

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАК
КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
МУРМАНСКИЙ МОРСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи
УДК 624.139

РОКОС
Сергей Игоревич

**ГАЗОНАСЫЩЕННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА
БАРЕНЦЕВО-КАРСКОГО ШЕЛЬФА**

Специальность 25.00.28 - океанология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Мурманск
2009г.

Работа выполнена в Открытом Акционерном Обществе «Арктические Морские Инженерно-Геологические Экспедиции» (г.Мурманск)

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук, профессор
Тарасов Геннадий Антипович

Официальные оппоненты:

доктор геолого-минералогических наук, профессор
Никифоров Сергей Леонидович
кандидат географических наук
Мысливец Владимир Иванович

Ведущая организация: ФГУ МПП «СЕВМОРГЕО»

Защита состоится «08» июня 2009г. в 15 час. на выездном заседании специализированного Совета Д002.140.01 при Мурманском морском биологическом институте Кольского научного центра Российской Академии Наук в Азовском филиале ММБИ по адресу: 344 006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова 41

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ММБИ КНЦ РАН

Автореферат разослан «07» мая 2009г.

Ученый секретарь
специализированного диссертационного совета,
кандидат географических наук

Е.Э. Кириллова

Введение

Актуальность работы определяется перспективами освоения нефтегазовых месторождений Баренцево-Карского шельфа и строительства систем транспортировки углеводородов. Проектные решения в областях освоения нефтегазовых месторождений и строительстве систем транспорта углеводородов во многом зависят от физико-географических и инженерно-геологических условий. Наличие же в грунтах газа существенно влияет на инженерно-геологические условия. Эти условия в значительной мере определяют как технические средства и технологии, так и экономику проектов освоения месторождений и систем транспортировки.

В пределах описываемого региона присутствие свободного газа в верхней части разреза устанавливается главным образом по характерным особенностям сейсмоакустических временных разрезов, а также по немногочисленным материалам многоканального высокочастотного сейсмического профилирования. Сопоставления этих данных с составом и свойствами газонасыщенных отложений, определенными по материалам бурения, для Баренцево-Карского шельфа ранее не проводилось.

Говоря об актуальности работы, следует упомянуть, что на площадях многих структур и месторождений (в т.ч. Штокмановского, Приразломного, Русановского, Медынского-море, Варадей-море и др.) в верхней части осадочного разреза, по данным бурения и сейсмоакустического профилирования, обнаружено наличие газа. Этот фактор может существенно сказаться при освоении указанных месторождений.

Основная цель работы заключается в оценке влияния приповерхностного газа на инженерно-геологические условия.

Основные задачи исследований. Исходя из поставленной цели в задачи диссертационной работы входило:

- анализ и типизация форм насыщения осадков газом;
- анализ механизмов насыщения верхней части осадочного разреза в связи со стратиграфией, литологией и палеогеографией региона;
- оценка влияния свободного газа на физико-механические и акустические свойства донных грунтов;
- выявление и оценка процессов и явлений, связанных с наличием в грунтах газа;
- анализ потенциальных рисков, связанных с наличием свободного газа, при разведке нефтегазовых месторождений и строительстве систем транспортировки углеводородного сырья.

Основные защищаемые положения. В качестве основных выводов на защиту выносятся следующие положения:

1. В пределах Баренцево-Карского шельфа выделяются три области с различным механизмом насыщения приповерхностных осадков свободным газом. Первая область располагается в глубоководных районах (глубина моря более 100м). В этой области газонасыщение верхней части разреза связано с вертикальной миграцией газа из глубоких горизонтов осадочной толщи. Вторая область расположена в мелководных районах, которые в течение максимальной предголоценовой регрессии были обнажены выше уровня моря. Здесь газонасыщение связывается с процессами деградации многолетнемерзлых пород (с выделением посткриогенного газа). Третья область приурочена к эстуариям крупных рек (Обь, Енисей и др.). В этой области насыщение осадков свободным газом происходит в результате разложения относительно свежей органики, захороненной в современных аллювиально-морских образованиях.

2. Распределение свободного газа в пределах открытого мелководного шельфа Печорского и юго-западной части Карского морей в основном контролируется соотношением в разрезе каргинско-средневалдайских черных глин, играющих роль покрышек, и зырянско-нижневалдайских песков, выступающих как коллекторы. В Обской и Тазовской губах, а также в Енисейском заливе газонасыщенность донных грунтов определяется сплошностью покрова современных аллювиально-морских осадков и содержанием в них органических веществ. В глубоководной части Баренцево-Карского шельфа каких-либо закономерностей распространения газонасыщенных образований не установлено.

