

Кишанков Алексей Владимирович

**ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ГАЗОНОСНОСТЬ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА АКВАТОРИЙ
АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА
РОССИИ**

Специальность: 1.6.11 – Геология, поиски, разведка и эксплуатация нефтяных и газовых
месторождений

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата
геолого-минералогических наук

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт проблем нефти и газа Российской академии наук (ФГБУН ИПНГ РАН) и в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина».

Научный руководитель: **Богоявленский Василий Игоревич**, доктор технических наук, член-корреспондент РАН, заместитель директора по научной работе, заведующий лабораторией комплексного геолого-геофизического изучения и освоения нефтегазовых ресурсов континентального шельфа, главный научный сотрудник, ФГБУН ИПНГ РАН

Официальные оппоненты: **Соколов Сергей Юрьевич**, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией геоморфологии и тектоники дна океанов отдела тектоники, главный научный сотрудник, ФГБУН Геологический институт Российской академии наук, г. Москва

Миронюк Сергей Григорьевич, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник кафедры инженерной и экологической геологии, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», г. Москва

Ведущая организация: ФГБУН Тихоокеанский океанологический институт имени В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Владивосток

Защита диссертации состоится 7 июня 2023 г. в 15:00 часов на заседании диссертационного совета 24.1.100.01 при ФГБУН ИПНГ РАН по адресу: 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3, аудитория 703.

С диссертацией можно ознакомиться у ученого секретаря диссертационного совета 24.1.100.01 при ФГБУН ИПНГ РАН и на сайте: <https://www.ipng.ru/about/dissertation-council/defense-dissertations/Диссертация%20А.Кишанков.pdf>

Автореферат разослан « ____ » _____ 2023 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат физико-математических наук

Лесин В.И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Изучение процессов дегазации Земли и газоносности верхней части разреза (глубины осадочной толщи до 500-900 м) является актуальным и перспективным направлением геологоразведочных работ, направленным на повышение эффективности и безопасности поиска и освоения месторождений полезных ископаемых, особенно углеводородов. Это обусловлено рядом причин.

Небольшие газовые залежи, находящиеся у поверхности морского дна, указывают на возможность обнаружения на больших глубинах крупных месторождений углеводородов. Под действием природных факторов газ может мигрировать в субвертикальном направлении из глубоких нефтегазоматеринских толщ или сформировавшихся залежей к поверхности литосферы или гидросферы, нередко формируя в верхней части разреза самостоятельные залежи газа. В связи с этим, анализ распространения газовых залежей в верхней части разреза может быть полезен для понимания углеводородных систем, процессов генерации, миграции и аккумуляции нефти и газа и, следовательно, может помочь при поиске традиционных месторождений углеводородов.

При благоприятном сочетании геологических, технических и экономических условий, залежи верхней части разреза представляют самостоятельный интерес для разработки. Известны примеры промышленной добычи углеводородов из залежей в верхней части разреза на шельфе Нидерландов и проекта разработки месторождения Реон на шельфе Норвегии.

Исследование газоносности верхней части разреза имеет особую значимость для повышения безопасности проведения буровых работ. Вскрытие приповерхностных газонасыщенных отложений нередко сопровождается неконтролируемым выбросом газа на поверхность, что является чрезвычайно опасным явлением, неоднократно приводившим к авариям на буровых установках.

Изучение потенциальной газонасыщенности верхней части разреза и путей субвертикальной миграции газа вносит значимый вклад в проблему исследований изменений климата на Земле. Метан является основным компонентом природного газа, выделяющегося из верхней части разреза и эмитируемого в атмосферу. Он обладает сильным парниковым эффектом, что способствует глобальному потеплению.

Акватории арктических регионов Восточной Сибири и Дальнего Востока России являются слабо изученными по всем направлениям геолого-геофизических исследований, и новые результаты исследований процессов дегазации Земли и газонасыщенности верхней части разреза имеют большое научно-практическое значение.

Цель работы

Прогноз распространения субмаринных залежей свободного газа и газовых гидратов в верхней части разреза акваторий арктических регионов Восточной Сибири и Дальнего Востока России и определение специфики интенсивной дегазации Земли в центральной части моря Лаптевых.

Основные задачи:

1. Анализ архивных временных разрезов, полученных в результате сейсморазведки методом общей глубинной точки (МОГТ), по акваториям морей Лаптевых, Восточно-Сибирского, Чукотского, Бофорта и Берингова для выявления потенциальных залежей свободного газа, газовых гидратов, путей миграции газа в верхней части разреза. При этом не относящееся к российскому шельфу море Бофорта также включено в анализ, ввиду непосредственной близости к изучаемым российским акваториям, общей с Чукотским морем историей геологического развития, высокой степенью геолого-геофизической изученности, что представляет интерес для сравнения с другими вышеуказанными регионами.
2. Выявление закономерностей распределения потенциально газонасыщенных объектов в верхней части разреза по глубине и горизонтальным размерам.
3. Детальный анализ сейсмических и океанологических данных по центральной части моря Лаптевых, в которой происходит интенсивная эмиссия газа в виде сипов через морское дно.

Научная новизна работы

1. На основе анализа сейсмических полей отраженных волн, представленных в виде временных разрезов сейсморазведки МОГТ, выявлены и проанализированы закономерности распространения потенциально газонасыщенных объектов в верхней части осадочного чехла. Установлена связь полученных закономерностей с особенностями геологического развития изученных регионов.
2. Впервые на акватории моря Лаптевых выделен псевдодонный отражающий горизонт BSR (bottom simulating reflector), указывающий на потенциальные газовые гидраты.
3. Детально исследован Центрально-Лаптевский район (включающий зону интенсивных сипов газа), на котором впервые выявлены зоны существования пород терригенного комплекса верхней части разреза с различными физическими свойствами, отождествляемыми с мерзлым или талым состоянием осадочной толщи, а также изучена специфика эмиссии газа в атмосферу.

Практическая значимость работы

Выявлено большое количество потенциально газонасыщенных объектов в верхней части разреза морей Лаптевых, Восточно-Сибирского, Чукотского, Бофорта и Берингова. Информация о расположении данных объектов имеет большое значение для прогноза нефтегазоносности

рассмотренных регионов. Данные о распространении потенциально газонасыщенных объектов и многолетнемерзлых пород в верхней части разреза представляют важные материалы, позволяющие снижать риски опасных газовых выбросов в процессе бурения глубоких нефтегазопроисловых скважин при планировании и проведении поисково-разведочных работ на нефть и газ на рассмотренных акваториях.

Методы исследования

- Сбор, анализ, обобщение опубликованных и фондовых геолого-геофизических материалов по изучаемым регионам;
- интерпретация сейсмических временных разрезов МОГТ в программном обеспечении (ПО) Kingdom (IHS, США);
- анализ скоростей распространения преломленных волн по сейсмограммам общего пункта взрыва в ПО RadExPro (ООО «Деко-геофизика СК», Россия);
- создание геоинформационных баз данных по распространению неоднородностей в верхней части разреза, отождествляемых с газонасыщенностью, в ПО ArcGIS (ESRI, США);
- анализ океанологических данных в ПО Ocean Data View (AWI, Германия);
- построение картографических результатов в ПО ArcGIS.

Фактический материал

В диссертации использован следующий фактический материал:

- совокупность опубликованной и фондовой геолого-геофизической информации по рассматриваемым регионам;
- сейсмические временные разрезы МОГТ АО «Морская арктическая геологоразведочная экспедиция» (МАГЭ) по морям Лаптевых, Восточно-Сибирскому, сейсмограммы общего пункта взрыва МАГЭ по морю Лаптевых, временные разрезы МОГТ Геологической службы США (USGS) по морям Чукотскому, Бофорта, Берингову. Суммарно исследовано около 40 тыс. км сейсмопрофилей;
- океанологические данные Национального управления океанических и атмосферных исследований США (NOAA) по морю Лаптевых на площади 662 тыс. км².

Личный вклад автора

Автор лично интерпретировал архивные сейсмические временные разрезы МОГТ по морям Лаптевых, Восточно-Сибирскому, Чукотскому, Бофорта и Берингову для выявления потенциальных залежей свободного газа, газовых гидратов, путей миграции газа в верхней части разреза, определял и анализировал закономерности распространения потенциально газонасыщенных объектов в верхней части разреза, анализировал сейсмограммы общего пункта взрыва и океанологические данные с целью прогноза распространения многолетнемерзлых пород и газовых гидратов в Центрально-Лаптевской зоне сипов газа.

Защищаемые положения

1. Для верхней части осадочной толщи морей Лаптевых, Восточно-Сибирского, Чукотского, Бофорта, Берингова установлено широкое распространение потенциально газонасыщенных объектов, в основном, с верхними границами газонасыщения на глубинах до 100-300 м от поверхности дна. При этом выявлена связь расположения верхних границ газонасыщения выделенных объектов с тектонической активностью рассмотренных регионов на поздних стадиях осадконакопления.

