

На правах рукописи

Садуртдинов Марат Ринатович

**МЕТОДИКА ДОННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
НА ПРЕДЕЛЬНОМ МЕЛКОВОДЬЕ АРКТИКИ**

25.00.10 Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2013

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт криосферы Земли Сибирского отделения Российской академии наук (ИКЗ СО РАН)

Научный руководитель: кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
Скворцов Андрей Георгиевич

Официальные оппоненты: Зыков Юрий Дмитриевич
доктор геолого-минералогических
наук, старший научный сотрудник,
МГУ им. М.В. Ломоносова,
заведующий лабораторией

Аникин Олег Петрович
кандидат технических наук,
Московский государственный
строительный университет,
ведущий научный сотрудник

Ведущая организация: открытое акционерное общество
«Фундаментпроект»

Защита состоится 20 февраля 2013 года в 14 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д 501.001.64 при Московском государственном университете им. М. В. Ломоносова по адресу: 119991, ГСП-1, г. Москва, Ленинские горы, ГЗ МГУ, зона «А», геологический факультет, аудитория 308.

С диссертацией можно ознакомиться в читальном зале отдела диссертаций Фундаментальной библиотеки (Ломоносовский проспект, 27, сектор А, 8 этаж, к. 812).

Автореферат разослан 18 января 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Никулин Борис Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

В связи с необходимостью решения задач нефтегазовой отрасли, в последние годы вырос интерес к изучению геологического строения в пределах мелководных акваторий, особенно в криолитозоне.

Одной из них является инженерно-геокриологическое и инженерно-геологическое обеспечение строительства и функционирования инфраструктуры месторождений углеводородного сырья на мелководной части шельфа арктических морей. При освоении этих месторождений и их разработке возникает необходимость строительства крупных инженерных объектов – морских портов, терминалов, наземных и подводных трубопроводов и др., – расположенных в береговой зоне арктических морей. Для обеспечения оптимальных инженерных решений при проектировании и строительстве подобных сооружений, а также их безопасной эксплуатации, необходимы сведения об особенностях и пространственно-временной изменчивости инженерно-геокриологических условий в мелководной части шельфа арктических морей и прилегающих участках суши. При проектировании и строительстве трубопроводов, различных промышленных и гражданских объектов, решении задач их водоснабжения, нередко возникает потребность получения сведений об инженерно-геокриологических условиях на иных мелководных акваториях – озерах, реках и др.

Необходимость решения подобных задач на мелководных акваториях существует и за пределами криолитозоны, например, при проектировании речных переходов трубопроводов, мостов и других инженерных сооружений.

В настоящее время существуют сейсмические и акустические методы изучения геологического разреза на мелководных акваториях, однако их применение невозможно или ограничено с точки зрения технологии проведения работ и решения инженерно-геологических задач. Технологий, которые позволяют изучать геологическое строение первых метров-десятков метров при глубинах акватории менее 2-3 метров с использованием различных типов и классов волн, обеспечивающих получение сопоставимых сейсмических данных для решения инженерно-геокриологических задач при переходе от суши к морю в настоящее время не существует.

Актуальность работы определяется практической необходимостью изучения инженерно-геокриологических условий на предельном мелководье в криолитозоне и создания технологий для решения этой задачи

Цель работы – разработка методики донных сейсмических исследований изучения инженерно-геокриологических условий на предельном мелководье Арктики.

Для достижения этой цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Определить возможности и недостатки сейсмоакустических методов для изучения геологического и геокриологического разреза в пределах мелководных акваторий.
2. Установить и оценить возможности сейсмических критериев идентификации геокриологических границ.
3. Разработать технологическое оборудование для проведения донных сейсмических исследований в пределах мелководных акваторий.
4. Изучить структуру волнового поля на предельном мелководье Арктики и прибрежных участках суши.
5. Разработать методику донных сейсмических исследований на предельном мелководье Арктики и опробовать ее в различных геокриологических и инженерно-геологических условиях.

Научная новизна.

1. Впервые предложено использовать коэффициент Пуассона в качестве дополнительного критерия идентификации геокриологических границ в массивах водонасыщенных песчано-глинистых пород. Экспериментально установлено, что при величине коэффициента Пуассона 0,46 и более породы, независимо от их состава, температуры и минерализации, находятся в талом состоянии, при значениях 0,45 и менее – в мерзлом. Интервал величины коэффициента Пуассона 0,45-0,46 – граничный между мерзлым и талым состоянием пород. Использование коэффициента Пуассона наиболее эффективно при идентификации геокриологических границ в глинистых породах, находящихся в пластичномерзлом состоянии.
2. Разработано и сконструировано технологическое оборудование для возбуждения и регистрации упругих колебаний при проведении донных сейсмических исследований на мелководных акваториях, которое, в отличие от существующего в настоящее время оборудования, позволяет одновременно возбуждать и регистрировать продольные и поперечные SH-волны, и работать в том же частотном диапазоне, что и при наземных сейсмических исследованиях. Использование волн различных типов обеспечивает возможность не только повышения достоверности изучения строения инженерно-геокриологического разреза, но и оценки состояния пород – мерзлое или талое.
3. В полевых условиях экспериментально изучены неизвестные ранее закономерности структуры волнового поля продольных и поперечных SH-волн на мелководных акваториях и прибрежных участках суши. Доказано, что эффективное использование продольных волн возможно в условиях, когда талые породы находятся в состоянии полного водонасыщения. Использование продольных волн затруднено или невозможно в случае присутствия в верхней, талой части разреза неводонасыщенных пород и приоритет при изучении геокриологического разреза в этих условиях имеют поперечные SH-волны.
4. Выявленные закономерности структуры волнового поля позволили разработать на базе созданного сейсмического оборудования методику донных

сейсмических исследований на предельном мелководье Арктики. Впервые при проведении сейсмических исследований на акваториях реализована возможность совместного использования продольных и поперечных SH-волн – преломленных и отраженных, что обеспечивает надежную идентификацию геокриологических границ, высокую достоверность определения их конфигурации в разрезе и возможность оценки мерзлого состояния пород.

Личный вклад автора.

Работа написана на основании экспериментальных данных, полученных лично автором или при его непосредственном участии в период с 2005 по 2011 год в арктических экспедиционных работах в прибрежной части шельфа Баренцева и Карского морей, на восточном побережье полуострова Ямал в Обской губе и за пределами криолитозоны на речных акваториях.

Практическая значимость.

Методика донных сейсмических исследований, разработанная автором, позволяет получать достоверные данные об инженерно-геокриологических условиях на мелководных акваториях в криолитозоне с целью решения научных и прикладных задач. Эта методика может быть использована и за пределами криолитозоны для решения инженерно-геологических задач.

Эффективность и практическая возможность использования разработанной методики подтверждена положительными результатами, полученными при выполнении научно-исследовательских и хозяйственных работ по теме «Выполнить донные сейсмические исследования с целью изучения особенностей положения кровли многолетнемерзлых пород в прибрежной части акватории на западном берегу Обской губы в районе поселка «Мыс Каменный» (Заказчик – ЗАО «ГИДЭК»), а также результатами исследования речных переходов по трассе проектируемого газопровода Ухта-Торжок за пределами криолитозоны по теме «Опытно-методическое сопровождение сейсморазведочных исследований в рамках комплексных инженерно-геофизических работ по объекту «МГ Ухта-Торжок» (Заказчик – ООО «Деко-Проект»).

Защищаемые положения.

1. Коэффициент Пуассона – дополнительный сейсмический критерий для идентификации геокриологических границ и оценки качества мерзлого состояния. Экспериментально установлено, что в водонасыщенных песчано-глинистых породах интервал значений коэффициента Пуассона 0,45-0,46 – переходный между мерзлым и талым состоянием. При величине коэффициента Пуассона 0,46 и более породы находятся в талом состоянии, при 0,45 и менее – в мерзлом. Использование коэффициента Пуассона особенно эффективно при идентификации геокриологических границ в глинистых пластичномерзлых породах.

2. Технологическое оборудование для возбуждения и регистрации упругих колебаний при проведении донных сейсмических исследований на мелководных акваториях, в котором впервые реализована возможность одновременного возбуждения и регистрации продольных и поперечных SH-волн, и возможность

получения данных в том же частотном диапазоне, что и при наземных сейсмических исследованиях на прибрежных участках суши.

3. Закономерности структуры волнового поля продольных и поперечных SH-волн на предельном мелководье Арктики и прибрежных участках суши, позволившие установить, что при изучении строения геокриологического разреза возможности продольных волн ограничены наличием в верхней части разреза талых неводонасыщенных пород, а применение поперечных SH-волн – отраженных и преломленных обеспечивает надежное выделение геокриологических границ на предельном мелководье.

