



**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Научная станция Российской академии наук в г. Бишкеке
(НС РАН)**

Кыргызская Республика, 720049 г. Бишкек-49 тел.: 996 (312) 61 31 40

E-mail: nsran_dir@mail.ru; rybin99@yandex.ru; <http://www.gdirc.ru>

УТВЕРЖДАЮ:



Директор НС РАН, д.ф.-м.н.

Рыбин А.К.

4 ноября 2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертационную работу Гончарова Алексея Алексеевича

**«Применение псевдослучайных (шумоподобных) сигналов источника для
повышения эффективности электроразведки и сейсморазведки»**

на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

1.6.9. – «Геофизика»

Актуальность

Эффективность применения геофизических методов во многом определяется помехоустойчивостью систем регистрации и обработки данных. В настоящем исследовании рассмотрены подходы к снижению влияния нерегулярных волн-помех в морской импульсной электроразведке методом зондирования становлением поля (ЗС) в условиях Арктического шельфа, а также в вибрационной сейсморазведке для зон распространения многолетнемерзлых пород в городской застройке арктических городов.

В морском варианте метода зондирования становлением поля (ЗС) традиционно применяется режим накопления, эффективность которого ограничивается геометрией установки, мощностью источника и

невозможностью длительных наблюдений в одной точке. Аналогичные ограничения наблюдаются и в системах вибрационной сейсморазведки, где традиционные частотно-модулированные свип-сигналы не всегда обеспечивают достаточное временное разрешение и устойчивость к фоновым сейсмическим помехам. Вышеуказанные обстоятельства предопределяют актуальность поиска подходов, позволяющих улучшить качество данных в условиях влияния помехи.

В то же время, имеющиеся данные указывают на то, что использование псевдослучайных (шумоподобных) сигналов источника позволяет существенно повысить отношение сигнал/шум за счёт широкополосных спектральных характеристик и статистических свойств, близких к белому шуму. В ряде работ, на которые ссылается автор, было показано, что при равных условиях шумоподобные псевдослучайные последовательности тока в качестве сигналов источника обеспечивают в 3–5 раз более эффективное подавление шумов по сравнению с традиционным режимом накопления, что особенно важно для морской среды, где затухание сигнала на поздних стадиях выражено слабее.

В случае вибрационной сейсморазведки использование псевдослучайных последовательностей импульсов позволяет формировать возбуждающие сигналы с автокорреляционной функцией, близкой к δ -импульсу, обладающей узким основным лепестком и быстро затухающими боковыми, что может значительно повысить точность выделения сейсмических отражений в условиях высокой зашумленности. Это особенно важно при инженерно-геофизических исследованиях и мониторинге состояния мерзлоты под объектами капитального строительства.

Учитывая широкий спектр преимуществ псевдослучайных сигналов, их дальнейший анализ и внедрение в состав современных комплексов импульсной электроразведки и вибрационной сейсморазведки представляются высоко перспективными, в том числе для приложений, рассматриваемых в диссертации.

Объект и предмет исследования

В качестве объекта исследования выступает помехозащищенность геофизических систем зондирования становлением поля и вибрационной

сейсморазведки. Диссертационная работа посвящена исследованию возможностей применения псевдослучайных кодовых последовательностей в качестве сигналов источника в геофизических системах зондирования методом становления поля и вибрационной сейсморазведки с целью повышения соотношения сигнал/шум при геофизических работах.

Основу исследования составляет моделирование синтетических откликов среды с добавлением экспериментально зарегистрированных шумов и последующим восстановлением полезного сигнала методами деконволюции и кросс-корреляции. Используемые автором синтетические модели отражают характерные геологические особенности Арктического шельфа России и грунтов оснований зданий и сооружений города Салехард (ЯНАО). При этом в анализ включены экспериментально-зарегистрированные шумы, полученные в рамках геофизических работ в названных районах.

В работе предложены методы повышения эффективности помехоподавления в системах морской малоглубинной импульсной электроразведки методом зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ) на основе применения зондирующих токовых импульсов в форме псевдослучайных (шумоподобных) последовательностей. Также рассмотрен подход, основанный на использовании шумоподобных сигналов в вибрационной сейсморазведке применительно к решению инженерно-геологических задач, связанным с картированием приповерхностных многолетнемерзлых пород.

Структура работы

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 49 наименований, изложена на 135 страницах машинописного текста, содержит 62 рисунка и 6 таблиц.

Цель исследования

Повышении эффективности помехоподавления в системах морской импульсной электроразведки и вибрационной сейсморазведки за счет применения зондирующих токовых импульсов и возбуждающих свип-сигналов,

соответственно, в форме псевдослучайных (шумоподобных) последовательностей (ПСП, ШПС).