2. В Центрально-Лаптевской зоне интенсивных сипов газа на основе комплексного анализа данных сейсморазведки отраженными и преломленными волнами, придонных температур воды и аналитического расчета условий стабильности газовых гидратов доказано отсутствие многолетнемерзлых пород и газовых гидратов. При этом обоснован преимущественно глубинный источник газа, мигрирующего по тектоническим разломам и выходящего через морское дно.

3. На континентальном склоне моря Лаптевых впервые спрогнозировано распространение газовых гидратов на основе выделения на временных разрезах МОГТ псевдодонного отражающего горизонта BSR (bottom simulating reflector), находящегося в зоне с благоприятными термобарическими условиями для их существования. В этой части моря Лаптевых за счет установленного повышения температуры придонных вод, произошедшего в последнее столетие в процессе потепления климата, прогнозируется активизация диссоциации газовых гидратов.

Публикации и апробация результатов работы

Результаты работы изложены в 17 опубликованных работах, в том числе в 3 статьях, входящих в базу Высшей аттестационной комиссии (ВАК), а также в 10 статьях, входящих в международные базы Scopus и Web of Science. Результаты работы также вошли в 4 ежегодных отчета по теме госзадания Института проблем нефти и газа Российской академии наук (ИПНГ РАН) «Рациональное природопользование и эффективное освоение нефтегазовых ресурсов арктической и субарктической зон Земли».

Результаты работы также докладывались на 13 всероссийских и международных научных конференциях: XIII Международный молодежный научно-практический конгресс «Нефтегазовые горизонты» (Oil and Gas Horizons), Москва, 2021 г.; Международная научно-практическая конференция по мерзлотоведению «Современные исследования трансформации криосферы и вопросы геотехнической безопасности сооружений в Арктике», Салехард, 2021 г.; X Международная научно-практическая конференция «Морские исследования и образование. MARESEDU-2021», Москва 2021 г.; 23-я конференция по вопросам геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа «Геомодель 2021», Геленджик, 2021 г.;

VII-я Молодежная конференция «Новое в геологии и геофизике Арктики, Антарктики и Мирового океана», Санкт-Петербург, 2021 г.; IX Конференция молодых учёных «Океанологические исследования», Владивосток, 2021 г., VI Всероссийская научная конференция молодых ученых «Комплексные исследования Мирового океана», Москва, 2021 г.; 9-я международная геолого-геофизическая конференция Европейской ассоциации геоученых и инженеров EAGE «Санкт-Петербург 2020. Геонауки: трансформируем знания в ресурсы», Санкт-Петербург, 2020 г.; IX Международная научно-практическая конференция «Морские исследования и образование. MARESEDU-2020», Москва, 2020 г.; Международная конференция «Арктические рубежи» (Arctic Frontiers), Тромсё, Норвегия, 2020 г.; Молодежная научная конференция-школа «Геология на окраине континента», Владивосток, 2019 г.; 1-я конференция EAGE «Морские технологии», Геленджик, 2019 г.; X Международный молодежный научно-практический конгресс «Нефтегазовые горизонты» (Oil and Gas Horizons), Москва, 2018 г.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения. Общий объем работы составляет 180 страниц, включая 75 рисунков, 1 таблицу. Библиографический список включает 267 наименований.

Благодарности

Диссертационная работа выполнена в лаборатории комплексного геолого-геофизического изучения и освоения нефтегазовых ресурсов континентального шельфа ИПНГ РАН и на кафедре геоэкологии Российского государственного университета нефти и газа (национального исследовательского университета) имени И.М. Губкина.

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю – д.т.н., член-корреспонденту РАН В.И. Богоявленскому за постоянную помощь и поддержку в работе над диссертацией. Автор также признателен за помощь научным сотрудникам ИПНГ РАН И.В. Богоявленскому, Р.А. Никонову и Т.Н. Каргиной.

Автор благодарит профессоров РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, д.г.-м.н. О.В. Постникову, д.г.-м.н. С.Ф. Хафизова, д.т.н. В.Г. Аковецкого и доцента, к.п.н. Н.Е. Лобжанидзе за поддержку, ценные советы и рекомендации.

Автор особенно признателен генеральным директорам АО «МАГЭ» д.т.н. Г.С. Казанину и д.э.н., к.т.н. А.Г. Казанину за оказанное внимание, сотрудничество и предоставление исходных материалов для работы, а также специалистам АО «МАГЭ» к.г.-м.н. С.И. Шкарубо, А.П. Демонову, В.В. Ланцеву, Г.А. Казанину, Е.А. Фоминой за оказанные консультации.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Теоретические основы исследования

Верхняя часть осадочного чехла характеризуется широким разнообразием объектов, связанных с накоплением и миграцией газа. Геофизические методы позволяют с различной степенью детальности и достоверности выделять потенциальные газонасыщенные объекты. Одним из наиболее информативных и доступных способов изучения потенциальной газонасыщенности верхней части разреза (ВЧР) является интерпретация данных сейсморазведки МОГТ, включая временные разрезы и первичные полевые материалы, получаемые в виде сейсмограмм общего пункта взрыва (ОПВ) с записями отраженных и преломленных волн. Изучению газонасыщенности ВЧР с помощью различных модификаций геофизических методов посвящены многочисленные работы отечественных и зарубежных ученых, включая Г.Г. Ахманова, В.И. Богоявленского, А.Д. Дзюбло, Г.С. Казанина, В.Ю. Керимова, А.А. Колюбакина, Л.И. Лобковского, Т.В. Матвееву, С.Г. Миронюка, А.И. Обжирова, А.Д. Портнова, И.П. Семилетова, С.Ю. Соколова, М.Ю. Токарева, Р.Б. Шакирова, Н.Е. Шахову, К. Andreassen, M. Hovland, A. Judd, J. Mienert и др.

На временных и/или глубинных динамических разрезах сейсморазведки МОГТ потенциальные залежи свободного газа могут быть выделены по ряду признаков: локальное повышение амплитуды отражений («яркое пятно»), инверсия фаз отражений (смена полярности), вертикальное смещение (прогибание) осей синфазности под аномалией, аномальное поглощение высоких частот упругих колебаний, ослабление амплитуд под аномалией («зона тени», маскирующий эффект), наличие горизонтальных осей синфазности («плоское пятно»). На разрезах также выделяются зоны миграции газа, обычно связанные с разрывными нарушениями, называемые газовыми трубами (gas chimneys). Они проявляются хаотической формой отражений.

Газ в ВЧР может находиться в гидратном состоянии. Газовые гидраты (ГГ) – кристаллические соединения, образующиеся при взаимодействии газа с водой при благоприятных термобарических условиях – повышенных давлениях и пониженных температурах. Вопросы существования и распространения в природе ГГ подробно освещены в ряде работ Ю.Ф. Макогона, В.А. Соловьева, Г.Д. Гинсбурга, А.А. Трофимука, В.И. Богоявленского, В.А. Истомина, В.С. Якушева, Т.В. Матвеевой, М.С. Крайчика, К. Kvenvolden, К. Andreassen, Т. Shipley и др. Признаком присутствия залежей ГГ на временных разрезах является отражающий горизонт BSR (bottom simulating reflector – рефlector, повторяющий дно, или псевдодонный отражающий горизонт). Горизонт BSR указывает на подошву зоны стабильности ГГ, под которой газ находится в свободном состоянии, и

определяется по следующим признакам: субпараллельность поверхности морского дна, сечение слоистости вмещающих пород, обратная полярность отраженных волн.

На рисунках 1 и 2 показаны примеры выделенных объектов в ВЧР – аномалий, указывающих на потенциальные газовые залежи (рисунок 1), и горизонта BSR, указывающего на возможную нижнюю границу зоны стабильности ГГ (рисунок 2).

