

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

о диссертационной работе Гончарова Алексея Алексеевича

«Применение псевдослучайных (шумоподобных) сигналов источника для повышения эффективности электроразведки и сейсморазведки», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.6.9 – «Геофизика»

Диссертационная работа Гончарова А.А. посвящена анализу возможностей применения псевдослучайных последовательностей (ПСП), или другими словами шумоподобных сигналов (ШПС), в качестве управляющих сигналов в геофизических измерительных системах. В частности, в системах зондирования становлением поля в ближней зоне применительно к морским наблюдениям в условиях шельфовых морей Российской Арктики, а также в системах вибрационной сейсморазведки при решении инженерно-геологических задач картирования многолетнемерзлых пород на территории Ямало-Ненецкого автономного округа в условиях городской застройки.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Во введении обосновывается актуальность темы исследований, определяется основная цель работы, формулируются решаемые задачи, описываются научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов. Дан список основных положений, выносимых на защиту. Приводится краткое содержание работы.

Первая глава содержит описание основных принципов импульсной электроразведки – метода зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ), с учетом особенностей морской буксируемой диполь-дипольной измерительной установки, предполагающей возбуждение поля токовой линией, перемещаемой вблизи поверхности воды и регистрацию соосной компоненты электрического поля. Также описываются принципы работы вибрационной сейсморазведки. Проанализированы виды переходных характеристик в электроразведке рассматриваемого вида. Описаны принципы корреляционной обработки виброграмм для сейсморазведки.

Вторая глава содержит основные сведения об использовании ШПС в геофизических измерительных системах, описание подходов к оценке переходной характеристики среды для электроразведки и сейсморазведки. Приведены основные принципы использования ПСП в качестве управляющего сигнала в системах вибрационной сейсморазведки.

Глава 3 посвящена анализу эффективности применения псевдослучайных (шумоподобных) сигналов в морской буксируемой диполь-дипольной системе

зондирования становлением поля. Отмечена проблема, связанная с помехами, возникающими при движении установке в проводящей водной толще. Изучены особенности шумов и полезного сигнала в условиях морского зондирования становлением поля на основе экспериментальных данных, полученных в рамках рейса судна «Академик Мстислав Келдыш» в море Лаптевых в 2022 году. Произведен сравнительный анализ эффективности помехоподавления в режиме накопления и при использовании ШПС, в результате которого показано, что наибольшую устойчивость к шумам обеспечивают немодулированные ПСП с длинными кодовыми элементами, благодаря их равномерному и энергетически насыщенному спектру.

В четвертой главе рассматривается возможность повышения разрешающей способности сейсморазведки за счёт использования широкополосных ПСП. Проведен анализ помехоподавления в рамках моделирования вибросейсмических данных при зашумлении синтетическим Гауссовским шумом и некоррелированным сейсмическим сигналом. Исследована эффективность применения псевдослучайных свип-сигналов на основе 2D моделирования вибросейсмических данных на примере модели мерзлых грунтов для района г. Салехард.

В Заключение сформулированы выводы по работе.

Актуальность темы. Эффективность использования геофизических методов при решении различных геологических задач в значительной степени определяется правильным выбором подходящих методик наблюдений и интерпретации полученных данных. В настоящей работе рассматривается проблема подавления нерегулярных помех в двух типах геофизических систем наблюдения – морской импульсной электроразведки и вибрационной сейсморазведки – применительно к условиям, характерным для задач картирования многолетнемерзлых пород. Одним из возможных решений является использование источников с псевдослучайной (шумоподобной) модуляцией. Такие сигналы характеризуются широким спектром и статистическими характеристиками, приближенными к гауссовскому шуму, что обеспечивает им высокую устойчивость к помехам. Они широко распространены в радиосвязи, радиолокации и радиоастрономии. Учитывая известные полезные свойства псевдослучайных сигналов и предшествующие, но весьма ограниченные попытки их опробования в ряде геофизических методов, целесообразно дальнейшее изучение эффективности использования подобных сигналов в комплексах импульсной электроразведки и вибрационной сейсморазведки.

Научная новизна. 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. С использованием вышеупомянутых характеристик впервые получены оценки помехоподавления в режиме зондирования становлением поля с использованием морской буксируемой диполь-дипольной установки и ПСП импульсов тока в геоэлектрических условиях Арктического шельфа, включая типичные кривые полезного сигнала и ряды шума. Исследована возможность использования шумоподобных свип-сигналов в качестве управляющих сигналов для вибрационной сейсморазведки при решении инженерно-геологических задач в условиях городской застройки арктических территорий, с учетом типичных характеристик полезного сигнала и шума.

