической практике при достаточной математической новизне» и п. 16 «Методы обработки и интерпретации результатов измерений геофизических полей») **по физико-математическим наукам**.

Научные результаты и положения диссертационной работы докладывались и получили одобрение специалистов на международных и всероссийских конференциях: 19th International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics (Rhodes, Greece, 2021), всероссийской молодежной научной конференции с участием иностранных учёных «Трофимуковские чтения» (Новосибирск, 2021, 2023), XVIII, XIX и XXII Международной научной конференции «Интерэкспо ГЕО-Сибирь» (Новосибирск, 2022, 2023, 2026), международной научно-практической конференции ЕАГЕ Геомодель «ГеоБайкал» (Иркутск, 2023), VI Всероссийской молодежной научно-практической школы-конференции «Науки о Земле. Современное состояние» (Шира, Хакасия, 2023).

Материалы диссертации полностью изложены в 12 научных работах, из них 3 статьи в ведущих рецензируемых научных журналах из перечня ВАК (все – категории К1), 1 статья в другом рецензируемом научном журнале, 8 публикаций в сборниках материалов международных и всероссийских конференций. Кроме того, получены 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Основные публикации (7):

Статьи в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК

1. Epov M. Finite-Element Modeling of Spontaneous Potential in an Axisymmetric Reservoir Model with Account of Its Shale Content / M. Epov, **A. Glinskikh**, O. Nechaev // Geosciences. – 2022. – Vol. 12. – № 1. – Art. 30.

Соискателем разработан, программно реализован и протестирован алгоритм моделирования потенциалов самопроизвольной поляризации методом конечных элементов в осесимметричной постановке с учётом адсорбционной активности глинистых минералов. Физико-математическая модель сформулирована в рамках теории связанных потоков. Численно воспроизведены известные аналитические решения, установлены зависимости амплитуды и формы сигналов ПС от минерализации пластовой воды, толщины проницаемого пласта и отношения УЭС пласта и бурового раствора. Выполнено сопоставление синтетических и практических данных каротажа ПС с результатами лабораторных исследований керна из нижнемеловых отложений месторождений Западной Сибири.

2. **Глинских А.В.** Аппроксимация диаграмм каротажа потенциалов самопроизвольной поляризации аналитическими функциями для экспресс-определения минерализации пластовой воды / А.В. Глинских, М.И. Эпов // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2024. – № 4а. – С. 46-55.

Соискателем предложен подход к определению минерализации пластовой воды путём аппроксимации диаграмм ПС суперпозицией сигмоидальных функций, параметры которых связаны с геоэлектрическими характеристиками среды и используются для коррекции сигналов с учётом заглинизированности пласта-коллектора. Проанализирована применимость различных сигмоидальных функций в широком диапазоне геоэлектрических условий. Эффективность подхода подтверждена на синтетических диаграммах ПС, рассчитанных с помощью разработанного алгоритма численного моделирования, и практических каротажных материалах из интервалов песчано-глинистых коллекторов Западной Сибири.

3. Danilovskiy K. Finite Element Modeling of Spontaneous Potential Well Logs in Complex Near-Wellbore Environments / K. Danilovskiy, **A. Glinskikh**, A. Petrov // Geosciences. – 2026. – Vol. 16. – № 5. – Art. 192.

Соискателем разработан конечно-элементный алгоритм моделирования сигналов ПС в сложнопостроенной прискважинной области. Физико-математическая модель основана на численном решении уравнения Пуассона с

электрохимическим источником тока и учитывает диффузионно-адсорбционные процессы, плавное изменение УЭС пород, свойств флюидов и глинистости. Корректность алгоритма подтверждена сопоставлением с аналитическими решениями, корректировочными палетками и результатами ранее выполненных численных исследований. На практических данных газового месторождения Юго-Восточной Азии получены согласующиеся с независимыми оценками значения минерализации пластовой воды и числа переноса катионов.

Статьи в других рецензируемых научных журналах

4. **Глинских А.В.** Развитие физико-математических моделей потенциалов самопроизвольной поляризации для каротажа нефтегазовых скважин / А.В. Глинских, О.В. Нечаев // Геофизические технологии. – 2022. – № 2. – С. 30-43.