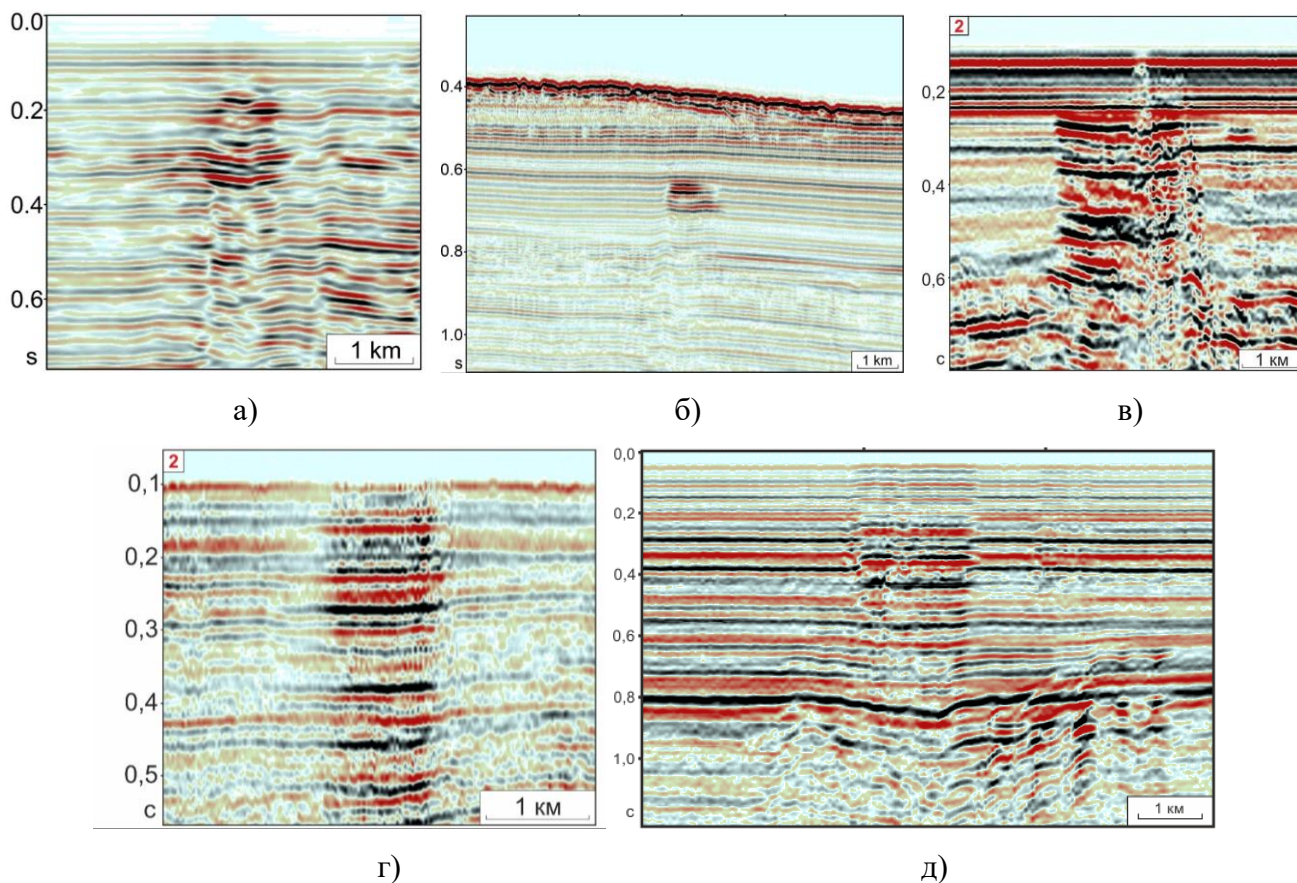


Рисунок 1 – Фрагменты временных разрезов с аномальными объектами в морях Лаптевых (а), Восточно-Сибирском (б), Чукотском (в), Бофорта (г), Беринговом (д)

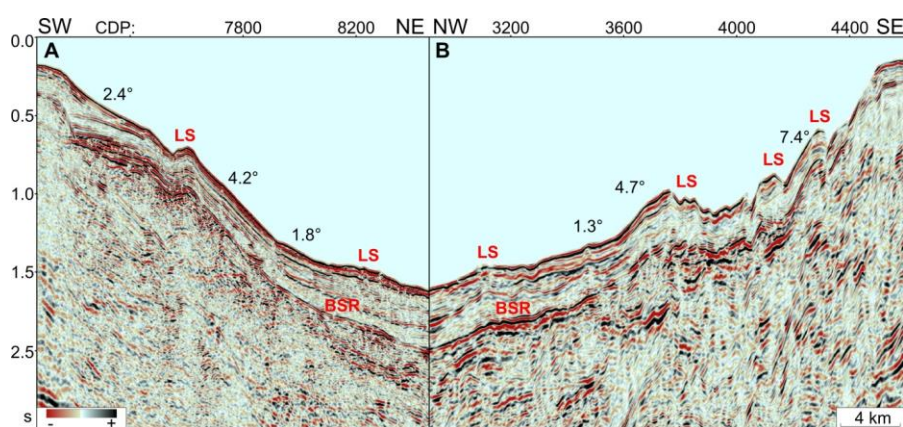


Рисунок 2 – Монтаж фрагментов временных разрезов LS0924 (A) и LS0912 (B) в море Лаптевых. Обозначения: BSR - псевдодонный отражающий горизонт, LS – оползни, цифры с градусами – углы наклона дна

Признаком наличия в ВЧР многолетнемерзлых пород (ММП) и/или ГГ, имеющих общие физические свойства, является наличие на глубинах до 400-500 м от поверхности осадочного чехла в слабо консолидированных терригенных отложениях сейсмических горизонтов с повышенными скоростями распространения упругих колебаний. Эффективным методом выявления и изучения пластов с повышенными скоростями является анализ записей преломленных волн, которые обычно регистрируются в первых вступлениях сейсмограмм ОПВ. Методу преломленных волн посвящены работы Г.А. Гамбурцева, А.М. Епинатьевой, Т.С. Сакулиной, В.И. Богоявленского и др. По годографам на сейсмограммах определяются кажущиеся скорости волн. Для горизонтально-слоистой модели среды кажущиеся скорости преломленных волн равны граничным (верхняя часть пласта) скоростям в преломляющих горизонтах. В упрощенных моделях с горизонтальными или наклонными границами однородных сред годографы преломленных волн прямолинейны.

Объектами исследования выбраны арктические и субарктические акватории Восточной Сибири и Дальнего Востока России – моря Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское и Берингово, а также относящееся к американскому шельфу море Бофорта (рисунок 3).

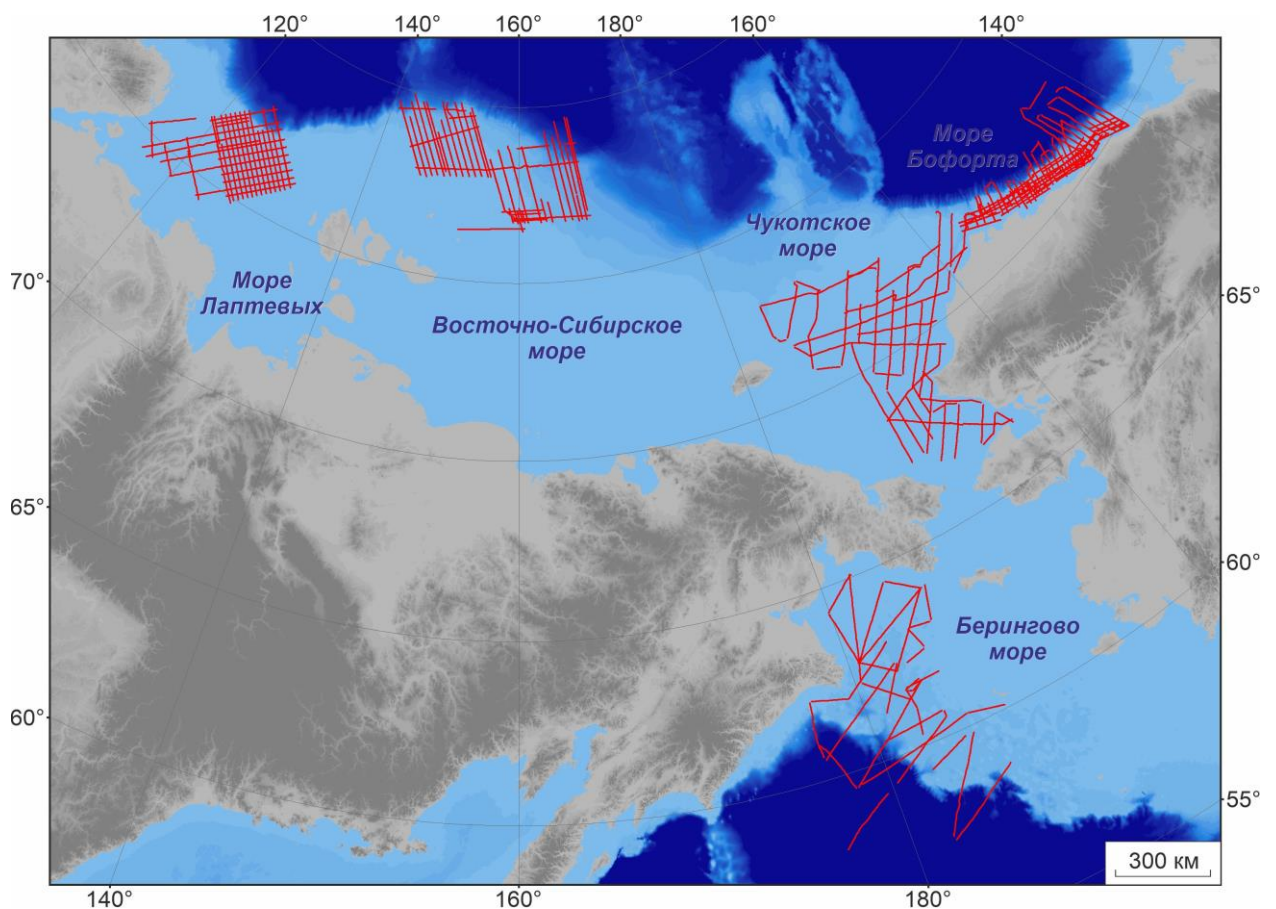


Рисунок 3 – Положение сейсмопрофилей, проанализированных в настоящей работе (красный цвет)