Обоснованность научных положений. Работа содержит полное и ясно изложенное обоснование полученных результатов, сделанных выводов и заключений, с достоверными ссылками на литературу, приведены необходимые для проверки выкладки и доказательства. Все предложенные автором идеи реализованы и испытаны на модельных данных, продемонстрирована их эффективность.

Теоретическая значимость заключается в развитии научных представлений о применении ШПС в геофизике, а также в уточнении теоретических основ их использования для повышения помехоустойчивости и разрешающей способности при зондировании многолетнемёрзлых пород.

Практическая значимость определяется вкладом работы в повышение эффективности существующих геофизических методов картирования многолетнемёрзлых пород на арктических территориях за счёт внедрения ШПС и соответствующих алгоритмов обработки. Применение ШПС 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. ШПС в системах вибрационной сейсморазведки потенциально могут обеспечить улучшенное подавление нерегулярных волн-помех как в инженерно-геологических приложениях, так и в задачах поиска/мониторинга нефтегазовых месторождений.

Диссертацию Гончарова А.А. отличает сочетание прикладных результатов, корректного применения формальных методов, строгих математических построений с практической и методологической направленностью работы. Положительной особенностью является то, что все полученные результаты снабжены примерами обработки данных, подобранных под реальные геологические условия, подтверждающих справедливость полученных выводов и иллюстрирующих работоспособность приведенных алгоритмов. Стоит отметить завершенность, полноту и практическую направленность представленных в

диссертации исследований, логичность построения и четкость изложения материала. Диссертация и автореферат соответствуют требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Содержание автореферата полностью отражает основные результаты работы.

По теме диссертации соискателем опубликовано четыре научных статьи, из них три — в журналах, рекомендованных ВАК, две — в изданиях, индексируемых в базах WoS и Scopus. Результаты диссертационной работы обсуждались и докладывались на ряде конференций и семинаров.

Замечания по диссертации. Основные замечания по работе следующие:

1. Текст содержит небольшое количество опечаток. Например, Введение, с.9: «[Хасан и Кострыгин, 2018] рассмотрели ряд ШПС, а также сигналов с линейным изменением периода следования импульсов, показав, что спектры главных максимумов АКФ ШПС к спектрам единичных импульсов, используемых для построения этих последовательностей.» — не понятен смысл фразы.
2. При описании процесса формирования картины шумов не ясно, учитывалось ли конкретное значение возбуждающего сигнала. Из текста можно сделать вывод, что параметры работы генератора не учитывались, а просто исключалось среднее значение поля (п.3.2, с.56-57).
3. Стр. 65-66: «возникают сложности на ранних временах становления». Хотелось бы более подробных комментариев по этому вопросу.
4. Стр. 99: «Поскольку при вибрационном зондировании, в отличие от электромагнитного, в реальных условиях невозможно добиться реализации идеально прямоугольных импульсов...». В электромагнитных системах также невозможно реализовать идеально прямоугольные импульсы.
5. В работе не хватает оценок погрешностей, связанных с реализацией предложенных методов. В свете предыдущего замечания, например, имеет смысл оценить влияние ограничений на скорость включения/выключения тока.

Заключение. Указанные замечания отнюдь не снижают достоинств диссертационной работы, которая представляет собой законченное научное исследование на актуальную тему, обладающее научной новизной и практической значимостью. Считаю, что диссертация Гончарова А.А. «Применение псевдослучайных (шумоподобных) сигналов источника для повышения эффективности электроразведки и сейсморазведки» удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям и соответствует профилю специальности 1.6.9 — «Геофизика», а ее автор заслуживает

присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по указанной специальности.

Официальный оппонент

Е.В. Каршаков

Каршаков Евгений Владимирович, доктор технических наук,
Главный научный сотрудник Лаборатории №1 «Динамических информационно-
управляющих систем» Федерального государственного бюджетного учреждения
науки Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65, тел. +7 495 198 17 20, доб. 1353,
эл. адрес: karshakov@ipu.ru

03.10.2025

Подпись *Каршакова Е.В.*

ЗАВЕРЯЮ
Зав. общим отделом

Юсуп *Каршаков*