3. В верхней части разреза мелководных акваторий Печорского и Карского морей наблюдаются зоны аномально высокого пластового давления (АВПД), связанные с наличием газа. Эти зоны приурочены к линзам песчаного состава, перекрытым глинистыми флюидоупорами (покрышками). Максимальное давление газа наблюдается в зонах, где покрышки представлены стабилизированными мерзлыми казанцевско-микулинскими глинами и суглинками. В случаях, когда обособленные линзы песчаного состава перекрыты талыми стабилизированными казанцевско-микулинскими и каргинско-средневалдайскими глинистыми грунтами, давление газа в них значительно ниже. Образование зон аномально высокого пластового давления (АВПД) в мелководных районах Печорского и Карского морей связано со скоплениями посткриогенного газа, аккумулирующегося в мини-ловушках.

4. Наличием в верхней части разреза газовых скоплений с АВПД отчасти обусловлены деформации в толще четвертичных отложений.

5. Наличие в грунтах свободного газа ухудшает инженерно-геологические условия и представляет собой фактор риска, требующий особого внимания при строительстве и проектировании сооружений.

Личный вклад автора и научная новизна исследований. Данная работа является первым исследованием, в рамках которого обобщены материалы сейсмоакустического профилирования, бурения, пробоотбора и лабораторных определений, выполненные в районах распространения газонасыщенных осадков Баренцево-Карского шельфа. Впервые выделены области с различным характером насыщения донных грунтов свободным газом; определены, проанализированы и сопоставлены механизмы газонасыщения; проанализировано влияние газа на физико-механические и акустические свойства грунтов Баренцево-Карского шельфа; предложен механизм формирования приповерхностных зон аномально высокого пластового давления и дислокаций в верхней части осадочного разреза.

В работе использованы материалы, полученные при изыскательских работах ОАО «Арктические Морские Инженерно-Геологические Экспедиции» (АМИГЭ) по объектам на акваториях Баренцева, Печорского и Карского морей. Эти материалы включают данные инженерно-геологического бурения, статического зондирования, сейсмоакустического профилирования в различных модификациях, высокоразрешающего многоканального сейсмоакустического профилирования, гидролокации бокового обзора и многолучевого эхолотирования. На многих из этих объектов автор принимал участие в обработке и интерпретации указанных материалов в качестве геолога и (или) ведущего исполнителя.

Апробация работы и публикации. Основные положения диссертационной работы докладывались на российских и международных конференциях: «Газ в морских осадках-2002», «Нефть и газ Арктического шельфа-2006, 2008» и др. Результаты исследований изложены в производственных научно-технических отчетах, опубликованы в ряде статей.

Практическая значимость исследований определяется тем, что ее результаты могут быть использованы в практике инженерно-геологических изысканий. Представленные в работе материалы и выводы позволяют оценить наличие в грунтах свободного газа как фактор инженерно-геологического риска. Приведенные результаты могут быть использованы для проектирования сооружений нефтегазового комплекса

(подводных трубопроводов, морских буровых платформ, нефтеналивных терминалов и пр.).

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, 6-ти глав, заключения, списка опубликованных работ автора и списка использованной литературы. Общий объем работы 89 страниц; диссертация содержит 38 рисунков. Список использованной литературы включает: 65 источников, из них – 10 на иностранных языках.

Благодарности

Автор выражает благодарность коллегам, которые вместе с ним добывали фактический материал в полевых и анализировали его в камеральных условиях, составляли геологические отчеты и статьи, постоянно обмениваясь мнениями и идеями: Бондареву В.Н., Бондаревой Л.П., Длугачу А.Г., Крапивнеру Р.Б., Костину Д.А., Куликову С.Н., Коротаеву Б.А., Локтеву А.С., Папуше А.Н., Таныгиной Т.Н.

Автор выражает благодарность своему научному руководителю Тарасову Г.А. за критический разбор работы, помощь консультациями и советами.

Содержание работы

Глава 1. Современное состояние вопроса

Основной целью данной работы является оценка влияния газонасыщенности на инженерно-геологические условия шельфа Баренцева, Печорского и Карского морей. Под газонасыщенными отложениями, автором главным образом понимаются отложения содержащие газ в свободной и растворенной формах, а также в виде газогидратов.

Проблема наличия в осадках свободного газа в современных осадках вызывает в последнее время повышенный интерес теоретиков и исследователей-практиков, занимающихся освоением шельфовых месторождений нефти и газа. Это связано с тем, что с данным фактором связываются потенциальные риски, а также реально имевшие место осложнения и аварии при разведке и добыче углеводородов на месторождениях шельфа.