Среди причин, обуславливающих актуальность исследования, указанных выше (см. общую характеристику работы), стоит особенно отметить высокое значение вопроса эмиссии газа через морское дно на Восточно-Сибирском арктическом шельфе, в связи с его мелководностью. При небольших глубинах морского дна выходящий из ВЧР метан может не успевать полностью раствориться в гидросфере и, как следствие, способен попадать в атмосферу и усиливать парниковый эффект. Важным является установление генезиса эмиссии газа, происходящей на Восточно-Сибирском арктическом шельфе в настоящее время. Газ может выделяться за счет разложения ГГ, образовавшихся при промерзании ВЧР во время оледенений и оказавшихся в условиях повышенных температур при послеледниковой трансгрессии. В таком случае глобальное потепление может усиливать процесс эмиссии газа вследствие продолжающейся диссоциации ГГ. С другой стороны, если в районах эмиссии газа уже не существует ГГ, в связи с завершившимися процессами диссоциации, то современное потепление климата не должно влиять на дегазацию Земли в данном регионе, и процесс газовой эмиссии можно считать результатом вертикальной миграции газа по разломам из зон его генерации и сформировавшихся залежей в осадочном чехле к морскому дну.

Глава 2. Геолого-геофизические особенности строения и нефтегазоносности районов исследований

Районы исследований характеризуются различной геологической эволюцией, возрастом осадочного чехла, перспективами нефтегазоносности, рассмотренными в ряде работ отечественных и зарубежных ученых (Г.П. Аветисова, Д.Д. Агапитова, М.П. Антипова, И.С. Грамберга, С.С. Драчева, Г.С. Казанина, Б.И. Кима, М.К. Косько, Л.И. Лобковского, А.М. Никишина, А.Л. Пискарева, А.В. Ступаковой, О.И. Супруненко, В.Е. Хаина, А.А. Черных, Э.В. Шипилова, С.И. Шкарубо, A. Grantz, K. Bird, K. Sherwood и др.). Данные особенности были учтены автором при изучении потенциальной газоносности ВЧР по сейсмическим данным для корректной интерпретации получаемых результатов. Важно отметить, что на северном шельфе Восточной Сибири отсутствуют глубокие скважины. Данные о геологическом строении шельфа основаны на результатах геофизических съёмок, исследований берегового обрамления по естественным обнажениям и картировочным скважинам, а также на аналогиях с соседними акваториями шельфа Аляски, изученными на более высоком уровне.

2.1. Море Лаптевых

Фундамент акватории моря Лаптевых составляют магматические и метаморфические отложения, которые формировались предположительно с архея до мезозоя и были деформированы при мезозойской складчатости. Осадочный чехол состоит из меловых-кайнозойских пород, мощность которых достигает 14-16 км. По литологическому составу весь осадочный чехол прогнозируется терригенным. К ВЧР относятся отложения среднемиоцен-

четвертичного комплекса, локально могут быть включены и более древние отложения. Присутствие органического вещества наземного происхождения прогнозируется в палеоцене, эоцене, олигоцене. В качестве потенциальных резервуаров акватории моря Лаптевых рассматриваются олигоценые и нижнемиоценовые отложения, которые на побережье сложены крупнозернистыми песчаниками. Плиоценовые и четвертичные глинистые отложения предположительно являются основными региональными флюидоупорами. Весь осадочный чехол пронизан и интенсивно деформирован дизъюнктивными нарушениями, обусловленными двумя фазами рифтогенеза – в позднем мелу-палеоцене и позднем миоцене-плейстоцене. Кроме того, Лаптевоморский шельф в настоящее время характеризуется активной сейсмичностью.

В 2008-2021 гг. в центральной части моря Лаптевых (в северной части шельфовой зоны) отечественными и зарубежными учеными (Б.В. Барановым, Н.Е. Шаховой, И.П. Семилетовым, В.И. Юсуповым, В.И. Сергиенко, Л.И. Лобковским, О.А. Анисимовым, J. Steinbach, Ö. Gustafsson и др.) в ходе ряда экспедиций была обнаружена и исследована крупная (около 80x220 км) Центрально-Лаптевская зона сипов газа (ЦЛЗСГ). Анализ генезиса эмиссии газа в данной зоне являлся одной из ключевых задач комплексного исследования, проведенного в рамках данной диссертации.

2.2. Восточно-Сибирское море

В тектоническом плане районы исследования охватывают поднятие Де-Лонга и прогиб Вилькицкого. По данным МАГЭ эти структуры имеют единый акустический фундамент с возрастом до раннего мела, перекрытый осадочными отложениями мел-кайнозойского возраста. К ВЧР в прогибе Вилькицкого относятся отложения среднемиоцен-четвертичного возраста, однако в местах повышения фундамента могут включаться более древние отложения. В районе поднятия Де-Лонга весь осадочный чехол может быть отнесен к ВЧР. По составу осадочный чехол прогнозируется терригенным. Имеющиеся в регионе разломы, в основном, не доходят до придонных отложений, в связи с тем, что с позднего миоцена не происходило интенсивных тектонических движений. Нефтегазоматеринские толщи прогнозируются в верхнем мелу-палеоцене, и олигоцене-нижнем миоцене, где предполагается накопление большого объема терригенного органического вещества. Потенциальными резервуарами углеводородов (УВ) в ВЧР, как и на акватории моря Лаптевых, считаются олигоценые и нижнемиоценовые песчаные отложения, а региональным флюидоупором могут являться глинистые миоцен-четвертичные отложения.

2.3. Моря Чукотское и Бофорта

Для Северной Аляски и прилегающего шельфа морей Чукотского и Бофорта принято деление геологического разреза на четыре основных комплекса: франклинский, представляющий фундамент (нижний-средний палеозой), и осадочные комплексы элсмирский

(карбон-триас), бофортский (триас-мел) и брукский (мел-кайнозой). К ВЧР относится последний комплекс, сложенный преимущественно терригенными породами. Образование разломов обусловлено рифтогенезом в юре, также предположительно произошла активизация разрывных нарушений в кайнозое. Имеются данные о разломообразовании в четвертичное время и о современной сейсмичности. В наиболее перспективном в регионе Северо-Чукотском бассейне резервуары УВ и нефтегазоматеринские толщи прогнозируются во всех осадочных комплексах.

2.4. Берингово море.

В пределах акватории рассмотрены осадочные бассейны Анадырский и Наваринский, частично, континентальный склон и глубоководная Алеутская котловина. Фундамент рассмотренных бассейнов представлен значительно дислоцированными мезозойскими отложениями, он перекрывается переходным верхнемеловым-среднеэоценовым комплексом и верхнеэоцен-четвертичным осадочным чехлом. В структуре осадочного чехла выделяются прогибы, поднятия, разрывные нарушения, образованные в результате интенсивных тектонических деформаций. В Анадырском бассейне активные тектонические движения происходили в эоцене-олигоцене и миоцене-плиоцене. К ВЧР относится миоцен-четвертичный осадочный комплекс, представленный терригенными отложениями. Потенциальные нефтегазоматеринские толщи находятся в эоцене, олигоцене, миоцене. Потенциальными коллекторами являются песчаники миоцена.

Глава 3. Изучение потенциальной газоносности верхней части разреза в районах исследования

Исходные данные для изучения потенциальной газоносности ВЧР включали временные разрезы МОГТ, полученные в акваториях морей Лаптевых и Восточно-Сибирского МАГЭ и морей Чукотского, Бофорта и Беринговом USGS. В ходе работы проводился анализ временных разрезов в ПО IHS Kingdom с целью выделения потенциально газонасыщенных объектов (см. главу 1). Для каждой аномалии, указывающей на газонасыщенный объект, определялись размер по горизонтали – протяженность вдоль соответствующего сейсмопрофиля и глубина относительно поверхности морского дна. Необходимо отметить, что глубина для каждого объекта определялась по верхней границе предполагаемой зоны газонасыщения, поскольку во многих случаях нижнюю границу определить не удавалось в связи с низкой разрешенностью сейсмических материалов и сильным поглощением сигнала. На основе полученных данных по каждому району исследований строились диаграммы, представляющие модели распространения газонасыщенных объектов в ВЧР.