Соискателем выполнен анализ известных публикаций по разработке моделей явления самопроизвольной поляризации и подходов к моделированию потенциалов ПС, сделан вывод о необходимости создания новых алгоритмов многомерного численного моделирования в совокупности с использованием детальных физико-математических моделей заглинизированного пласта-коллектора, необходимых для повышения качества интерпретации больших объёмов каротажных данных. С использованием метода конечных элементов разработан алгоритм численного моделирования потенциалов самопроизвольной поляризации в приближении аксиальной симметрии с учётом содержания и типа глинистых минералов; выполнено численное моделирование потенциалов самопроизвольной поляризации в интервалах песчано-глинистых нижнемеловых коллекторов Западной Сибири.

Программы для ЭВМ

5. **Глинских А.В.** Программа численного моделирования данных каротажа потенциалов самопроизвольной поляризации SP_FEM / А.В. Глинских, О.В. Нечаев // Свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2022666046, опубл. 24.08.2022.

6. **Глинских А.В.** Программа для повышения вертикального разрешения сигналов каротажа потенциалов самопроизвольной поляризации SP_Enhancer / А.В. Глинских, К.Н. Даниловский // Свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2023687075, опубл. 11.12.2023.

7. Даниловский К.Н. Программа численного моделирования сигналов каротажа потенциала самопроизвольной поляризации SPEAR / К.Н. Даниловский, **А.В. Глинских** // Свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2026661235, опубл. 17.04.2026.

Соискателем разработан комплекс программ для численного моделирования, аналитической аппроксимации и быстрой интерпретации данных каротажа ПС. Реализованные алгоритмы основаны на решении прямой задачи методом конечных элементов и аппроксимации диаграмм аналитическими функциями с учётом геоэлектрических и петрофизических параметров прискважинной области. Комплекс программ позволяет рассчитывать синтетические диаграммы ПС в сложнопостроенных моделях геологических сред, повышать вертикальную разрешающую способность сигналов и выполнять экспресс-оценку минерализации пластовой воды.

Научные исследования проводились по проекту ФНИ на 2022-2025 гг. (№ FWZZ-2022-0026).

Тема диссертации утверждена на заседании Учёного совета ИНГГ СО РАН 6 декабря 2021 г., протокол № 12.

При экспертизе текста диссертации, автореферата, публикаций, а также результатов проверки текста системой «Антиплагиат» **установлено**, что диссертация **соответствует всем требованиям п. 14** «Положения о присуждении ученых степеней»:

- соискателем сделаны ссылки на все источники заимствования материалов, **фактов некорректного цитирования или заимствования без ссылки** на соавторов в тексте диссертации и автореферате **не обнаружено**;
- **сведения, представленные соискателем**, об опубликованных им работах, которых **полностью изложены** основные научные результаты диссертации, **достоверны**;
- в тексте диссертации соискателем отмечено, какие результаты получены им лично, а какие - в соавторстве.

Диссертация Глинских А.В. **«Интерпретация потенциалов самопроизвольной поляризации в терригенных отложениях с применением**

метода конечных элементов и аппроксимации сигмоидальными функциями» рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.9 – «геофизика», поскольку представляет собой научно-квалификационную работу, в которой на основе теории связанных потоков, метода конечных элементов и аналитической аппроксимации диаграмм разработаны алгоритмы численного моделирования и быстрой интерпретации сигналов ПС, позволяющие учитывать геоэлектрические и петрофизические параметры песчано-глинистых коллекторов и выполнять экспресс-определение минерализации пластовой воды, что вносит вклад в развитие физико-математических основ метода ПС и имеет важное практическое значение для интерпретации каротажных данных.

Заключение принято на заседании Учёного совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук. Присутствовало на заседании 28 чел. Результаты голосования: «за» - 28 чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 0 чел., протокол № 11 от 28 сентября 2026 г.

Заключение оформила:
Ученый секретарь ИНГГ СО РАН,
к.т.н. М.Й. Шумскайте