Прежде всего, вопросами, связанными с наличием в приповерхностных осадках шельфа свободного газа занимаются специалисты в области сейсморазведки и сейсмоакустики. Они рассматривают его в основном как помеху при интерпретации материалов. Исследователи, занимающиеся поверхностной газосъемкой, изучают скопления приповерхностного газа для оценки перспективности структур. Буровики, специалисты в области горно-технического контроля и др. рассматривают приповерхностный газ с точки зрения опасности выбросов и прочих осложнений, т.е. они

оценивают влияние приповерхностного газа на горно-геологические условия бурения скважин.

Кроме того приповерхностный газ рассматривается и как перспективный источник углеводородного сырья будущего. В некоторых странах уже ведется разработка газонасыщенных подземных вод. Кроме того ряд компаний в настоящее время прорабатывает проекты добычи свободного приповерхностного газа и газогидратов.

Другой стороной данной проблемы является то, что свободный газ (в основном метан), поступаая из осадков в атмосферу, усиливает т.н. «парниковый эффект», способствуя глобальному потеплению климата Земли.

Исследователи, занимающиеся проблемой наличия газа в верхней части разреза с практической точки зрения (изыскатели, сейсмологи, буровики и т.п.) в настоящее время широко ее обсуждают в сети Интернет, а также на различных форумах и конференциях. Научная общественность организовала специализированную международную конференцию «Газ в поверхностных осадках», проходящую раз в четыре года.

В зарубежной литературе проблема газа в морских осадках освещена весьма широко. В связи с тематикой представляемой работы следует особо выделить исследования Норвежского Геотехнического Института (NGI), посвященные влиянию газа на физико-механические свойства грунтов. Также существуют многочисленные обзоры (в т.ч. и в сети Интернет), посвященные проблемам и явлениям, связанным с наличием газа в верхней части разреза в различных районах Мирового Океана и материковых областей. Практически все они рассматривают данный фактор как осложняющий инженерное освоение акваторий.

Среди отечественных исследований по данной проблематике выделяются работы Л.Р. Мерклина, О.В. Левченко, посвященные интерпретации сейсмических материалов, полученных в областях распространения газонасыщенных осадков, а также исследования Г.Д. Гинсбург и В.А. Соловьева в области газогидратов и мерзлых грунтов шельфа.

Проблема газонасыщенных грунтов затронута и в отечественных нормативно-технических документах, регламентирующих инженерные изыскания для строительства. В СП 11-114-2004 «Инженерные изыскания на континентальном шельфе для строительства морских нефтегазопромысловых сооружений» (пп. 6.2.18-6.2.20) частично освещены вопросы, связанные с наличием в верхней части разреза зон с аномально высоким пластовым давлением. Влияние наличия газа на условия строительства рассматривается в СП 11-102-97 «Инженерно-экологические изыскания для строительства» (пп. 4.61-4.65). Здесь затрагивается довольно узкий вопрос токсичности и взрывоопасности биогаза, поступающего в подполы и подвалы сооружений.

В целом, по состоянию на сегодняшний день, проблема наличия газа в грунтах верхней части разреза как фактора, влияющего на инженерно-геологические условия, остается освещенной в недостаточной степени как для Баренцево-Карского шельфа в частности, так и для всей шельфовой области России вообще. В отечественной системе нормативно-технической и справочной литературы отсутствуют достаточно полные оценки возможных рисков, связанных с данной проблемой, нет методических рекомендаций и описания технологий по изучению газонасыщенных грунтов шельфа. Таким образом, с точки зрения теории и практики отечественных морских инженерных изысканий, проблема газонасыщенных отложений верхней части разреза является весьма актуальной.

Глава 2. Стратиграфия и литология отложений верхней части разреза

В данной работе рассматривается южная часть шельфа Баренцева моря (в т.ч. и его юго-восточная мелководная часть именуемая «Печорским морем»), а также южная часть шельфа Карского моря, включая Байдарацку, Обскую, Тазовскую губы и Енисейский залив. В целом район характеризуется суровым морским арктическим климатом с отрицательной среднегодовой температурой (за исключением западной части российского сектора Баренцева моря, входящей в зону действия Гольфстрима).

В пределах рассматриваемого региона условно выделено три области (Рис. 1):

- I. Глубоководный (глубины моря более 80-100 м) шельф Баренцева и Карского морей
- II. Мелководный шельф (глубины моря менее 50-100 м), включающий Печорское море и обширное мелководье, примыкающее к западному побережью п-ва Ямал
- III. Губы и заливы, приуроченные к эстуариям крупных рек (Печора, Обь и Енисей)

Глубоководная область Баренцево-Карского шельфа располагается в различных географических условиях. Глубины моря на большей части площади данной области составляют 150-250 м. Максимальные глубины моря (свыше 400 м) приурочены к району Южно-Баренцевской впадины и Восточно-Новоземельского желоба. Минимальные отмечены на сводах банок и поднятий, а также в районах сопряжения с мелководным шельфом.