3.1. Море Лаптевых

Исходные данные для анализа включали временные разрезы МОГТ МАГЭ, построенные по профилям, отработанным в море Лаптевых в 2005-2009 гг. На первом этапе работы

анализировались разрезы по каркасной сети профилей, охватывающих центральную и юго-западную части акватории, общей длиной около 3550 км.

Всего в ходе анализа на первом этапе выявлено 230 аномальных объектов, включая представленный на рисунке 1а. В результате анализа распределения выделенных аномалий установлено, что большинство объектов имеют размеры до 2,5 км (86,5 %), при этом менее 0,5 км – 33,9 %. Большая часть объектов (82,6 %) имеет верхнюю границу газонасыщения на глубинах до 200 м. Максимальное количество (66,5 %) находится в интервале 0-100 м. Полученная модель глубинного распространения газонасыщенных объектов предположительно связана с большим количеством разрывных нарушений – потенциальных каналов миграции газа в осадочном чехле, многие из которых доходят до придонных отложений, вплоть до морского дна. Кроме того, высокому содержанию газа в придонных отложениях может способствовать генерация микробиального газа *in situ*. Также полученное распределение свидетельствует о наличии в ряде мест в самых верхних (придонных) отложениях ВЧР (глубины до 200 м) в разной степени герметичных покрывок, полностью или частично не нарушенных разломами.

На втором этапе работы детально изучена центральная часть акватории (Центрально-Лаптевский район), включая ЦЛЗСГ. Для данного района использованы все отработанные в 2009 г. профили МАГЭ, общей протяженностью около 5930 км. Задача второго этапа исследования состояла не только в изучении потенциальной газоносности ВЧР, но и в сопоставлении выявленных сейсмических аномалий, а также глубинных разломов с положением известных газовых сипов, для анализа возможного источника газа, выходящего через морское дно (рисунок 4).

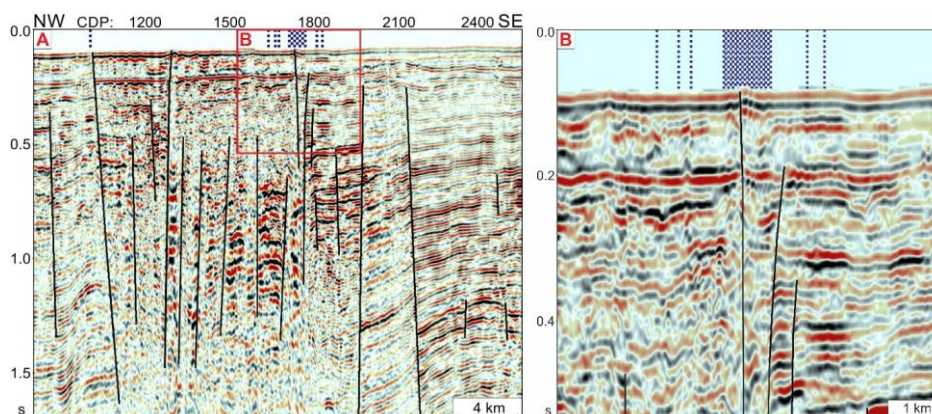


Рисунок 4 – Фрагмент временного разреза LS0910 (А) в море Лаптевых с увеличенным объектом (В)

Всего в результате анализа на втором этапе выделено 519 аномалий в ВЧР, указывающих на объекты, потенциально насыщенные свободным газом (рисунок 5). Установлена приуроченность сипов, расположенных вблизи проанализированных разрезов, к глубинным разломам – потенциальным проводникам газа. На шести разрезах, пересекающих

континентальный склон моря Лаптевых, впервые выделен отражающий горизонт BSR, указывающий на возможные ГГ.

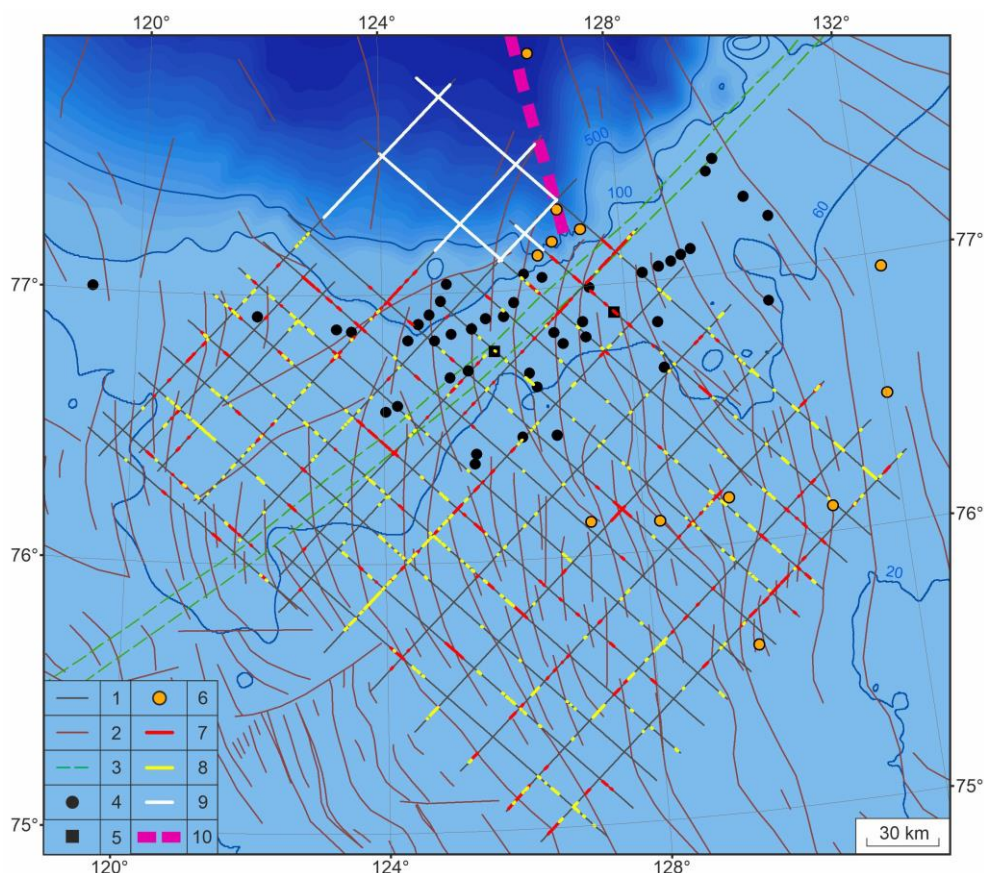


Рисунок 5 – Положение сипов газа, аномальных объектов в ВЧР и разломов, выделенных на временных разрезах МАГЭ в море Лаптевых. Обозначения: 1 – сейсмопрофили МОГТ; 2 – разрывные нарушения; 3 – Хатангско-Ломоносовская зона разломов; 4 и 5 – сипы газа, в том числе участки с высокой концентрацией сипов газа (5); 6 – места повышенной концентрации метана в придонной воде; 7 – аномальные объекты, отождествляемые с залежами свободного газа в ВЧР; 8 – сейсмические аномалии, указывающие на возможные пути миграции газа; 9 – горизонт BSR; 10 – положение погребенной зоны спрединга хребта Гаккеля

3.2. Восточно-Сибирское море

Исходные данные для анализа включали временные разрезы МОГТ МАГЭ, построенные по профилям, отработанным в северо-западной части Восточно-Сибирского моря в 2011-2012 и 2016 гг., общей длиной около 8200 км.

Всего в результате анализа выявлено 129 аномальных объектов, включая представленный на рисунке 16. В результате анализа распределения выделенных аномалий установлено, что большинство объектов (83,0%) имеют верхние границы газонасыщения на глубинах до 300 м от морского дна. По протяженности вдоль профилей большинство аномалий характеризуются размером до 2,5 км, причем максимальное количество аномалий (38,8%) сосредоточено в

интервале до 500 м. При анализе временных разрезов по Восточно-Сибирскому морю было отмечено относительно малое количество разломов, доходящих до морского дна, что может объяснять меньшую интенсивность вертикальной миграции газа в рассматриваемой части Восточно-Сибирского моря, по сравнению с морем Лаптевых и другими акваториями, рассмотренными ниже.

3.3. Чукотское море

Исходные данные для анализа включали временные разрезы МОГТ USGS, построенные по профилям, отработанным в 1978-1980 гг. как в российском, так и в американском секторе Чукотского моря, общей длиной около 9500 км.

