

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Токарева Михаила Юрьевича

«Разработка технологии многоканальных сейсмоакустических исследований с заглубленными системами на мелководных акваториях»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Специальность 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков
полезных ископаемых.

Наметившаяся в последние годы тенденция увеличения объёмов морских инженерных изысканий в сложных сейсмогеологических условиях, в первую очередь, в арктических акваториях неизбежно вызывает потребность нефтегазовых компаний в повышении эффективности сейсмоакустических технологий, которые являются основной составляющей инженерных изысканий по обнаружению и классификации неоднородностей в структуре донных осадков, представляющих опасность для проведения разведочного и эксплуатационного бурения на море, а также строительства соответствующих сооружений, таких как платформы, трубопроводы, подводные энергетические и телекоммуникационные кабели и др.

В этом ключе диссертация М.Ю. Токарева предлагает, может быть даже впервые в отечественной практике за долгие годы, новую сейсмоакустическую технологию, объединяющую новые идеи в методике проведения 2Д-сейсмоакустики с возможностями численного анализа сейсмоакустических данных в широком диапазоне частот для получения упругих свойств (геотехнических параметров) донных осадков.

Диссертация М.Ю. Токарева состоит из введения, пяти глав и заключения, содержит 172 стр. текста, 113 рисунков, 11 таблиц и список литературы из 128 наименований.

Глава 1 «Современное состояние сейсмоакустических методов исследования строения и свойств придонных осадков» представляет собой глубокое аналитическое исследование действующих технологий в современной сейсмоакустике, которое приводит автора к обоснованию необходимости методики сейсмоакустических наблюдений с заглублёнными приёмно-излучающими буксируемыми системами, которые имеют определённые преимущества перед приповерхностными системами прежде всего по разрешающей способности и возможности регистрации реального зондирующего импульса. Здесь вывод автора об увеличении соотношения сигнал/шум в такой технологии кажется преувеличенным или даже неверным, да и решения этой проблемы с буксируемыми антеннами выходят далеко за рамки рецензируемой работы.

Завершается первая глава формулировкой 9-ти условий, которые необходимы для успешного кинематического и динамического анализа многоканальной сейсмоакустики для изучения верхней части разреза на

шельфе. Эти условия при некоторой конкретизации можно было бы рекомендовать для включения в межведомственный или государственный документ по стандартизации технологии инженерной сейсмоакустики.

В целом обзор современного состояния сейсмоакустических наблюдений на акваториях показал отсутствие на нашем рынке технологии определения упругих свойств донных осадков и потенциальную возможность решения такой задачи с использованием заглубленных систем с многоканальными приёмными антеннами.

Глава 2 «Разработка аппаратно-программного комплекса для многоканальной регистрации сейсмоакустических данных» посвящена разработке макетных образцов аппаратно-программных комплексов «Нильма» и «Нильма-2010», технологическая оригинальность которых защищена патентом 2006 года. Необходимость создания такого комплекса определена требованиями, сформулированными в первой главе, а также отсутствием на рынке доступных промышленных образцов такой техники с приемлемыми параметрами, что давно уже стало печальной реальностью.

Отличительными особенностями разработанного комплекса являются: возможность проведения многоканальных сейсмоакустических наблюдений в частотном диапазоне 50-5000 Гц; удобный интерфейс пользователя с возможностью контроля качества данных и проведения набортной предварительной обработки; малый вес и габариты (менее 100 кг, 150x50x100 см в транспортном виде), возможность работ с малотоннажных плавсредств, включая катера; мобильность, возможность развертывания в течение 20-30 мин., а также работоспособность заборной части комплекса при сильно отрицательных температурах, имея ввиду арктические условия работы. Конечно, разработанный комплекс имеет очевидные недостатки в виде недостаточной разрядности АЦП и вынужденном отсутствии отечественных комплектующих, что компенсируется мобильностью и эксплуатационной неприхотливостью.