Мелководный шельф (область II) с глубинами моря менее 100 м, представляет собой продолжение Печорской низменности на западе и подводный склон Западно-Сибирской платформы в южной части Карского моря. Он характеризуется ровной

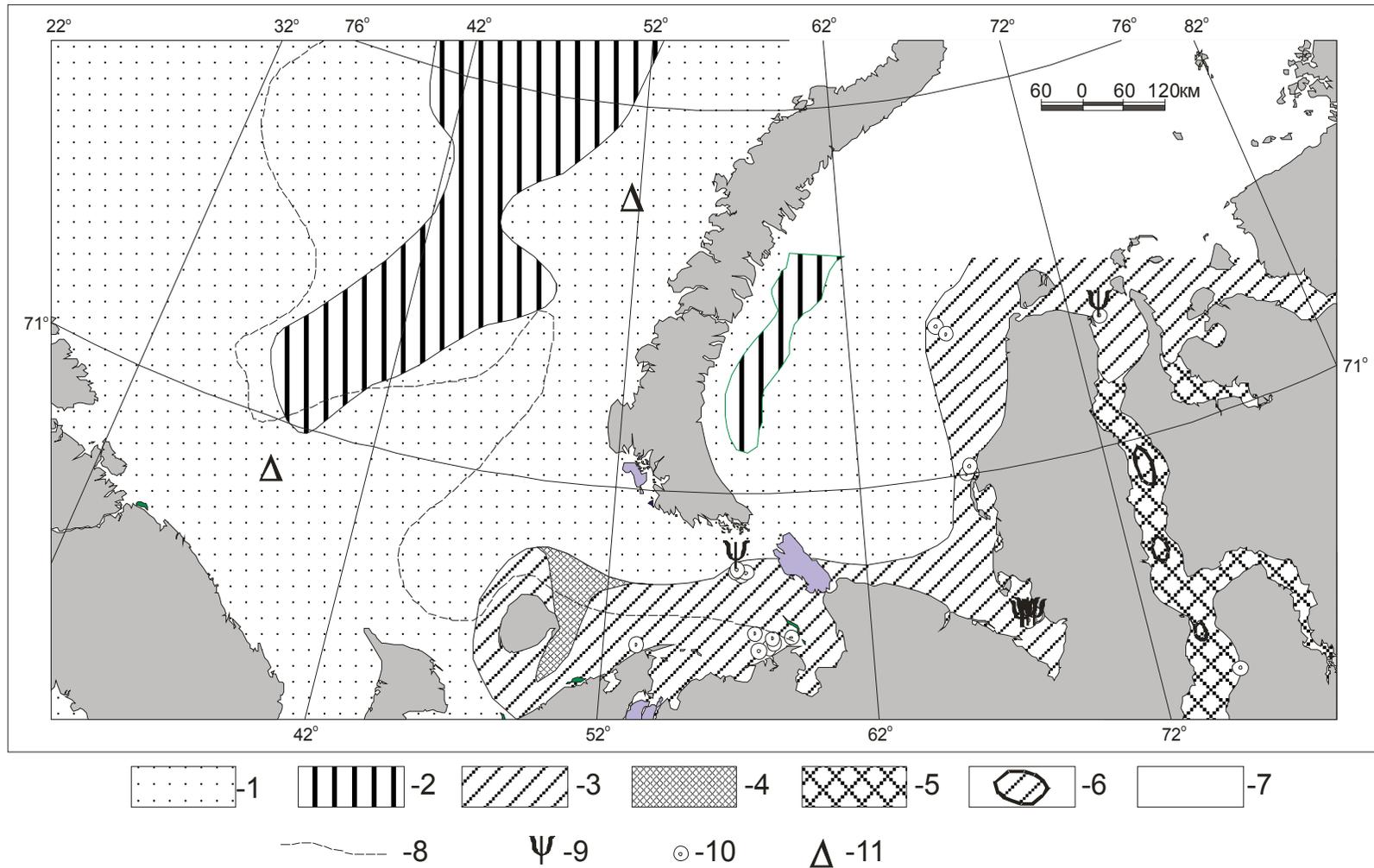


Рис. 1. Газонасыщенные осадки Баренцево-Каспийского шельфа

1- область I, 2- зона стабильности газогидратов метана, 3- область II, 4- зона приколгуевского талика, 5- область III, 6- акустические окна (переуглубленные впадины), 7- отсутствие данных, 8- изотерма 0°C придонной воды, 9- точки скважин, где имели место выбросы, 10- точки скважин, вскрывших мерзлые грунты, 11- точки скважин, в которых отмечены нефтепроявления.