Всего в результате анализа выявлено 782 аномальных объекта, включая представленный на рисунке 1в. В результате анализа распределения выделенных аномалий установлено, что большинство объектов имеет верхнюю границу газонасыщения на глубинах до 200 м от дна (74,9%), причем непосредственно у поверхности морского дна (на глубинах до 100 м) эта граница расположена у 57,5% от всех объектов. Большая часть объектов имеет протяженность вдоль профилей до 2 км (87,2%), а протяженностью до 500 м обладают 39,4% объектов. Высокая газонасыщенность приповерхностной части шельфа Чукотского моря может объясняться наличием множества разрывных нарушений, основных путей вертикальной миграции газа, часть которых подходит близко к поверхности осадочного чехла.

Также в Чукотском море по временным разрезам обнаружены бугры пучения на морском дне, предположительно газодинамического генезиса, и широкие впадины – возможные высохшие озера (хасыреи), образовавшиеся при последнем четвертичном оледенении, и/или следы ледовой экзарации.

3.4. Море Бофорта

Исходные данные для анализа включали временные разрезы МОГТ USGS, построенные по профилям, отработанным в 1977 и 1982 гг. в американском секторе моря Бофорта, общей длиной 8440 м.

Всего в результате анализа выявлено 184 аномальных объекта, включая представленный на рисунке 1г. В результате анализа распределения выделенных аномалий установлено, что большая часть аномальных объектов в моря Бофорта (82,6%) характеризуется протяженностью вдоль профилей до 1,5 км. Максимальное количество аномалий сосредоточено в интервале минимальных размеров до 500 м – 38%. По глубине расположения верхних границ газонасыщения аномалии, в основном, характеризуются отметками до 200 м (82,1%), причем максимальное количество сосредоточено в интервале 0-100 м (66,8%). Приуроченность наибольшего количества аномалий к приповерхностным отложениям может объясняться наличием разрывных нарушений, доходящих до четвертичных отложений.

На 22 разрезах, пересекающих континентальный склон моря Бофорта, выделен отражающий горизонт BSR, указывающий на возможные ГГ. Полученные результаты согласуются с данными предшествующих исследований (Andreassen et al., 1995; Kvenvolden, Grantz, 1990). Кроме того, по морю Бофорта имеются прямые доказательства существования ГГ.

3.5. Берингово море

Исходные данные для анализа включали временные разрезы МОГТ USGS, построенные по профилям, отработанным в 1977, 1980 и 1982 гг. в северо-западной части Берингова моря, как в российском, так и в американском секторе, общей длиной около 5900 км.

Всего в результате анализа выявлен 441 аномальный объект, включая представленный на рисунке 1д, в основном, в шельфовой зоне. В результате анализа распределения выделенных аномалий установлено, что 86,2% выделенных объектов относятся к глубинам верхних границ газонасыщения до 300 м, максимальное количество – к глубинам до 100 м (50,6 %). 87,3% объектов имеют размеры менее 2 км, максимальное количество характеризуется размерами 500-1000 м (38,2 %). Причиной высокой концентрации аномальных объектов в приповерхностных отложениях, как и в рассмотренных выше морях, может являться распространение в ВЧР разломов – каналов миграции газа из глубоких отложений.

В Алеутской котловине выделено 14 аномалий на больших глубинах, по сравнению с шельфом – 500-700 м от морского дна, что может объясняться экранированием свободного газа залежами ГГ, присутствующими при высоких давлениях водной толщи. Также на четырех разрезах, пересекающих континентальный склон Берингова моря и Алеутскую котловину, выделен отражающий горизонт BSR, указывающий на потенциальное наличие ГГ. Важно отметить, что в данном регионе ГГ прогнозировались ранее в работах (Sakamoto et al., 2011; Scholl, Hart, 1993 и др.).

3.6. Обобщение результатов по рассмотренным акваториям

Общая закономерность распределения объектов по горизонтальным размерам (рисунок 6а) может указывать на преимущественно небольшие размеры природных резервуаров в ВЧР изученных морей. Общая закономерность глубинного распределения потенциально газонасыщенных объектов для морей Лаптевых, Чукотского, Бофорта, Берингова – превалирование объектов с верхней границей газонасыщения на глубинах до 100 м от морского дна (рисунок 6б) – может быть связана с интенсивными тектоническими движениями в соответствующих регионах на стадии накопления отложений ВЧР, в результате которых образовались или активизировались разломы – проводники газа к придонным отложениям. В Восточно-Сибирском море более спокойный режим осадконакопления, начавшийся с позднего миоцена, обуславливает меньшее количество разломов, достигающих до придонных отложений, и соответственно, меньшую концентрацию в них газа, мигрирующего по разломам. Тем не менее,

субвертикальная миграция газа по разломам, наряду с генерацией биогенного газа *in situ* также представляется ключевым фактором распространения газонасыщенных объектов в Восточно-Сибирском море, что выражается концентрацией большей части потенциальных газонасыщенных объектов в верхних 300 м ВЧР.

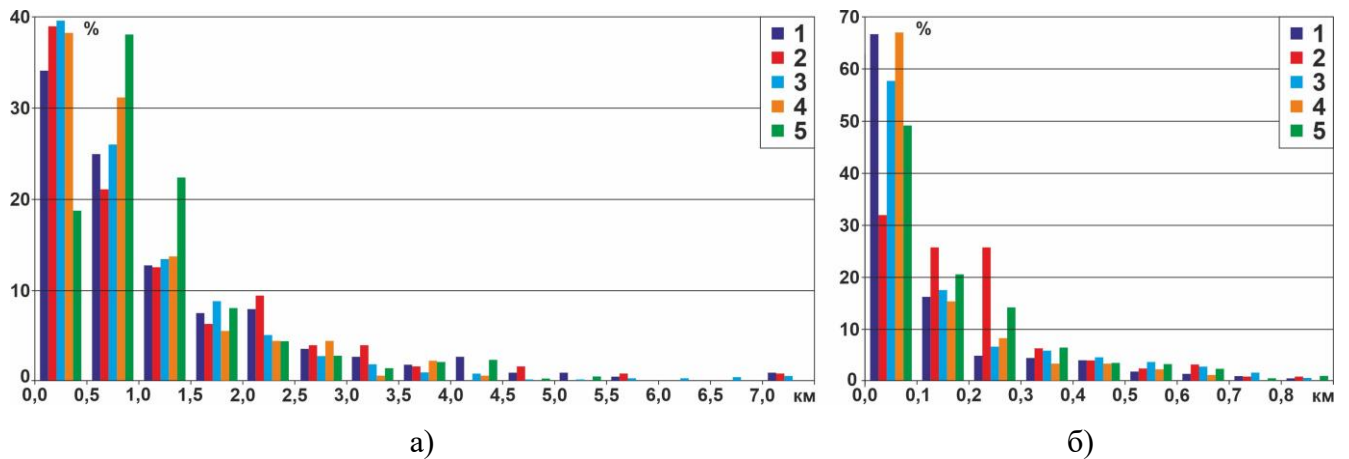


Рисунок 6 – Распределение предполагаемых газонасыщенных объектов в ВЧР по горизонтальным размерам (а) и по глубинам верхних границ газонасыщения (б) в морях Лаптевых (1), Восточно-Сибирском (2), Чукотском (3), Бофорта (4) и Беринговом (5)

Положение участков временных разрезов с выделенными горизонтами BSR во всех рассмотренных акваториях согласуется с зоной, благоприятной для образования и существования ГГ, определенной для Северного Ледовитого океана и прилегающих акваторий в публикации (Bogoyavlensky et al., 2018) на основе анализа обширной базы данных по придонным температурам воды NOAA World Ocean Database 13 (WOD13). В данной работе автор диссертации принимал непосредственное участие.

Таким образом, в главе 3 обосновано защищаемое положение 1 и первая часть защищаемого положения 3.

Глава 4. Изучение распространения потенциальных многолетнемерзлых пород и газовых гидратов в Центрально-Лаптевском районе

Для шельфовой части Центрально-Лаптевского района, включающей ЦЛЗСГ, выполнен прогноз распространения потенциальных ММП и ГГ на основе анализа распространения преломленных волн в ВЧР. Для анализа было использовано 3950 сейсмограмм ОПВ, зарегистрированных МАГЭ в 2009 г. по 28 сеймопрофилям МОГТ (рисунок 5). Анализ скоростей осуществлялся с использованием ПО RadExPro компании «Деко-геофизика».

На рисунке 7 показана результирующая схема распределения скоростей преломленных волн в ВЧР для Центрально-Лаптевского района, построенная в ПО ArcGIS. Как видно на схеме,

в результате работы выявлены две существенно различающиеся зоны: северная и южная. Северная зона характеризуется отсутствием преломленных волн от неглубоких горизонтов или их присутствием со скоростями ниже 2,3 км/с, что ассоциируется с отсутствием или крайне низким содержанием ММП и/или ГГ. Однако в западной части северной зоны имеются два небольших полигона с повышенными скоростями, видимо, свидетельствующими об островной мерзлоте. В южной зоне на сейсмограммах ОПВ наблюдаются преломленные волны от пластов с повышенными скоростями (2,3-4,0 км/с) в ВЧР, которые с большой вероятностью указывают на отложения с ММП и/или ГГ. Более низкие скорости (2,3-2,8 км/с) интерпретируются как участки с более интенсивной деградацией ММП. В южной зоне присутствуют небольшие участки, где преломленные волны не наблюдаются, что может указывать на сквозные талики.