Основные задачи

- Теоретическая оценка эффективности использования псевдослучайных последовательностей импульсов тока в системе малоглубинной морской электроразведки методом становлением поля на основе математического моделирования и доступных экспериментальных данных.
- Теоретическая оценка эффективности использования псевдослучайных последовательностей импульсов механической нагрузки в системах вибрационной сейсморазведки на основе математического моделирования и доступных экспериментальных данных.
- Разработка алгоритмов и программного обеспечения для обработки данных импульсной электроразведки и вибрационной сейсморазведки, полученных в режиме псевдослучайных (шумоподобных) возбуждающих сигналов.

Научная новизна работы

В рамках работы впервые совместно проанализированы типичный полезный сигнал, а также характеристики электромагнитных и сейсмических шумов, соответствующих условиям шельфа Арктики и районам городской застройки на территориях с нестабильной мерзлотой, соответственно.

С использованием вышеупомянутых характеристик впервые получены оценки помехоподавления в режиме зондирования становлением поля с использованием морской буксируемой диполь-дипольной установки и псевдослучайных (шумоподобных) последовательностей импульсов тока в геоэлектрических условиях Арктического шельфа, включая типичные кривые полезного сигнала и ряды шума.

Кроме того, впервые исследована возможность использования шумоподобных свип-сигналов в качестве управляющих сигналов для вибрационной сейсморазведки при решении инженерно-геологических задач в условиях городской застройки арктических территорий России, с учетом типичных характеристик полезного сигнала и шума.

Результаты диссертационной работы и их практическая значимость

В диссертации представлены результаты теоретической и практической оценки эффективности применения шумоподобных сигналов источника в импульсной электроразведке и вибрационной сейсморазведке применительно к условиям Арктического региона. Проведено моделирование и анализ полевых данных, включая материалы рейса АМК-82 в море Лаптевых и экспериментальные шумы, зарегистрированные в районе города Салехард. Установлены характеристики помех и показано, что использование псевдослучайных последовательностей позволяет существенно повысить уровень помехоподавления и расширить диапазон достоверных сигналов по сравнению с традиционными методами. Разработанные алгоритмы и программное обеспечение обеспечили точное восстановление кривых сопротивления и сейсмограмм, подтвердив эффективность предложенного подхода. Полученные результаты обладают высокой научной и практической значимостью для электромагнитной и сейсмической геофизики.

Применение шумоподобных сигналов различного типа в морских буксируемых установках ЭМ-зондирования позволит значительно улучшить качество получаемых данных, что, в свою очередь, повысит глубинность и разрешающую способность метода и позволит получать более точные геоэлектрические модели в задачах картирования подводной мерзлоты и разведки месторождений полезных ископаемых в условиях шельфа. Автором планируется внедрение разработанных подходов и алгоритмов, основанных на применении псевдослучайных последовательностей в качестве управляющих сигналов для систем малоглубинной электроразведки, в состав комплекса морской электроразведки компании «МГУ-Геофизика». Реализация предусмотрена на базе генератора тока «ТЭЛЛС-3Э» производства ООО «Геосигнал» с использованием модуля дополнительной коммутации. Для обработки сигналов, получаемых с данной генераторной системы, предполагается использование алгоритмов и программного обеспечения, разработанных автором в рамках диссертационной работы.

Аналогичный вклад ожидается в связи с применением шумоподобных свип-сигналов в системах вибрационной сейсморазведки, где они потенциально

могут обеспечить улучшенное подавление нерегулярных волн-помех как в инженерно-геологических приложениях (выявление зон проставания многолетнемерзлых пород под зданиями и сооружениями на арктических территориях), так и в задачах поиска/мониторинга нефтегазовых месторождений. Внедрение результатов, связанных с использованием псевдослучайных (шумоподобных) свип-сигналов в вибрационной сейсморазведке, позволит существенно улучшить эффективность помехоподавления и увеличить глубину зондирования. Практическая реализация такого подхода становится возможной благодаря современным электромеханическим вибраторам, способным генерировать как продольные, так и поперечные волны произвольной формы.

Таким образом, практическая значимость работы определяется вкладом в повышение эффективности существующих геофизических методов.

Достоверность научных положений, изложенных в диссертации, подтверждается результатами, полученными с применением стандартных алгоритмов математического моделирования и анализа экспериментальных данных.

Замечания по диссертационной работе

- В работе используется подход, предполагающий знание точной формы сигнала источника для последующей деконволюции или кросс-корреляции сигнала-отклика, однако нет пояснений, каким образом эта информация может быть получена (особенно, в случае систем вибрационной сейсморазведки).
- В основных задачах и заключении упоминается разработанное автором программное обеспечение (программные инструменты) для деконволюции и корреляционной обработки сигналов, однако нет хотя бы сжатого его описания (краткий перечень функций, формат входных/выходных данных, правила использования, технические и функциональные ограничения применимости, и т.п.), сосредоточенного в одном месте. Это затрудняет оценку проделанной автором, несомненно, значительной, работы и перспектив дальнейшего использования данных программных инструментов.