4. Методика донных сейсмических исследований инженерно-геологических условий на предельном мелководье Арктики, физическим обоснованием которой служат результаты многолетних экспериментальных исследований по изучению структуры волнового поля на мелководных акваториях и прибрежных участках суши. Практическая реализация методики выполнена на базе разработанного технологического оборудования для одновременного возбуждения и регистрации продольных и поперечных SH-волн. Методика обеспечивает изучение компонентов геологической среды, определяющих инженерно-геокриологические условия, – криогенного строения пород, условий их залегания, состояния пород, упругие свойства, условий залегания подземных вод.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 17 научных работ, в том числе 4 в журналах «Криосфера Земли», «Геология и геофизика» из Перечня ВАК.

Апробация. Основные результаты работы доложены на научных конференциях: международных практических конференциях по инженерной и рудной геофизике «Инженерная и рудная геофизика – 2007» (Геленджик, 2007), «Инженерная и рудная геофизика – 2008» (Геленджик, 2008), «Инженерная и рудная геофизика – 2009» (Геленджик, 2009), международных конференциях «Теория и практика оценки состояния криосферы Земли и прогноз ее изменения» (Тюмень, 2006), «Криогенные ресурсы полярных регионов» (Салехард, 2007), «Вклад России в Международный Полярный год (МПГ)» (Сочи, 2008), «Санкт-Петербург-2010. К новым открытиям через интеграцию геонаук» (Санкт-Петербург, 2010), IPY Oslo Science Conference (Oslo, 2010), «Четвертая конференция геокриологов России» (Москва, 2011), «Десятая Международная конференция по мерзлотоведению (TICOP): Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире» (Салехард, 2012).

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов, списка литературы. Материалы диссертации изложены на 109 страницах машинописного текста, содержат 45 рисунков, 3 таблицы. Список литературы содержит 79 источников, в том числе 13 на иностранном языке.

Благодарности. Автор глубоко благодарен своему научному руководителю, кандидату технических наук Скворцову А.Г., за неоценимую помощь на всех этапах исследований и написания работы; Цареву А.М. за постоянную поддержку, рекомендации и помощь при проведении научных работ; выражает благодарность доктору геолого-минералогических наук Фотиеву С.М. за ценные советы и помощь

при написании работы; сотрудникам ИКЗ СО РАН за внимание и консультации. Автор признателен кандидату геолого-минералогических наук Малковой Г.В. и кандидату геолого-минералогических наук Дубровину В.А. за организацию научных экспедиций, в ходе которых получен материал для написания работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследований, представлены основные научные результаты, отмечена практическая ценность, приведены объем и структура работы.

Глава 1. Возможности сейсмоакустических методов изучения геологического разреза на мелководных акваториях

К настоящему моменту существует ряд сейсмоакустических методов для изучения геологического разреза на акваториях, в частности на мелководье. Как правило, под мелководными акваториями понимаются те, где глубина воды не превышает 100-200 метров [Шалаева, Старовойтов, 2010]. Существуют понятия «предельное мелководье» и «транзитная» или «переходная зона» [Морская сейсморазведка, 2004; Транзитные зоны..., 2005]. Переходные (транзитные) зоны включают заливные части суши, широкие приливные зоны, близкие к побережью мелководные участки и пр., глубина воды в которых обычно менее 10-15 метров.

В зависимости от глубины акватории используются различные сейсмоакустические методы. При глубинах акватории более 3-5 метров возможно использование методов морской сейсмоакустики. При меньшей глубине используется переходная технология, основанная на совмещении элементов «морской» и «наземной» технологий.

На данный момент накоплен богатый опыт проведения исследований методами морской сейсмоакустики, получению и интерпретации сейсмических данных. Существует большое количество работ, как в отечественной, так и в зарубежной литературе, посвященных теории, методике и практики использования этих методов [Калинин и др., 1983; Орленок, 1997; Морская сейсморазведка, 2004; Гайнанов и др., 2006; Rogers, Morack, 1978 Hunter, 1978, 1984, 1990; McGee, 2000 и др.].

При проведении работ используются метод общей глубинной точки (ОГТ) – в случае многоканальных исследований и метод непрерывного сейсмического профилирования (НСП) – в одноканальном варианте. При этом применяются различные типы источников (электроискровые, пневматические и др.) и приемных устройств (плавучие и донные косы, буйковые и донные регистраторы). Поскольку источники и приемники находятся в водной среде, исследования проводятся на продольных и в отдельных случаях обменных волнах.

Использование этих волн ограничивает возможности сейсмоакустических исследований на акваториях. При наличии в геологическом разрезе газонасыщенных отложений их использование оказывается неэффективно, поскольку такие отложения являются своеобразным «экраном» для прослеживания в разрезе нижележающих

границ [Рокос и др., 2001; Длугач и др., 2010; Шалаева, Старовойтов, 2010; Рекант, Васильев, 2011].

При глубинах акватории менее 3-5 метров использование морских сейсмоакустических методов невозможно в силу их технологических особенностей. Кроме того, при работе в транзитной зоне, необходимо получение идентичной по частотному спектру сейсмической информации при переходе от суши к акватории (для увязки «морских» и «наземных» профилей).

В последнее время, в связи с возрастающими темпами освоения недр шельфов морей, резко возросло и число работ и организаций, которые разрабатывают специальную аппаратуру и технологии для изучения геологического строения на предельном мелководье [Запорожец и др., 2002; Захаров, 2005, Иванов, 2005; Шумский и др. 2005; Шнеерсон, Шехтман, 2005; Гуленко и др., 2007; Жгенти, 2009; Хауэр, Джеймс, 2009; Хофф, Шмелик, 2009; Рошмаков и др., 2010 и др.].

Основой для этих методик является опыт морской сейсморазведки. В большинстве случаев разрабатывается аппаратура для регистрации сейсмических колебаний, а их возбуждение осуществляется с помощью источников, применяемых в морской сейсморазведке. Как и в случае проведения исследований методами морской сейсмоакустики, при использовании этих методов и технологий существует проблема, связанная со сложностью интерпретации данных, в случае наличия в разрезе газонасыщенных осадков. Помимо этого, при использовании подобных источников при небольшой глубине акватории, возникают дополнительные трудности, связанные, в первую очередь, с наличием регулярных волн-помех – кратные, волны отраженные от водной поверхности, которые находятся в интерференции с полезным сигналом [Жгенти и др., 2008].

Разработанные методы и технологии для проведения исследований в транзитных зонах, направлены на изучение геологического строения, начиная с глубин 40-50 метров. Поэтому они не позволяют получить информацию об инженерно-геологических особенностях геологического разреза.

Для проведения исследований с целью изучения геологического разреза в переходных зонах возможно использование методов, применяемых в наземной сейсморазведке. Однако в литературе упоминание о подобном опыте выполнения работ крайне мало [Пугач и др., 1990; Туркель и др., 2008; Рошмаков др. 2008; Саловский и др., 2009; Hunter, Pullan, 1990]. При этом они носили экспериментальный характер и исследования проводились также только с помощью продольных волн.

Анализ литературных данных, посвященных проблеме изучения инженерно-геологических особенностей разреза на мелководных акваториях с помощью сейсмоакустических методов показывает, что существующие в настоящее время методы и технологии не могут быть использованы для решения поставленной задачи ввиду целого ряда ограничений принципиального и технологического характера.

Таким образом, создание методики для изучения инженерно-геологических особенностей строения геологического разреза на мелководных акваториях, в том числе в криолитозоне, является актуальным и востребованным.

Выводы:

Анализ литературных источников о возможностях и ограничениях существующих сейсмоакустических методов изучения геологического разреза и оценки инженерно-геокриологических и инженерно-геологических свойств на мелководных акваториях позволил сделать следующие выводы:

1. Показано, что методы морской сейсмоакустики возможно использовать при глубинах акваторий более 3-5 метров, при меньших глубинах используются специальные методики с элементами технологий морской и наземной сейсморазведки.

2. Установлено, что в настоящее время сейсмоакустические исследования проводятся преимущественно с помощью продольных волн (реже с помощью обменных PS-волн), что не является достаточным для изучения инженерно-геокриологических и инженерно-геологических условий исследуемых объектов, когда кроме геологического строения необходимо получение сведений о свойствах и состоянии пород.

3. Использование продольных волн затруднено или невозможно при наличии в разрезе газонасыщенных пород. В этой связи возникает необходимость изучения возможности использования поперечных SH-волн для решения геологических задач.