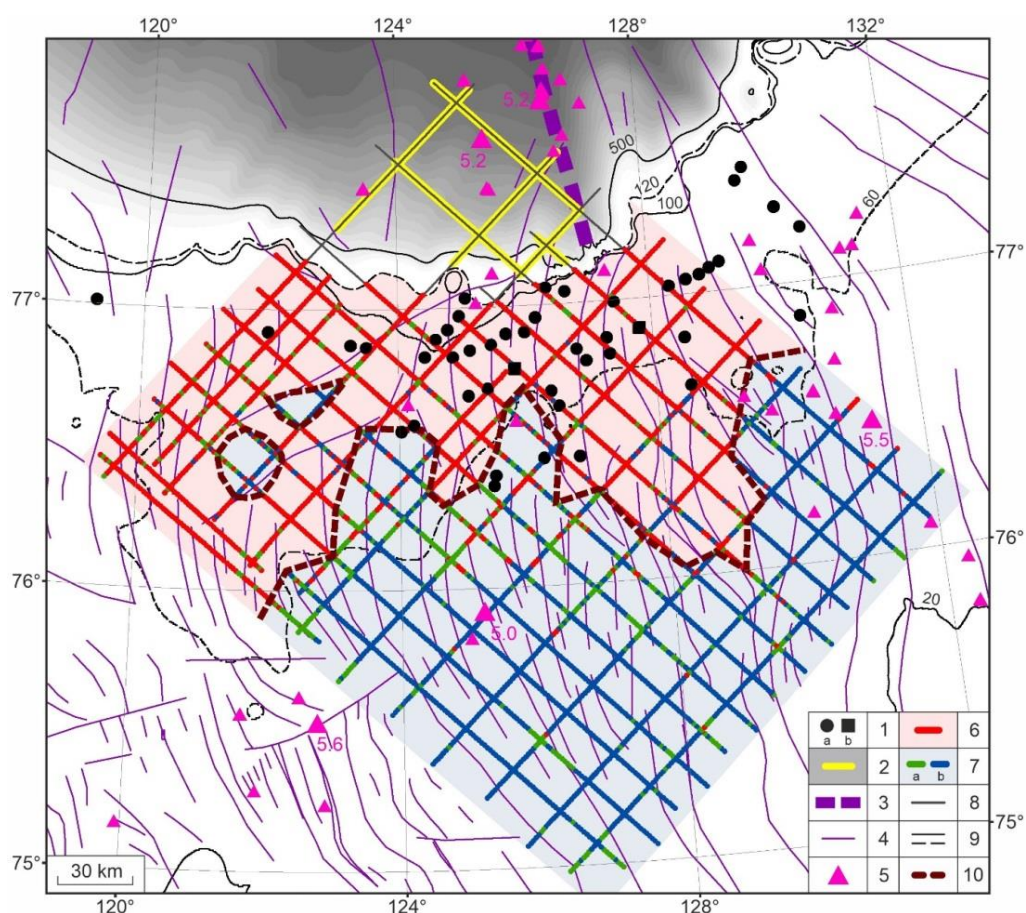


Рисунок 7 – Расположение сипов газа и результаты анализа состояния придонных отложений в

Центрально-Лаптевском районе. Обозначения: 1 а, b – сипы газа (b – участки с высокой концентрацией сипов); 2 – признаки наличия ГГ на континентальном склоне (горизонт BSR); 3 – ось хребта Гаккеля; 4 – глубинные разломы; 5 – землетрясения (в том числе, с указанной магнитудой более 5,0); 6 – отсутствие преломленных волн или их скорости менее 2,3 км/с; 7 – преломленные волны с кажущимися скоростями 2,3-2,8 км/с (a) и 2,8-4,0 км/с (b); 8 – участки сеймопрофилей на глубинах свыше 120 м; 9 – изобаты; 10 – прогнозируемая граница между зонами присутствия ММП и/или ГГ и преимущественного их отсутствия

Северная зона условно ограничена на севере изобатой 120 м, которая являлась приблизительной береговой линией во время последнего оледенения. Граница между северной и южной зонами проходит примерно вдоль изобаты 60 м. Переход из южной зоны в северную почти везде характеризуется постепенным снижением скоростей преломленных волн в ВЧР, что объясняется увеличением степени деградации ММП в северном направлении, связанным с наступлением моря при послеледниковой трансгрессии с севера на юг. ЦЛЗСГ находится в пределах северной зоны, соответственно, результаты настоящей работы свидетельствуют об отсутствии ММП в зоне эмиссии газа.

Также был выполнен анализ придонных температур воды из базы данных NOAA WOD18 с помощью ПО Ocean Data View и ArcGIS. Анализ не показал увеличения температур за последние десятилетия, что исключает роль современного потепления климата в диссоциации ГГ в ЦЛЗСГ, если предполагать, что они там в настоящее время существуют.

В результате моделирования условий стабильности ГГ в ПО CSMHYD было установлено, что теоретически гидраты метана могут присутствовать в ЦЛЗСГ только при низком значении градиента – до $21,1^{\circ}\text{C}/\text{км}$, что в реальности практически невозможно, в связи с высоким тепловым потоком, прогнозируемым в ЦЛЗСГ по фактическим данным. ЦЛЗСГ расположена в зоне сочленения Лаптевоморской рифтовой системы с Хатангско-Ломоносовской зоной разломов и хребтом Гаккеля, что обуславливает активные сейсмотектонические процессы в этом районе, в обстановке преимущественного регионального напряжения растяжения. В районе ЦЛЗСГ происходят землетрясения, которые усиливают конвективный тепловой поток и увеличивают проницаемость разломов для газа.

Касательно генезиса газа, необходимо отметить, что мигрирующий по разломам газ может быть как термогенным, так и биогенным (микробиальным). Присутствие термогенного газа прогнозируется с высокой вероятностью ввиду большого количества глубинных разломов и значительной мощности осадочного чехла. Кроме того, по морю Лаптевых имеются данные изотопных анализов углерода метана $\delta^{13}\text{C}$ (CH_4) (Cramer, Franke, 2005; Steinbach et al, 2021), которые непосредственно указывают на присутствие в сипах термогенного газа.

Исходя из установленной связи сипов с глубинными каналами миграции, можно сделать высоковероятное заключение, что в ЦЛЗСГ имеется большое количество сипов, в которых активность эмиссии газа зависит от интенсивности сейсмотектонических процессов. Можно с высокой степенью вероятности утверждать, что на настоящий момент открыты и опубликованы не все существующие сипы в ЦЛЗСГ.

Обобщая вышесказанное, можно сформулировать следующие выводы. Совокупность геолого-геофизических и криологических условий, в которых находится ЦЛЗСГ, включая большую мощность осадочного чехла, наличие многочисленных глубинных разломов,

современную сейсмичность, отсутствие ММП и ГГ, делает данную зону одной из самых уникальных областей дегазации Земли на мелководном шельфе Арктики. В данной зоне сформировалось крупное (возможно, более чем 80х220 км) окно продолжительной интенсивной газовой эмиссии с прямой миграцией глубинного термогенного газа через системы разрывных нарушений. При последующих сейсмических событиях в регионе прогнозируется дополнительная активизация сипов газа.

Потепление придонных вод выявлено для зоны континентального склона моря Лаптевых – в среднем, они увеличились в XX-XXI вв. с $-1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Согласно кривым стабильности ГГ, рассчитанным в ПО CSMHYD, гидраты метана при температуре $-0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ могут диссоциировать при глубинах морского дна 260-290 м. Следовательно, на указанных глубинах дна также возможно присутствие сипов газа. На континентальном склоне имеются места с повышенным содержанием метана в воде, отмеченные в работе (Steinbach et al, 2021), приуроченные к приграничным зонам существования ГГ (начало прослеживания горизонта BSR у бровки шельфа; см. рисунок 5). Вероятно, в настоящее время происходит разложение ГГ в верхней части континентального склона в результате увеличения температуры придонной воды вследствие потепления климата, и в этой области также могут быть обнаружены новые сипы.

Таким образом, в главе 4 обосновано защищаемое положение 2 и вторая часть защищаемого положения 3.

Заключение

В ходе диссертационной работы исследован вопрос потенциальной газоносности ВЧР акваторий северных морей Восточной Сибири и Дальнего Востока России и соседнего моря Бофорта на шельфе Аляски (США).