Глава 3 «Разработка методики полевых многоканальных сейсмоакустических наблюдений». Начиная с 2003 года по настоящее время, разработанный аппаратно-программный сейсмоакустический комплекс «Нильма» и его модификации под руководством автора использовался при проведении опытно-методических работ для разработки технологии многоканальных сейсмоакустических наблюдений, как с обычными приповерхностными, так и с перспективными заглубленными системами. Особо следует отметить, что опытно-методические работы проводились ежегодно во время морской геофизической практики студентов на Беломорской биостанции МГУ с использованием плавсредств различного типа: от плотиков до типовых маломерных научно-исследовательских судов. Основным выводом автора из этих работ можно считать, что для многоканальных исследований на мелководных акваториях с целью построения глубинно-скоростной модели и сейсмических изображений до глубин 30-50 м с разрешающей способностью 0.2-0.5 м минимальными требованиями являются наблюдения в полосе частот 50-3000 Гц с 16-

канальной пьезокосой с шагом 2 м и регистрацией сигнала с 14-разрядным АЦП, так как при сейсмоакустическом профилировании динамический диапазон сигналов заведомо не превышает 60-90 дБ.

В результате анализа методических особенностей наблюдений с **приповерхностной системой** в Кандалакшском заливе Белого моря автор сделал следующие выводы:

- Геометрические параметры приемно-излучающей системы позволяют проводить стандартный кинематический анализ МОВ ОГТ с заданной точностью до заданных глубин.
- Стандартные средства привязки позволяют определять плановую геометрию расстановки с достаточной точностью.
- Форма зондирующего сигнала в общем случае не может быть определена в процессе наблюдений: прямая волна не может быть использована для определения излучаемого импульса в силу интерференции с отражением от поверхности воды, а импульс, накопленный по донному отражению, – в силу возможной интерференции с отражениями от поддонных границ.
- Условия возбуждения и приема неидентичны от выстрела к выстрелу в широкой полосе частот и амплитудно-частотные характеристики приемных каналов не могут быть измерены вне влияния поверхности воды.
- Влияние свободной поверхности и необходимость применения многоэлектродных излучателей для достижения необходимого частотного диапазона приводит к тому, что диаграмма направленности приемной и излучающей системы существенно отличается от сферической.

При этом основным выводом автора является утверждение, что данные сейсмоакустических наблюдений с приповерхностной расстановкой с одной стороны удовлетворяют требованиям кинематического анализа, а с другой - не обладают достаточным качеством для количественного анализа динамических характеристик.

Рассмотрение методических аспектов наблюдений с **заглубленной системой** в Кандалакшском заливе Белого моря показало следующее:

- Для выполнения стандартного кинематического анализ МОВ ОГТ на данных заглубленной системы необходимо привести наблюдения к единому уровню
- Для определения геометрии расстановки с заданной точностью недостаточно стандартных навигационных средств. Необходимо применять либо дорогостоящие средства подводной привязки, либо проводить дополнительные расчеты по временам прихода волн различных типов.
- Заглубление расстановки обеспечивает больший диапазон углов отражения и более высокую разрешающую способность по времени и по горизонтали по сравнению со стандартными наблюдениями.
- Форма зондирующего сигнала может быть определена в процессе наблюдений по прямой волне

- Условий приема и возбуждения мало меняются от выстрела к выстрелу и могут быть приведены к идентичным с использованием зарегистрированного зондирующего импульса.

- Использование заглубленного одноэлектродного спаркера позволяет получить сферическую диаграмму направленности при сохранении требуемой центральной частоты излучения, а применение одиночных гидрофонов без группирования – сферическую диаграмму направленности для приемной системы.

В целом можно сказать, что методика работ с заглубленными приемно-излучающими установками обладает несомненными преимуществами для решения задач динамического анализа данных сейсморазведки «сверхвысокого» и «ультравысокого» разрешения в частотном диапазоне 150-3500 Гц, а традиционная приповерхностная методика удовлетворяет всем требованиям кинематического анализа.

Комбинированная методика многоканальных наблюдений, объединяющая приповерхностную и заглублённую буксировку приёмно-излучающих систем, была названа автором **двухуровневым трёхчастотным сейсмоакустическим профилированием** и впервые опробована в 2016 году на акватории моря Лаптевых (96-канальное сейсмопрофилирование с косой длиной 300 м и пневмоисточником на глубине 1.5 м, 16-канальная коса длиной 50 м со спаркером на глубине 15-25 м и узколучевой параметрический профилограф на 8 кГц). Дополнение многоканальных наблюдений высокочастотным непрерывным сейсмоакустическим профилированием в набортном или заглубленном варианте позволяет за один проход судна получать данные в трех частотных диапазонах характерных для всех принятых видов морских сейсморазведочных работ предназначенных для изучения верхней части геологического разреза. Комбинирование этих систем и проведение исследований в различных частотных диапазонах с попеременным возбуждением (flip-flop) сигналов низкочастотным источником у поверхности и высокочастотным на глубине с одновременным приемом на заглубленные и приповерхностные сейсмические косы открывает исключительные возможности использования динамических и кинематических особенностей отраженных волн для определения физических свойств геологической среды. Эту методику двухуровневого трёхчастотного сейсмоакустического профилирования можно назвать главным технологическим достижением диссертанта.