4. Показано, что в настоящее время не существует надежных технологий изучения инженерно-геокриологических и инженерно-геологических условий в условиях предельного мелководья при глубинах акватории менее 2-3 метров с использованием продольных и поперечных волн, способных обеспечивать получение однотипных сейсмических данных при переходе от суши к морю.

5. Существующие в настоящее время сейсмоакустические технологии направлены, как правило, на решение структурных задач и на мелководных акваториях они позволяют изучать геологическое строение, начиная с глубин 40-50 метров.

Для изучения первых метров – первых десятков метров геокриологического разреза необходимо разработать методику, основанную на использовании продольных и поперечных SH-волн и требующую создание сейсмического оборудования для их возбуждения и регистрации.

Глава 2. Сейсмические критерии идентификации геокриологических границ

При проведении сейсмических исследований в криолитозоне возникает необходимость идентификации сейсмических границ, ограничивающих массив многолетнемерзлых пород (ММП) или расположенных в его пределах. В отсутствии опорных данных бурения такая идентификация может быть выполнена с помощью сейсмических критериев.

Наиболее распространенным критерием идентификации геокриологических границ является различие значений скоростей сейсмических волн в талых и мерзлых

породах [*Применение...*, 1992; *Воронков, 2009; Джурик, 1988; Фролов, 1998; Neave, Sellmann, 1983; Rogers, Morack, 1978 и др.*].

В мерзлых неводонасыщенных песчано-глинистых породах значения скоростей упругих волн, в зависимости от их типа, в 3-10 раз выше, чем в талых водонасыщенных. В этом случае значения скоростей упругих волн являются надежным критерием для выделения и идентификации в разрезе геокриологических границ.

Одна из основных границ в геокриологическом разрезе, определяемая с помощью геофизических методов – кровля ММП. Критерий, позволяющий идентифицировать ее на сейсмической записи – присутствие в структуре поля продольных волн, обменной волны PSP [*Применение...*, 1992 и др.], которая по интенсивности заметно превосходит продольную преломленную волну.

Однако в глинистых пластичномерзлых породах оба критерия не позволяют надежно идентифицировать кровлю ММП.

В работе, в качестве дополнительного идентификационного критерия, предложено и обосновано использование коэффициента Пуассона μ .

Анализ литературных данных [*Применение...*, 1992; *Воронков, 2009; Фролов, 1998 и др.*] дал основание автору предположить, что имеется некоторое граничное значение или узкий интервал значений μ , соответствующий переходу пород из талого состояния в мерзлое, когда в водонасыщенных песчано-глинистых породах начинается образование льда. Анализ результатов скважинных и наземных сейсмических наблюдений, в том числе выполненных автором в рамках данных исследований, позволил установить, что этот интервал расположен в диапазоне значений $\mu=0,45-0,46$. При $\mu=0,46$ и выше породы находятся в талом состоянии, при $\mu=0,45$ и ниже – в мерзлом, а уменьшение величины μ позволяет оценить мерзлое состояние пород.

Для обоснования этого утверждения были использованы, в частности, результаты сейсмического каротажа в скважине глубиной 260 метров на Уренгойском газоконденсатном месторождении [*Дроздов, Скворцов, 1998*]. Скважиной на глубине 80-100 метров в глинистых породах был вскрыт межмерзлотный талик. По результатам сейсмического каротажа была получена зависимость μ от дисперсности мерзлых грунтов (рис. 1). Точки инженерно-геокриологического обследования, в которых значения $\mu>0,46$, расположены в области межмерзлотного талика. Эти и другие, описанные в работе, результаты исследований убедительно подтверждают сделанное автором предположение о возможности выделения в разрезе геокриологических границ по критическим значениям μ близким к 0,46.

Результаты исследований, выполненных автором, показывают, что коэффициент Пуассона является надежным критерием для идентификации геокриологических границ, особенно в случае глинистого разреза, находящегося в пластичномерзлом состоянии.

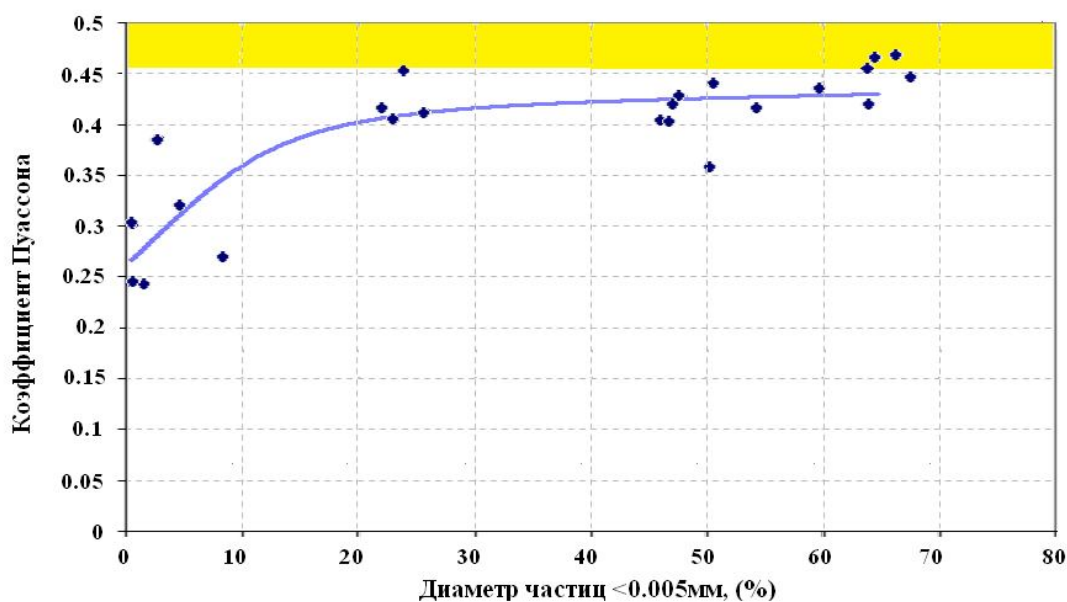


Рис. 1. Зависимость величины коэффициента Пуассона μ от дисперсности мерзлых грунтов по данным сейсмического каротажа в скважине в пойме р. Ен-Яха в северной части Уренгойского газоконденсатного месторождении. желтым цветом показана область значений $\mu > 0,46$.

Выводы:

Анализ литературных и экспериментальных данных, полученных при участии автора, о сейсмических признаках идентификации геокриологических границ и свойствах талых и мерзлых пород позволил сделать следующие выводы:

1. Показано, что достоверная идентификация геокриологических границ в массиве горных не во всех случаях может быть осуществлена с помощью известных сейсмических критериев.

2. Впервые предложена и обоснована возможность использования коэффициента Пуассона в качестве надежного сейсмического критерия для идентификации геокриологических границ в массиве водонасыщенных песчано-глинистых пород без привлечения априорной информации.

3. Автором показано и экспериментально подтверждено, что в толще водонасыщенных песчано-глинистых пород при величине коэффициента Пуассона 0,46 и более породы независимо от их состава, температуры и засоленности находятся в талом состоянии, при значениях 0,45 и менее – в мерзлом. Диапазон значений коэффициента Пуассона 0,45-0,46 – граничный и определяет переход от талого состояния к мерзлому.

4. Понижение величины коэффициента Пуассона в мерзлых породах, обусловленное уменьшением количества незамерзшей воды, позволяет использовать этот параметр для оценки их мерзлого состояния.

5. Совместное использование существующих признаков и коэффициента Пуассона позволяет существенно повысить достоверность идентификации геокриологических границ, особенно в массивах пластичномерзлых глинистых пород.

Глава 3. Технологическое оборудование для проведения донных сейсмических исследований на мелководных акваториях

Глава 3 состоит из 2 разделов. Первый посвящен разработанному оборудованию для возбуждения сейсмических колебаний, второй – для их регистрации.

Ограничения и недостатки существующего сейсмоакустического оборудования, используемого на предельном мелководье, определили необходимость создания специального оборудования возбуждения и регистрации продольных и поперечных волн для проведения донных сейсмических исследований на мелководных акваториях Арктики.

При разработке оборудования для возбуждения и регистрации сейсмических колебаний в пределах мелководных акваторий предусматривалась необходимость получения непрерывной сейсмической информации при переходе от суши к акватории. С учетом опыта изучения инженерно-геокриологических условий на суше, при разработке сейсмического оборудования предусматривалась возможность возбуждения и регистрации продольных и поперечных SH-волн.

3.1. Оборудование для возбуждения сейсмических колебаний

Для возбуждения сейсмических колебаний на дне мелководных акваторий в процессе исследований разработаны два источника ударного типа.