- В параграфе 4.2 автор оценивает качество восстановления коэффициентов отражения для случая псевдослучайных сигналов с прямоугольными импульсами и модельного гауссовского шума, в связи с чем возникает два замечания: 1) идеально прямоугольные импульсы механической нагрузки не реализуемы в вибраторе; 2) не приводятся параметры накладываемого синтетического шума. Представляется, что оба этих аспекта имеют важное значения для корректной оценки возможностей предлагаемого подхода на практике, когда ожидаемая форма сигнала источника и характеристики помехи могут оказаться существенно иными.
- Сделан вывод о том, что деконволюция с регуляризацией демонстрирует высокую устойчивость и точность восстановления коэффициентов отражения, особенно при использовании псевдослучайных последовательностей с относительно короткими импульсами. Отмечается, что метод корреляции, также обеспечивает хорошее качество восстановления при меньших вычислительных затратах. Вместе с тем, в работе не приведены количественные оценки вычислительных затрат и не представлен сравнительный анализ деконволюции во временной и частотной областях, хотя деконволюция в частотной области, как известно, требует значительно меньших вычислительных ресурсов.
- В параграфе 4.4 моделирование проведено для стратифицированной среды с зоной промерзания, таликом и многолетнемёрзлыми породами, характерными для условий городской застройки г. Салехарда. Однако рассматривается лишь один, наиболее вероятный сценарий. На наш взгляд, было бы целесообразно расширить исследование и рассмотреть несколько вариантов моделирования, например, сценарий полного промерзания на всю глубину области моделирования и сценарий, при котором верхний слой представлен исключительно таликовой зоной. Это позволило бы более полно оценить влияние различных геокриологических условий на результаты моделирования.

Выводы

Полученные диссертантом результаты обладают значительным научным потенциалом и представляют интерес для дальнейшего практического

применения. Исследование основано на моделировании процессов зондирования становлением поля (ЗСБ) и вибрационной сейсморазведки с использованием псевдослучайных последовательностей в качестве управляющих сигналов источника. В работе применялись как синтетические, так и доступные эмпирические данные, полученные в ходе экспедиции НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2020 г. (море Лаптевых), а также анализировались сейсмические записи, полученные в районе г. Салехарда (Ямало-Ненецкий автономный округ). На основе проведённых исследований разработаны методы повышения помехоустойчивости геофизических систем с использованием псевдослучайных сигналов источника, адаптированные для условий Арктического региона.

Не смотря на перечисленные выше замечания, диссертация А.А. Гончарова представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, обладающую научной новизной и практической значимостью. В диссертации представлены как теоретические расчёты, подтверждающие эффективность применения псевдослучайных сигналов в геофизических системах, так и практические результаты, которые могут быть использованы в дальнейшем при создании геофизической аппаратуры, с применением псевдослучайных кодовых последовательностей.

Все научные положения, выводы и рекомендации диссертационной работы обоснованы. Четыре сформулированные диссертантом защищаемые положения полностью раскрыты в тексте исследования. Диссертационная работа соответствует всем критериям, установленным п. 9 Положения "О порядке присуждения ученых степеней" (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, с изменениями и дополнениями) для ученой степени кандидата наук, а ее автор Гончаров Алексей Алексеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности "1.6.9 Геофизика".

Диссертационная работа Гончарова Алексея Алексеевича «Применение псевдослучайных (шумоподобных) сигналов источника для повышения эффективности электроразведки и сейсморазведки», автореферат и отзыв были

рассмотрены на заседании Ученого совета НС РАН, протокол № 7 от «31» октября 2025 г.

Отзыв подготовлен ведущим научным сотрудником, и.о. зав. Лабораторией комплексных исследований НС РАН, к.ф.-м.н., С.А. Имашевым и научным сотрудником, и.о. зав. Лабораторией перспективных аппаратурных разработок НС РАН, В.В. Бобровским.

Ведущий научный сотрудник,
и.о. зав. Лабораторией комплексных
исследований НС РАН,
кандидат физико-математических наук

С.А. Имашев

С.А. Имашев дает согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Научный сотрудник,
и.о. зав. Лабораторией перспективных
аппаратурных разработок НС РАН

В.В. Бобровский

В.В. Бобровский дает согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Подписи С.А. Имашева и В.В. Бобровского заверяю:

Ведущий специалист
отдела кадров НС РАН



О.Г. Жестовская