Тем не менее, следует отметить, что основным ограничением описываемой технологии является реальная возможность определения пространственного положения буксируемых систем с точностью, диктуемой задаваемой пространственной разрешающей способностью, и с дополнительными ограничениями, определяемыми стоимостными параметрами навигационного оборудования.

Глава 4 «Разработка графа обработки данных многоканальных сейсмоакустических наблюдений с заглублёнными системами». В главе

приведено описание разработанных процедур и продемонстрирована последовательность обработки данных многоканальных сейсмоакустических исследований с заглублённой системой для определения структуры и свойств донных осадков. При этом последовательность процедур обработки та же, что и для данных, получаемых при помощи других модификаций МОВ ОГТ. Разработанный граф обработки многоканальных сейсмоакустических данных включает специальные оригинальные модули для работы с данными заглубленных систем для выполнения кинематического анализа, а также позволяет восстановить «истинные амплитуды» для их дальнейшего использования в целях динамического анализа

Автор считает, что основным требованием к подготовке данных для динамического анализа является восстановление «истинных амплитуд», т.е. коррекция амплитуды и формы зондирующего импульса либо с помощью поправок за неидентичность каналов по контрольным замерам и компенсации нестабильности излучения по результатам записи на контрольном канале, либо путем потрассовой деконволюции с сигнатурой прямой волны. В случае контрастного разреза для коррекции амплитуд за расхождение фронта уже необходима достоверная скоростная модель.

Глава 5 «Примеры применения технологии исследований с заглублёнными системами». В главе приведены примеры количественной интерпретации результатов сейсмоакустических исследований, проведённых с заглублённой системой в рамках инженерных изысканий, из которых наиболее интересными являются определения упругих свойств газонасыщенных осадков, а также пример наблюдений с описываемой автором двухуровневой приёмно-излучающей системой в арктических условиях для выделения зон газонасыщенных и многолетнемёрзлых грунтов. При этом двухуровневая технология в трёх диапазонах частот (200 Гц, 700 Гц, 8 кГц) позволила достичь оптимальных параметров съёмки по глубинности и вертикальной разрешающей способности за один проход судна.

Диссертация М.Ю.Токарева представляет собой законченное исследование технологий многоканальных сейсмоакустических исследований с заглублёнными приёмно-излучающими системами, включающее разработку программно-аппаратного комплекса для проведения морских работ с этой технологией и многочисленные примеры практического применения разработанной технологии в практике инженерно-геофизических изысканий в интересах строительства морских сооружений, в т.ч. в арктических акваториях. Материалы диссертации можно рассматривать как справочное пособие по методике морских инженерных сейсмоакустических исследований и рекомендовать их для использования в подготовке отраслевых нормативных документов.

Основные защищаемые положения полностью обоснованы и блестяще иллюстрированы графиками, таблицами, а также сейсмоакустическими разрезами на разных стадиях обработки первичных морских данных.

Представленная диссертационная работа М.Ю.Токарева соответствует всем требованиям п.9 действующего Положения ВАК о порядке присуждения учёных степеней, предъявляемых к кандидатским диссертациям, и паспорту специальности, а её автор, Токарев Михаил Юрьевич, заслуживает присвоения учёной степени кандидата технических наук по специальности 25.00.10 – геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

Кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник
Лаборатории сейсмостратиграфии
Федерального бюджетного учреждения науки «Институт океанологии им.
П.П.Ширшова РАН»
117997, Москва, Нахимовский проспект, 36
Тел.: 8 (499) 124-59-96
E-mail: lmerklin@ocean.ru
Website: www.ocean.ru
28 ноября 2016 года

Лев Романович Мерклин

(подпись)