Первый источник – «ручной» ударный источник, применяемый в наземной малоглубинной сейморазведке. Его отличие состоит в том, что он имеет штангу длиной около двух метров, что обеспечивает возможность возбуждения сейсмических волн (продольных и поперечных) в пределах акватории при ее глубине 1-1,2 метров.

Другой источник возбуждения сейсмических колебаний разработанный, сконструированный и опробованный в рамках данной работы – донный электромагнитный источник ударного типа. Он предназначен для возбуждения импульсных сейсмических колебаний на дне предельного мелководья. При разработке донного источника принималось во внимание необходимость реализации следующих условий:

– возможность проведения работ при глубинах акваторий не менее 3 метров (по возможности на *больших*);

– возможность возбуждения продольных и поперечных SH-волн.

При калибровочных испытаниях было установлено, что энергия, генерируемая источником при единичном воздействии на грунт составляет 15-20 Дж. Интенсивность регистрируемых с помощью этого источника волн в 2-4 раза меньше, чем с помощью «ручного» источника, в зависимости от типа волн. Однако, несмотря на это электромагнитный источник обеспечивает надежную регистрацию продольных и поперечных SH-волн, особенно отраженных.

Разработанный донный электромагнитный источник прошел успешные испытания в пределах мелководных акваторий на геокриологических стационарах «Марре-Сале» и «остров Кашин».

Ручной и электромагнитный источники обеспечивают возможность возбуждения упругих колебаний под углом 45° к горизонту в плоскости, перпендикулярной линии сейсмического профиля, в двух противоположных направлениях. В первом случае это достигается за счет перемещения источника на пункте удара, во втором – предусмотрено конструкцией источника. Такая система возбуждения упругих колебаний в сочетании с разработанным донным регистрирующим устройством обеспечивает возможность одновременной регистрации продольных и поперечных SH-волн.

В процессе испытания электромагнитного источника и его опытной эксплуатации показано, что в пределах морских акваторий он надежно работает на удалении до 300 метров от берега при глубине акватории не менее 3 метров.

3.2. Оборудование для регистрации сейсмических колебаний

Одним из основных условий при разработке донного регистрирующего устройства являлось необходимость получения сопоставимых (по частотным и динамическим характеристикам) сейсмических данных в пределах акваторий и на прибрежных участках суши.

При разработке донного регистрирующего устройства соблюдались следующие условия:

- возможность одновременной регистрации продольных и поперечных SH-волн;
- возможность удобной и надежной установки и перемещения донного устройства вдоль профиля.

В процессе исследований было изготовлено и опробовано несколько вариантов донного регистрирующего устройства. Во всех устройствах размещались вертикальный и горизонтальный сейсмоприемники. Их наличие в устройстве позволяет одновременно регистрировать продольные и поперечные SH-волны.

Конструкция донного регистрирующего устройства представляет собой корпус треугольной или ромбовидной формы со сторонами 18-20 см со свинцовой пластиной на дне. Ее наличие в устройстве обеспечивает смещение центра тяжести всей конструкции. Такая конструкция позволяет легко и надежно размещать регистрирующее устройство на дне акваторий, обеспечивать надежный контакт с грунтом, сохранять пространственную ориентацию регистрирующего устройства при перемещении по дну и преодолевать локальные препятствия (камни, неоднородности на дне и пр.) при перемещении вдоль профиля. В корпусе жестко закреплены два сейсмоприемника GS-20DX (вертикальный и горизонтальный) для регистрации продольных и поперечных SH-волн. Приемная линия длиной до 300 метров, обеспечивает связь с сеймостанцией и является одновременно тросом для перемещения устройства по дну акватории.

Регистрирующие донные устройства можно использовать как в одиночном варианте, так и в виде косы из нескольких таких устройств.

В результате исследований установлено, что разработанное донное регистрирующее устройство не уступает по своим характеристикам стандартным

сейсмоприемникам, используемым при наземных сейсмических исследованиях, и позволяет получать непрерывные сейсмические данные при переходе от суши к акватории.

Выводы:

Существующее сейсмоакустическое оборудование при проведении исследований на предельном мелководье не обеспечивает возможность возбуждения и надежной регистрации поперечных SH-волн. В результате разработки, изготовления и опробования технологического оборудования сделаны следующие выводы:

1. Разработаны и успешно опробованы донные сейсмические устройства, обеспечивающие одновременную регистрацию продольных и поперечных SH-волн.

2. Разработаны ручной и электромагнитный импульсный источники сейсмических колебаний, обеспечивающие, в отличие от существующих источников, возбуждение продольных и поперечных SH-волн.

3. Разработанное технологическое оборудование позволяет получать сейсмические данные на предельном мелководье в том же частотном диапазоне, что и при проведении наземных исследований на прибрежных участках суши.

4. Отличительной особенностью разработанного комплекса оборудования для проведения донных сейсмических исследований, состоит в том, что оно обеспечивает одновременную регистрацию продольных и поперечных SH-волн, что является важным технологическим преимуществом при проведении полевых исследований в условиях акваторий.

5. Разработанный электромагнитный импульсный источник надежно работает на предельном мелководье с глубинами акватории не менее 3 метров, а интенсивность его колебаний соизмерима с интенсивностью «ручного» сейсмического источника.

Глава 4. Закономерности структуры волнового поля на предельном мелководье Арктики и прибрежных участках суши

Знание закономерностей структуры сейсмического поля является основой для объективных выводов о возможностях и ограничениях использования различных типов волн для изучения геологических объектов. Поскольку в литературе практически не встречаются сведения о таких закономерностях для мелководных арктических акваторий, проведение подобных исследований оказалось актуальным и необходимым. Ниже отдельно рассматриваются закономерности структуры волнового поля на прибрежных участках суши и на предельном мелководье Арктики.

4.1. Прибрежные участки суши

Структура поля продольных и поперечных SH-волн, типичная для пляжа вблизи границы с акваторией изображена на рис. 2.

В структуре поля продольных волн присутствуют прямая продольная волна T_p^0 со скоростью 270 м/с, связанная с зоной неполного водонасыщения, мощность которой составляет около 2 метров; преломленная волна $T_p^{пр}$ со скоростью 1550

м/с, соответствующая кровле зоны полного водонасыщения (ЗПВ) и волна $T_p^{пр\ ММП}$ со скоростью 2600 м/с, преломленная на кровле ММП. В последующих вступлениях выделяется волна $T_p^{отр\ ММП2}$. Без дополнительной информации идентификация этой волны затруднительна. Предположительно это волна, отраженная от сейсмогеокриологической границы в толще ММП. Наличие интенсивных поверхностной и прямой волн не позволяет выделить отраженную продольную волну от кровли ММП.

На сейсмической записи поперечных SH-волн по физическим причинам отсутствует волна, связанная с границей ЗПВ. Это упрощает структуру волнового поля. Прямая волна T_{SH}^0 со скоростью 160 м/с характеризует всю толщу талых пород. В структуре волнового поля присутствует волна $T_{SH}^{пр\ ММП}$ со скоростью 1000 м/с, преломленная на кровле ММП и волна $T_{SH}^{отр\ ММП2}$, предположительно, как и в случае продольных волн, отраженная от литологической границы в толще ММП.

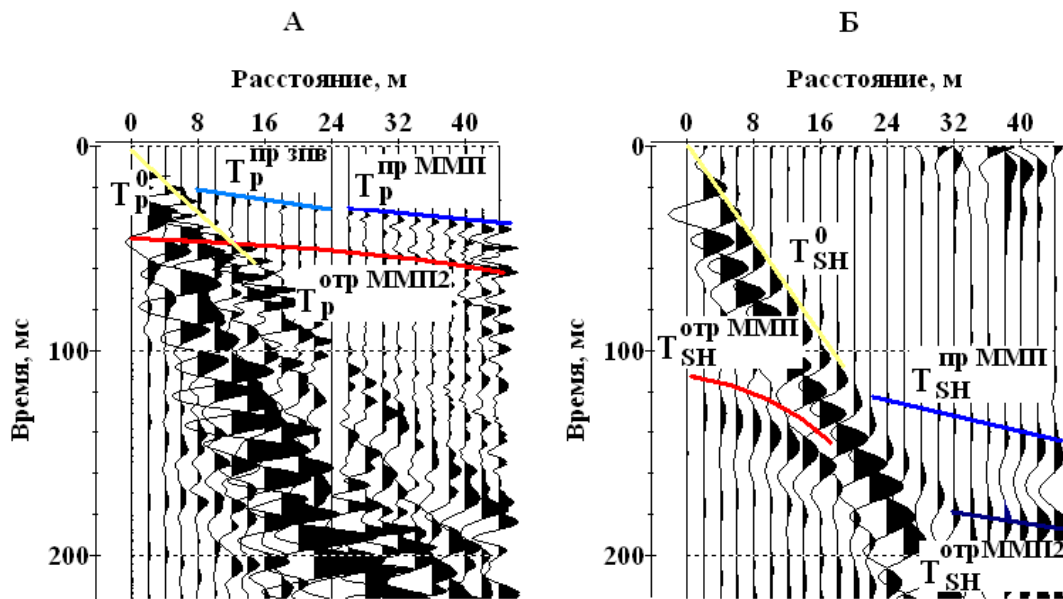


Рис. 2. Сейсмограммы продольных (А) и поперечных SH-волн (Б), полученные на пляже Печорской губы. Геокриологический стационар «Болванский».