В результате интерпретации временных разрезов МОГТ общей протяженностью около 40 тыс. км по морям Лаптевых, Восточно-Сибирскому, Чукотскому, Бофорта и Берингову, суммарно выявлено 2086 аномалий сейсмической записи, указывающих на потенциально газонасыщенные объекты в ВЧР.

Построенные модели распространения объектов в ВЧР показали, что выделенные объекты преимущественно имеют верхнюю границу предполагаемого газонасыщения на глубинах до 100-300 м от морского дна и характеризуются линейными размерами до 2-2,5 км. Преимущественное распространение потенциально газонасыщенных объектов в приповерхностных отложениях ВЧР объясняется как генерацией микробияльного газа *in situ*, так и субвертикальной миграцией газа по разломам из отложений, расположенных ниже по разрезу. Связь распределения газонасыщенных объектов в ВЧР с миграцией по разломам свидетельствует о высоковероятном наличии УВ в отложениях, которые в настоящее время на основе накопленной геолого-геофизической информации прогнозируются как высоко нефтегазоперспективные. Установлено,

что газонасыщенность придонных отложений в рассмотренных регионах зависит от их тектонической активности на поздних стадиях осадконакопления.

Построенные картографические схемы распространения потенциально газонасыщенных объектов в ВЧР могут служить важной информацией для повышения эффективности и безопасности бурения глубоких нефтегазопроисловых скважин на рассмотренных акваториях. С другой стороны, возможно, в будущем некоторые из выделенных объектов будут представлять самостоятельный интерес для обеспечения потребностей в энергетических ресурсах близлежащих населенных пунктов и промышленных объектов на побережье.

Детальные работы по Центрально-Лаптевскому району, включавшие комплексный анализ материалов сейсморазведки МОГТ МАГЭ, выполненной в 2009 г., и данных по придонным температурам воды NOAA, позволили сделать вывод об отсутствии ММП и ГГ в ЦЛЗСГ и высоковероятном термогенном источнике газа, выходящего через морское дно. Термогенный генезис газа подтверждается известными данными изотопных анализов (Steinbach et al., 2021). Эмиссия газа через сипы в данном районе является результатом процесса миграции газа из существующих залежей в свободном состоянии в гидросферу по разломам, доходящим до морского дна вследствие активных сейсмических событий и неотектонических движений.

На континентальном склоне акваторий морей Лаптевых, Бофорта, Берингова по временным разрезам МОГТ выявлен отражающий горизонт BSR, указывающий на потенциальное наличие ГГ, причем в море Лаптевых данный горизонт выявлен впервые. Область распространения горизонта BSR согласуется с зоной благоприятных термобарических условий для стабильного существования гидратов метана, определенной в работе (Bogoyavlensky et al., 2018) при участии автора диссертации.

Установлено, что в ВЧР континентального склона моря Лаптевых в районе границы области распространения горизонта BSR у бровки шельфа в настоящее время высоко вероятна диссоциация ГГ, обусловленная потеплением за последние десятилетия придонных вод.

Представляется важным продолжение выполненных исследований и для других арктических и субарктических морей – для установления новых закономерностей распределения потенциальных газовых залежей и сравнения их с установленными в настоящей работе. Такие исследования имеют высокое значение при анализе особенностей геологического развития различных акваторий, поиске традиционных месторождений УВ, повышении безопасности бурения глубоких скважин и рассмотрении вопросов глобального изменения климата.

Выполнению данной работы способствовали: многолетнее сотрудничество с АО «МАГЭ»; открытый доступ к базам данных USGS и WOD18 NOAA и к программному обеспечению CSMHYD Центра изучения гидратов Горной школы Колорадо (Colorado School of Mines).

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

Статьи, опубликованные в научных изданиях, индексируемых в международных базах данных:

1. Bogoyavlensky V., **Kishankov A.**, Kazanin A., Kazanin G. Distribution of permafrost and gas hydrates in relation to intensive gas emission in the central part of the Laptev Sea (Russian Arctic) // *Marine and Petroleum Geology*. – 2022. – V. 138, 105527. – P. 1-15.
2. Богоявленский В. И., **Кишанков А. В.**, Казанин А. Г. Мерзлота, газогидраты и сипы газа в центральной части моря Лаптевых // *Доклады Российской академии наук. Науки о Земле*. – 2021. – Т. 500. – № 1. – С. 70-76.
3. Богоявленский В. И., Казанин А. Г., **Кишанков А. В.**, Казанин Г. А. Дегазация Земли в Арктике: комплексный анализ факторов мощной эмиссии газа в море Лаптевых // *Арктика: экология и экономика*. – 2021. – Т. 11. – № 2. – С. 178-194.
4. Богоявленский В. И., **Кишанков А. В.** Опасные газонасыщенные объекты на акваториях Мирового океана: Чукотское море (Россия и США) // *Арктика: экология и экономика*. – 2020 – № 2(38). – С. 45-58.
5. Bogoyavlensky V., **Kishankov A.**, Yanchevskaya A., Bogoyavlensky I. Forecast of Gas Hydrates Distribution Zones in the Arctic Ocean and Adjacent Offshore Areas // *Geosciences*. – 2018. – V. 8. – No. 12, 453. – P. 1-17.

Статьи, опубликованные в журналах из перечня ВАК при Минобрнауки России:

6. Богоявленский В. И., **Кишанков А. В.** Опасные газонасыщенные объекты на акваториях Мирового океана: Берингово море // *Бурение и нефть*. – 2018. – № 9. – С. 4-12.
7. Богоявленский В. И., Янчевская А. С., Богоявленский И. В., **Кишанков А. В.** Газовые гидраты на акваториях Циркумарктического региона // *Арктика: экология и экономика*. – 2018. – № 3(31). – С. 42-55.
8. Богоявленский В. И., Казанин Г. С., **Кишанков А. В.** Опасные газонасыщенные объекты на акваториях Мирового океана: море Лаптевых // *Бурение и нефть*. – 2018. – № 5. – С. 20-28.

Тезисы докладов на конференциях:

9. Богоявленский В. И., **Кишанков А. В.**, Казанин А. Г. Субаквальная криолитозона и сипы газа на шельфе моря Лаптевых // *Современные исследования трансформации криосферы и вопросы геотехнической безопасности сооружений в Арктике* / Под ред. В. П. Мельникова и М. Р. Садуртдинова. – Салехард, 2021. – С. 59-62.

10. Bogoyavlensky V. I., **Kishankov A. V.**, Kazanin A. G. Central Laptev Zone of Gas Seeps: Comprehensive Analysis of Seismic Data // Geomodel 2021. European Association of Geoscientists and Engineers. – 2021. – P. 1-6.
11. **Кишанков А. В.** Распространение потенциальных газонасыщенных объектов в верхней части разреза арктических акваторий // Комплексные исследования Мирового океана. Материалы VI Всероссийской научной конференции молодых ученых, г. Москва, 18-24 апреля 2021 г. – М.: Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 2021. – С. 419-420.
12. Bogoyavlensky V., **Kishankov A.** Features of Potential Free Gas Accumulations Distribution in the Upper Part of Sedimentary Cover of the Arctic and Subarctic Seas // Saint Petersburg 2020. European Association of Geoscientists and Engineers. – 2020. – P. 1-5.
13. Bogoyavlensky V. I., **Kishankov A. V.**, Yanchevskaya A. S., Bogoyavlensky I. V. Gas Hydrates Potential of the Arctic and Caspian Offshore Areas // Third International Conference on Geology of the Caspian Sea and Adjacent Areas. European Association of Geoscientists and Engineers. – 2019. – P. 1-5.
14. Bogoyavlensky V. I., **Kishankov A. V.**, Yanchevskaya A. S., Bogoyavlensky I. V. Gas Hydrates Potential of the Arctic, Northern Atlantic and Pacific Oceans // Geomodel 2019. European Association of Geoscientists and Engineers. – 2019. – P. 1-5.
15. Bogoyavlensky V. I., Kazanin G. S., **Kishankov A. V.** Gas Saturation of Shallow Deposits of the Arctic and Subarctic Seas // Marine Technologies 2019. European Association of Geoscientists and Engineers. – 2019. – P. 1-7.
16. **Кишанков А. В.** Перспективы газоносности верхней части разреза северо-западного сектора акватории Берингова моря на основе интерпретации сейсмических данных // Геология на окраине континента: I молодежная научная конференция-школа, приуроченная к 60-летию юбилею ДВГИ ДВО РАН, Владивосток, 14–19 сентября 2019 г.: материалы. – Владивосток: Издательство Дальневосточного федерального университета, 2019. – С. 18-19.
17. **Kishankov A.** Shallow Gas Potential of the South-Western Sector of the Laptev Sea Based on Seismic Data Interpretation // 10th International Youth Scientific and Practical Congress “Oil and Gas Horizons”. Abstract Book. – Moscow: Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), 2018. – P. 13.