T_p^0 – прямая продольная волна; $T_p^{пр\ ЗПВ}$ – продольная волна, преломленная на границе зоны полного водонасыщения; $T_p^{пр\ ММП}$ – продольная волна, преломленная на кровле ММП; $T_p^{отр\ ММП2}$ – продольная волна, отраженная от литологической границы в толще ММП; T_{SH}^0 – прямая поперечная SH-волна; $T_{SH}^{пр\ ММП}$ – поперечная SH-волна, преломленная на кровле ММП; $T_{SH}^{отр\ ММП}$ – поперечная SH-волна, отраженная от кровли ММП; $T_{SH}^{отр\ ММП2}$ – поперечная SH-волна, предположительно отраженная от литологической границы в толще ММП.

Наибольший интерес представляет волна $T_{SH}^{отр}$, отраженная от кровли ММП, которая расположена на глубине около 8 метров. Отсутствие поверхностной волны косвенно свидетельствует о слабой инверсности скоростного разреза, которая предположительно связана с повышенным содержанием обломочного материала в приповерхностном слое. Хорошая разрешенность волны $T_{SH}^{отр}$ свидетельствует о

практической возможности использования ее для изучения геокриологического разреза. Отметим, что отраженные поперечные SH-волны с хорошим разрешением, присутствовали в структуре волнового поля и на других участках исследований, где кровля ММП располагалась на глубине всего 2-3 метра.

Анализ структуры волнового поля продольных и поперечных SH-волн на прибрежных участках суши показал, что для изучения геокриологического разреза предпочтение следует отдавать поперечным SH-волнам. Фактором, осложняющим использование продольных волн, является наличие в верхней части геокриологического разреза ЗПВ.

4.2. Предельное мелководье Арктики

При переходе от суши к акватории структура волнового поля продольных волн принципиальным образом изменяется (рис.3).

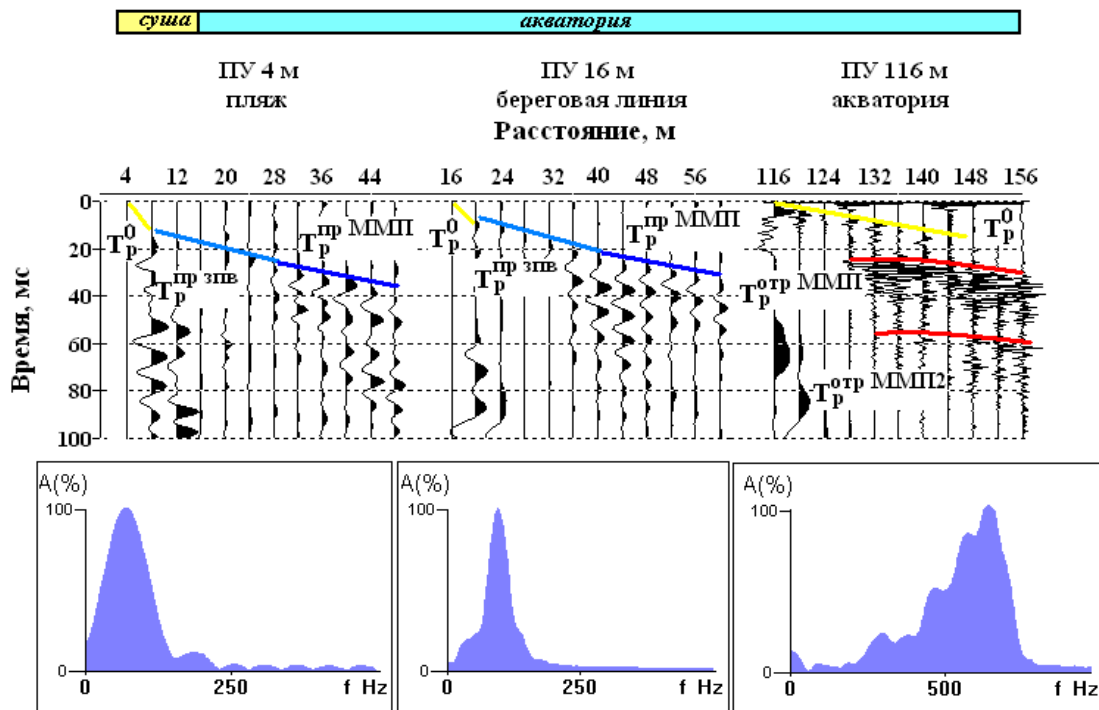


Рис. 3. Сейсмограммы продольных волн в прибрежной части Печорской губы. Геокриологический стационар «Болванский».

T_p^0 – прямая продольная волна; $T_p^{пр зпв}$ – продольная волна, преломленная на границе зоны полного водонасыщения; $T_p^{пр ММП}$ – продольная волна, преломленная на кровле ММП; $T_p^{отр ММП}$ – продольная волна, отраженная от кровли ММП; $T_p^{отр ММП2}$ – продольная волна, предположительно отраженная от литологической границы в толще ММП.

При возбуждении колебаний на берегу (ПУ 4м) и на урзе воды (ПУ 16 м) структура волнового поля схожа со структурой волнового поля на пляже. В первых вступлениях прослеживаются прямая волна T_p^0 , волна $T_p^{пр зпв}$, преломленная на границе ЗПВ и волна $T_p^{пр ММП}$, преломленная на кровле ММП. Как и на пляже, низкая скорость T_p^0 свидетельствует о присутствии в приповерхностной части

разрезах зоны неполного водонасыщения в талых породах. Разные значения t_0 волны $T_p^{np\text{зв}}$, преломленной на границе ЗПВ при переходе от пляжа к акватории, говорят об изменчивости мощности этой зоны в плане. Существование зоны неполного водонасыщения в пределах акватории приводит к тому, что частотный спектр сейсмической записи относительно низкий – 110-130 Гц. На удалении 100 метров от уреза воды (ПУ 116 м) эта зона пропадает. Об этом свидетельствует резкое увеличение частоты регистрируемых колебаний до 650 Гц и скорости прямой волны до 1550 м/с. Увеличение частотного спектра сейсмических колебаний повышает разрешенность волновой записи, что позволяет выделять отраженные волны $T_p^{отр\text{ММП}}$ и $T_p^{отр\text{ММП}2}$ от кровли ММП и предположительно от литологической границы в толще ММП соответственно.

Стоит отметить, что в структуре поля продольных волн на этом и на других участках исследований нет кратных волн от границы вода-воздух, хотя возбуждение и прием сейсмических колебаний осуществляется в водной среде. По всей видимости, это связано с тем, что сейсмические колебания осуществлялись непосредственно по дну акваторий.

В отличие от продольных волн, в структуре поля поперечных SH-волн (рис. 4), частотный спектр сигнала остается фактически неизменным на пляже и в разных частях акватории.

Характерной особенностью при переходе от суши к акватории является уменьшение скорости прямой волны T_{SH}^0 . На этом участке, значения скоростей прямых волн уменьшаются со 160 м/с до 70 м/с.

В качестве объяснения этой особенности автором предложена следующая гипотеза. Вследствие постоянного движения воды в приливно-отливной зоне акваторий верхний слой грунта находится во «взвешенном» состоянии, т.е. сцепление частиц меньше, чем в состоянии «покоя».

Таким образом, в сейсмогеологическом разрезе на мелководных акваториях появляется маломощный слой с пониженными значениями скоростей поперечных SH-волн. При этом в структуре поля в первых вступлениях прослеживается слабая преломленная волна T_{SH}^{np} от границы подошвы этого слоя. Низкая интенсивность этой волны обусловлена тем, что при возбуждении колебаний большая часть энергии уходит на формирование прямой волны, связанной с маломощным поверхностным слоем.

Наличие этого слоя и относительно слабая интенсивность преломленной на его подошве волны является благоприятным фактором для регистрации, за пределами конуса прямой волны, поперечных SH-волн $T_{SH}^{отр\text{ММП}}$, $T_{SH}^{отр\text{ММП}2}$, отраженных от геокриологических границ.

Установленные закономерности структуры поля продольных и поперечных SH-волн были выявлены и на других участках исследований, в том числе и за пределами криолитозоны.

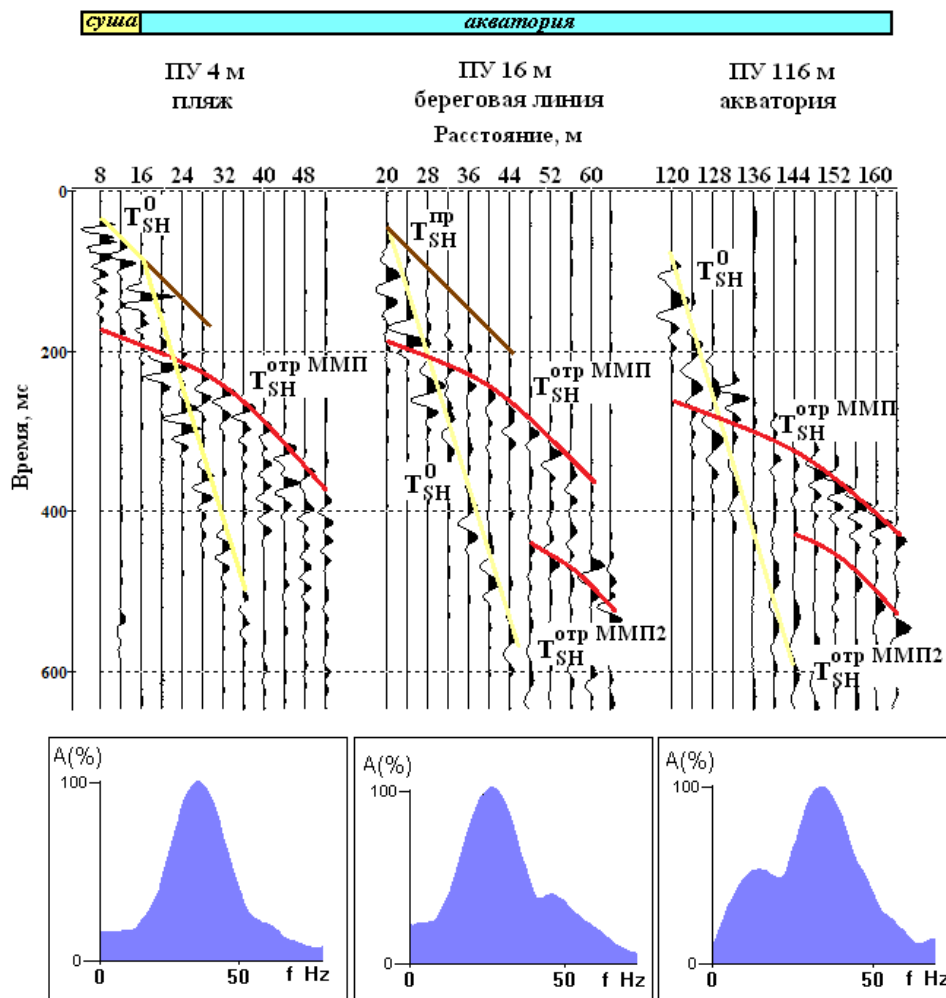


Рис. 4. Сейсмограммы поперечных SH-волн в прибрежной части Печорской губы. Геокриологический стационар «Болванский».

T_{SH}^0 – прямая поперечная SH-волна; $T_{SH}^{\text{отр ММП}}$ – поперечная SH-волна, отраженная от кровли ММП; $T_{SH}^{\text{отр ММП2}}$ – поперечная SH-волна, предположительно отраженная от литологической границе в толще ММП.

Выводы:

Автором в течение нескольких лет проводились исследования закономерностей структуры волнового поля продольных и поперечных SH-волн в переходной зоне суша-акватория, позволившие сделать выводы о целесообразности и эффективности их использования для изучения инженерно-геокриологических условий на предельном мелководье и прибрежных участках суши:

1. Установлено, что присутствие в приповерхностной части разреза неводонасыщенных талых пород затрудняют или делают невозможным использование продольных волн для изучения инженерно-геокриологического разреза в прибрежной части суши и на акватории ближе 100-200 метров от берега. На больших удалениях, где в разрезе отсутствуют неводонасыщенные породы, частота продольных волн увеличивается до 500-600 Гц, что создает благоприятные условия

для изучения верхней части сейсмогеологического разреза с помощью отраженных волн этого типа.

2. Доказано, что использование поперечных SH-волн возможно и эффективно как на суше, так и на акватории. Успешному их использованию способствует практически неизменность частотного спектра поперечных SH-волн при переходе от суши к акватории. Факторами, благоприятными для регистрации отраженных волн от геокриологических границ, является слабая инверсность скоростного разреза на суше, а в пределах акватории – наличие маломощного приповерхностного низкоскоростного слоя, формирующегося за счет течений и волнения воды.

3. Показано, что совместное использование продольных и поперечных SH-волн эффективно при изучении геокриологического строения в случае заметного изменения скоростного разреза, а также при сейсмической идентификации геокриологических границ и оценке свойств и состояния ММП.

Глава 5. Методика донных сейсмических исследований инженерно-геокриологических условий на предельном мелководье Арктики и примеры ее использования

Методика донных сейсмических исследований инженерно-геокриологических условий на предельном мелководье Арктики является результатом многолетних исследований автора и предполагает обязательное использование продольных и поперечных SH-волн.

5.1. Методика исследований

Физической основой методики послужили результаты детального изучения закономерностей структуры волнового поля продольных и поперечных SH-волн на мелководных акваториях арктического побережья и на прибрежных участках суши. На основании этих результатов были обоснованы возможности и ограничения использования продольных и поперечных SH-волн для изучения геокриологических границ в зависимости от глубины акватории и присутствия в разрезе талых неводонасыщенных пород.

Характерной особенностью методики является приоритетное использование поперечных SH-волн при изучении геокриологического строения. Возможности использования продольных волн для решения этой задачи ограничены.

Техническая реализация методики выполнена на базе разработанного технологического оборудования для проведения донных сейсмических исследований, обеспечивающего одновременную регистрацию продольных и поперечных SH-волн.

Технология проведения работ. В главе детально рассмотрены технологические приемы предусмотренные методикой работ. Обязательным условием при проведении донных сейсмических исследований является накопление сейсмического сигнала в режиме суммирование с вычитанием. Использование такого технологического приема с использованием разработанного технологического

оборудования обеспечивает одновременную регистрацию продольных и поперечных SH-волн.

Системы наблюдения определяются конкретными геокриологическими условиями и классом используемых волн. При работе с помощью преломленных волн целесообразно использовать классическую встречную и нагоняющую систему наблюдений. Методикой предусмотрена возможность применения одностороннего сейсмического зондирования. При обработке данных одностороннего зондирования принимаются допущения, что скорость преломленной на кровле ММП волны и скорость прямой волны в талом слое на всем протяжении профиля неизменны. При проведении работ с помощью отраженных волн целесообразно, в условиях акватории, использовать фланговую систему наблюдения.

Последовательность проведения работ. На первоначальном этапе работ методика предполагает получение опорных данных на непротяженных (до 48 метров) профилях, расположенных на прибрежной части суши в непосредственной близости от границы суша-акватория. На этом профиле выполняются исследования с использованием встречной и нагоняющей системы наблюдения. По результатам этих исследований определяется тип и класс сейсмических волн для последующих исследований, производится идентификация геокриологических границ и выполняется оценка качества состояния ММП.

На основном этапе исследований (непосредственно на акватории) определяется положение геокриологических границ в разрезе. Критерием для определения их природы является идентичность динамических и кинематических признаков для этих геокриологических границ, установленных на первом этапе. При выполнении исследований на значительном удалении от берега, где в разрезе отсутствуют неводонасыщенные породы, работы целесообразно и эффективно проводить с помощью отраженных волн. При проведении работ с использованием различных типов или классов волн на одном профиле, для обеспечения непрерывности прослеживания сейсмогеокриологических границ обязательным условием является параллельное использование этих волн на отдельном участке профиля.

5.2. Примеры применения методики

В работе приводятся примеры использования методики донных сейсмических исследований с помощью различных типов и классов волн в разнообразных инженерно-геокриологических условиях – на участках «Болванский», «Марре-Сале», «остров Кашин» и поселка «Мыс Каменный», а также за пределами криолитозоны. Работы выполнялись в последовательности, предусмотренной методикой. На рис. 5 приведены глубинные разрезы на трех участках. На разрезах приведены значения скоростей продольных и поперечных SH-волн и значения коэффициента Пуассона, в соответствии с которыми осуществлялась геокриологическая идентификация сейсмических границ и оценивалось состояние мерзлых пород.

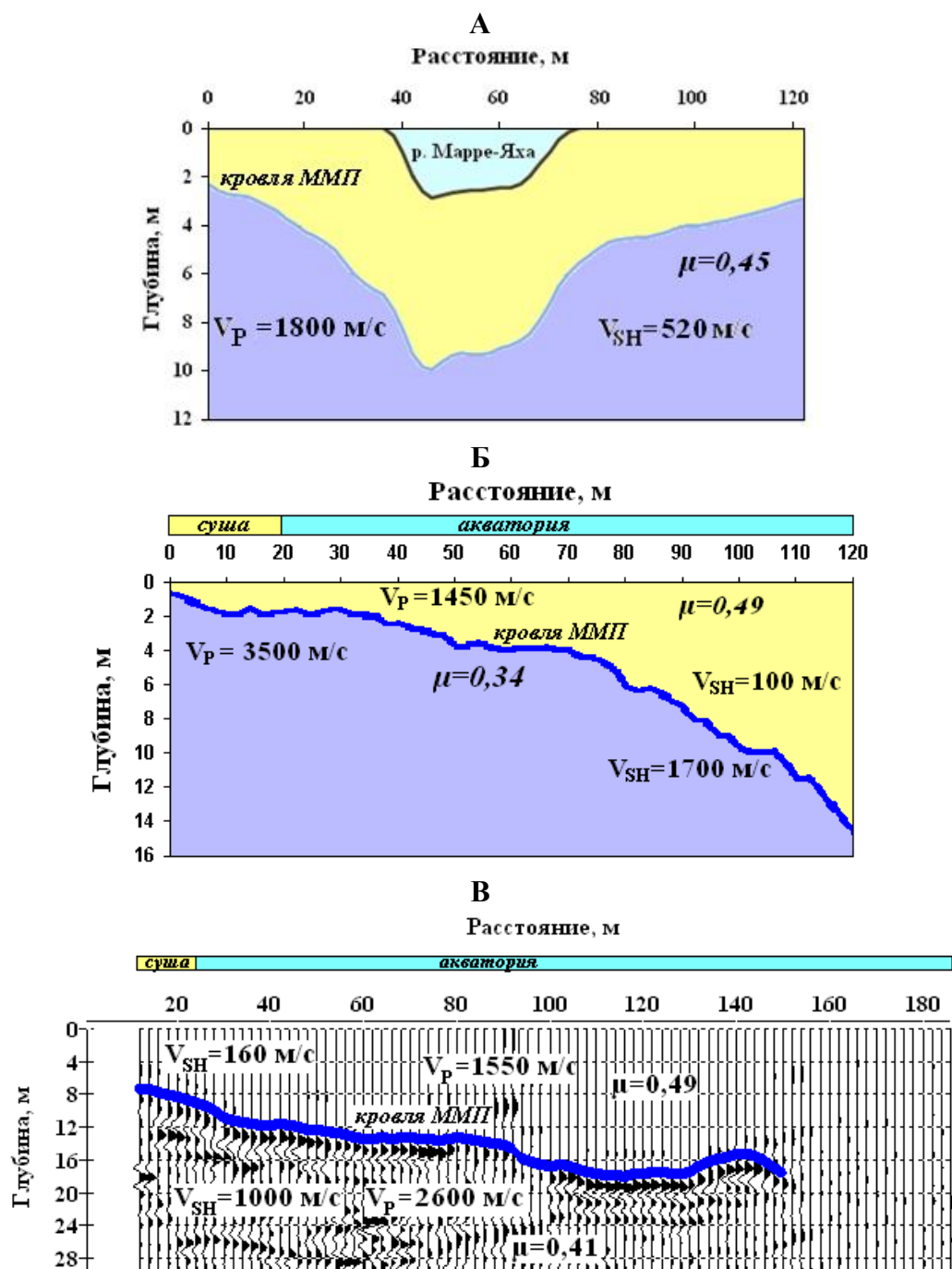


Рис. 5. Результаты донных сейсмических исследований на акваториях и прибрежных участках суши.

А – конфигурация кровли ММП, полученная с помощью преломленных поперечных SH-волн с использованием встречной и нагоняющей системы наблюдений (р. Марре-Яха, геокриологический стационар «Марре-Сале»); Б – положение кровли ММП в прибрежной части шельфа Обской губы, полученное с помощью одностороннего сейсмического зондирования преломленными поперечными SH-волнами (п-ов Ямал, поселок «м. Каменный»); В – конфигурация кровли ММП в прибрежной части шельфа Печорской губы, полученная с помощью отраженных поперечных SH-волн (геокриологический стационар «Болванский»)

Выводы:

В результате многолетних исследований при непосредственном участии автора разработана, не имеющая аналогов, методика донных сейсмических исследований инженерно-геологических условий на предельном мелководье Арктики.

1. Физическим обоснованием методики стали результаты многолетних экспериментальных исследований по изучению структуры поля продольных и поперечных SH-волн, позволившие выявить возможности и область их применения при изучении инженерно-геологических условий мелководных акваторий Арктики.

2. Практическая реализация методики осуществлена на базе разработанного технологического оборудования для проведения донных сейсмических исследований, обеспечивающего одновременную регистрацию продольных и поперечных SH-волн.

3. Методика обеспечивает надежную идентификацию геокриологических границ в массиве горных пород по сейсмическим критериям, включая значения коэффициента Пуассона, без привлечения дополнительной информации и позволяет получать достоверные сведения о характеристиках компонентов геологической среды, определяющих инженерно-геокриологические условия, – криогенного строения пород, условий их залегания, состояния пород, упругие свойства, условий залегания подземных вод.

4. Автором обосновано, что характерной особенностью методики является приоритетное использование поперечных SH-волн при изучении геокриологического строения. Возможности использования продольных волн для решения этой задачи ограничены.

5. Показано, что совместное использование продольных и поперечных SH-волн целесообразно при изучении геокриологического строения в случае заметного изменения скоростного разреза, а также при сейсмической идентификации геокриологических границ, и оценке свойств и состояния ММП.

6. Методикой предусматривается, в зависимости от конкретных сейсмогеокриологических условий, возможность применения различных схем и видов сейсмических наблюдений с использованием преломленных и отраженных волн.

7. При непосредственном участии автора методика прошла широкое опробование на территории арктического побережья Западной Сибири и Европейского Севера при выполнении научно-исследовательских и производственных работ, а также за пределами криосферы при изучении инженерно-геологических условий речных переходов.

ВЫВОДЫ

В основу диссертационной работы положены результаты многолетних полевых сейсмических исследований на предельном мелководье и прибрежных участках суши в различных районах криолитозоны и за ее пределами, выполненные лично автором или при его непосредственном участии. Основные выводы диссертационной работы сводятся к следующим:

1. Выполнен анализ литературных источников о возможностях и ограничениях существующих сейсмоакустических методов изучения геокриологического и геологического разреза на мелководных акваториях. Показано, что их применение для изучения инженерно-геокриологических и инженерно-геологических условий ограничено из-за невозможности использования поперечных SH-волн. Обосновано, что для решения этих задач необходимо создание технологического оборудования и методики сейсмических исследований.

2. Впервые предложена и обоснована возможность использования коэффициента Пуассона в качестве дополнительного признака идентификации геокриологических границ в массивах водонасыщенных песчано-глинистых пород. Показано, что использование коэффициента Пуассона наиболее эффективно при идентификации геокриологических границ в глинистых породах, находящихся в пластичномерзлом состоянии. Автором экспериментально установлено, что интервал величины коэффициента Пуассона 0,45-0,46 – переходный между мерзлым и талым состоянием пород в толще водонасыщенных песчано-глинистых отложений. При величине коэффициента Пуассона 0,46 и более породы находятся в талом состоянии, при 0,45 и менее – в мерзлом.

3. Разработано, сконструировано и успешно опробовано в полевых условиях технологическое оборудование для возбуждения и регистрации упругих колебаний на мелководных акваториях. Его принципиальное отличие от существующего в настоящее время оборудования состоит в том, что оно позволяет одновременно возбуждать и регистрировать продольные и поперечные SH-волны и работать в том же частотном диапазоне, что и при наземных сейсмических исследованиях.

4. В результате многолетних исследований автором выявлены ранее неизвестные закономерности структуры волнового поля на предельном мелководье Арктики и прибрежных участках суши. Установлено, что присутствие в приповерхностной части разреза неводонасыщенных талых пород затрудняет или делает невозможным использование продольных волн для изучения инженерно-геокриологического разреза в прибрежной части суши и на акватории ближе 100-200 метров от берега. Показано, что использование продольных волн эффективно в условиях, когда поверхностные талые породы находятся в состоянии полного водонасыщения. Доказано, что использование поперечных SH-волн возможно и эффективно как на суше, так и на акватории. Успешному их использованию способствует практически неизменность частотного спектра поперечных SH-волн при переходе от суши к акватории. Факторами, благоприятными для регистрации отраженных волн от геокриологических границ, является слабая инверсность скоростного разреза на суше, а в пределах акватории – наличие маломощного приповерхностного низкоскоростного слоя, формирующегося за счет течений и волнения воды.

5. При непосредственном участии автора разработана, не имеющая аналогов, методика донных сейсмических исследований инженерно-

геокриологических условий на предельном мелководье Арктики. Физическим обоснованием методики служат выявленные закономерности структуры волнового поля продольных и поперечных SH-волн на мелководных акваториях и прибрежных частях суши. Практическая реализация методики выполнена на базе разработанного технологического оборудования для одновременного возбуждения и регистрации продольных и поперечных SH-волн. Характерной особенностью методики донных сейсмических исследований является приоритетное использование поперечных SH-волн, возможности продольных волн ограничены. Совместное использование продольных и поперечных SH-волн целесообразно при изучении геокриологического строения в случае заметного изменения скоростного разреза и необходимо при сейсмической идентификации геокриологических границ, а так же оценке свойств и состояния ММП. Методика предусматривает возможность применения различных схем и видов сейсмических наблюдений, с использованием преломленных и отраженных волн для достижения наилучшего результата в зависимости от конкретных сейсмогеокриологических условий.

6. Разработанная методика донных сейсмических исследований может применяться как в криолитозоне для решения инженерно-геокриологических задач, так и за ее пределами для решения инженерно-геологических задач. Методика прошла широкое опробование в различных районах арктического побережья Западной Сибири и Европейского Севера при выполнении научно-исследовательских и производственных работ, а также за пределами криосферы при изучении инженерно-геологических условий речных переходов.

Публикации по теме диссертации

Статьи в реферируемых журналах:

1. Мельников В.П., Скворцов А.Г., Малкова Г.В., Дроздов Д.С., Пономарёва О.Е., **Садуртдинов М.Р.**, Царёв А.М., Дубровин В.А. Результаты изучения геокриологических условий арктических территорий с помощью геофизических методов // Геология и геофизика. – 2010, – Т.51, – №1. – С. 171-180.
2. Скворцов А.Г., Царев А.М., **Садуртдинов М.Р.** Методические особенности изучения сейсмогеокриологического разреза // Криосфера Земли, 2011. – т. XV, – №4. – С. 110-113.
3. Melnikov V.P., Skvortsov A.G., Malkova G.V., Drozdov D.S., Ponomareva O.E., **Sadurtdinov M.R.**, Tsarev A.M., Dubrovin V.A. Seismic studies of frozen ground in Arctic areas // Russian Geology and Geophysics. – 2010. – N51. – Pp.136-142.
4. Skvortsov A.G., Tsarev A.M., **Sadurtdinov M.R.** Seismic studies of frozen ground // Earth's Cryosphere, 2011. – v. XV, – N. 4. – Pp. 96-98.

Тезисы конференций:

5. **Садуртдинов М. Р.**, Скворцов А. Г. Особенности геокриологических условий прибрежной части суши на побережье Печорской губы // Тезисы

- докладов 4 Международной научно-практической конференции «Инженерная и рудная геофизика 2008». – Геленджик, 2008. – 2 с. [Электронный ресурс].
6. **Садуртдинов М. Р.**, Царев А. М., Дубровин В. А., Скворцов А. Г. Опыт изучения инженерно-геокриологических условий в пределах мелководных акваторий на территории полуострова Ямал // Материалы международной конференции и выставки «Санкт-Петербург-2010. К новым открытиям через интеграцию геонаук». – Санкт-Петербург, 2010. Санкт-Петербург. – 2с. [Электронный ресурс].
 7. **Садуртдинов М. Р.**, Скворцов А. Г., Царев А. М. Изучение строения верхней части геологического разреза в пределах мелководных акваторий с помощью сейсмических методов // Тезисы докладов 5 Международной научно-практической конференции «Инженерная и рудная геофизика 2009». – Геленджик, 2009. – 2с. [Электронный ресурс].
 8. **Садуртдинов М.Р.**, Скворцов А.Г., Царев А.М., Малкова Г.В. Изучение геокриологических условий острова Кашин в дельте Печоры с помощью сейсмических методов //Десятая Международная конференция по мерзлотоведению (TICOP): Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире. – Тюмень: Печатник, 2012. – т. 5. – С.273-274
 9. Скворцов А.Г., Малкова Г.В., Галин И.А., **Садуртдинов М.Р.**, Чернятин А. Г. Геокриологические условия берегового уступа Печорской губы в районе стационара «Болванский» по данным сейсморазведки // Теория и практика оценки состояния криосферы Земли и прогноз ее изменения: Материалы международной конференции.– Тюмень: ТюмГНГУ. – 2006. – т. 1. – С. 280-283.
 10. Скворцов А. Г., Малкова Г. В., **Садуртдинов М. Р.**, Царев А. М. Геокриологические условия прибрежной части шельфа Печорской губы в районе стационара Болванский по данным сейсморазведки // Криогенные ресурсы полярных регионов: Материалы международной конференции. – Салехард, 2007. – т. 1. – С. 170-173.
 11. Скворцов А.Г., Малкова Г.В., Дроздов Д.С., **Садуртдинов М.Р.**, Царев А.М., Слагода Е.А. Сейсмогеокриологические условия прибрежной части арктических морей // Третья международная научно-практическая конференция «Инженерная и рудная геофизика – 2007». – М.: изд-во МГУ – 2007. – С. 196-198.
 12. Скворцов А. Г., **Садуртдинов М. Р.**, Царев А. М. Изучение сейсмогеокриологических условий в пределах мелководных акваторий в криолитозоне // Материалы Четвертой конференции геокриологов России. МГУ имени М. В. Ломоносова, 7-9 июня 2011 г.– М.: Университетская книга, 2011. – т. 1. – С. 218-225.
 13. Скворцов А. Г., Царев А. М., **Садуртдинов М. Р.** Особенности использования сейсмических методов при инженерно-геокриологических

- исследованиях // Материалы Четвертой конференции геокриологов России. МГУ имени М. В. Ломоносова, 7-9 июня 2011 г. – М.: Университетская книга, 2011. – т. 1. – С. 225-232.
14. Скворцов А.Г., Дубровин В.А., **Садуртдинов М.Р.**, Царев А.М. Результаты сейсмических исследований на геокриологическом стационаре Марре-Сале (Ямал) //Десятая Международная конференция по мерзлотоведению (ТКСОР): Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире. – Тюмень: Печатник, 2012. – т. 5. – с. 289-290.
 15. **Sadurtdinov M.R.**, Skvortsov A.G., Tsarev A.M., Malkova G.V. Permafrost Condition in Kashin Island (Pechora Delta), from Seismic Profiling Data // Tenth International Conference on Permafrost: Resources and Risks of Permafrost Areas in a Changing World. – Ekaterinburg, Russia, 2012. – Vol. 4/2: Extended Abstracts. – Fort Dialog-Iset. – Pp 488-489.
 16. Skvortsov A.G., Tsarev A.M., Drozdov D.S., Malkova G.V., Ponomareva O.E., **Sadurtdinov M.R.**, Ukraintseva N.G. Shallow seismic exploration of permafrost in Northern regions // Proceeding of IPY Oslo Science Conference, 2010, 8-12 June. – Oslo, 2010. [Электронный ресурс].
 17. Skvortsov A.G., Dubrovin V.A., **Sadurtdinov M.R.**, Tsarev A.M. /Seismic surveys at the Marre-Sale permafrost monitoring station (Yamal) // Tenth International Conference on Permafrost: Resources and Risks of Permafrost Areas in a Changing World. Ekaterinburg, Russia, 2012. – Vol. 4/2: Extended Abstracts. – Fort Dialog-Iset. – Pp. 559-560.