пологонаклонной поверхностью дна. Глубины моря постепенно увеличиваются по мере удаления от берега.

Область III, включающая в себя губы и заливы, приуроченные к эстуариям крупных рек, также характеризуется небольшими глубинами моря. На большей части площади рассматриваемых губ и заливов она не превышает 10-15 м. В отдельных переуглубленных впадинах и желобах абразионно-эрозионного происхождения глубины моря увеличиваются до 20-50 м и более.

Под верхней частью осадочного разреза в данной работе понимается интервал от поверхности дна до глубины 500 м. В строении этого интервала в границах Баренцево-Карского шельфа преобладают отложения широкого возрастного спектра: от нижне-среднетриасовых до апт-альбских пород и рыхлых четвертичных отложений.

Дочетвертичные коренные породы

Мезозойские отложения залегают в основании данного интервала в глубоководной части Баренцева моря. Нижне-среднетриасовые образования, представленные скальными породами- пестроцветными песчаниками, глинами и алевролитами, развиты на присводовой части Адмиралтейского вала (Адмиралтейская площадь). На склонах Адмиралтейского вала коренные породы представлены юрскими и верхнетриасовыми образованиями (серые и голубовато-серые пески, суглинки и супеси твердой-тугопластичной консистенции). Кроме того юрские отложения были установлены по данным сейсмоакустики и инженерно-геологического бурения в пределах Кольской моноклинали.

Нижнемеловые терригенные апт-альбские отложения развиты на большей части рассматриваемой площади Баренцева моря. Они представлены неоднородными глинисто-суглинистыми образованиями с тонкими прослоями песчано-пылеватого материала.

Палеогеновые породы повсеместно развиты на шельфе Карского моря, где они залегают в виде покрова мощностью до 500 м и более. На шельфе Баренцева моря они наблюдаются в виде разрозненных локальных массивов («нашлепок») мощностью до 20-50 м. По составу это глинистые образования, насыщенные растворимым кремнеземом.

Четвертичные отложения

Говоря о стратиграфическом расчленении четвертичной толщи необходимо остановиться на проблемах методико-гносеологического характера. Основным здесь является вопрос неопределенности генезиса т.н. «валунных суглинков», «мореноподобных суглинков», «ледово-морских диамиктонов» и т.д. На эту проблему существует две основных точки зрения. Преобладает, особенно в последнее время, точка зрения о ледниковом происхождении рассматриваемых образований. Ее сторонники ссылаются на преимущественно массивную текстуру, несортированный гранулометрический состав, наличие крупнообломочных включений, переуплотненное состояние, характерную геоморфологию и ряд других признаков, типичных для морен континентальных оледенений.

Исследователи, придерживающиеся другой, противоположной, точки зрения рассматривают данные образования как ледово-морские осадки. На это, по их мнению, указывают: наличие остатков морской фауны (прежде всего фораминифер), присутствие типичных для диагенеза морских осадков минералов (гидросульфидов железа и марганца, вивианита и т.п.). Они также отмечают, что наряду с массивной текстурой отмечаются интервалы с явно выраженной слоистостью.

Не вдаваясь в подробности дискуссии между этими точками зрения, автор отмечает, что он скорее склоняется к последней из них, т.к. она в наибольшей степени отвечает доступному фактическому материалу.

Исходя из представленной ниже стратиграфической модели, предполагается, что в течение позднего неоплейстоцена южная мелководная область Печорского и Карского морей ледником не покрывались. В период последней поздневалдайско-сартанской регрессии, достигшей отметок -100м, данная область находилась в субэвральном состоянии. Дневная поверхность в это время была расчленена речными долинами. В глубоководных же районах Баренцево-Карского шельфа ледники были развиты в основном в желобах и депрессиях, разделяющих банки и поднятия. Собственно ледниковые (моренные) отложения развиты на шельфе ограничено. В основном они локализируются вблизи депоцентров оледенений (Кольский п-ов, Новая Земля, Шпицберген и т.д.).

Толща четвертичных отложений, подошва которых прослежена сейсмоакустическим профилированием, с угловым и стратиграфическим несогласием залегает на нижележащих образованиях. В глубоководных районах Баренцева и Карского морей относительно маломощный четвертичных покров формирует прерывистый осадочный плащ. Его мощность в среднем составляет 10–50 м. Максимальные мощности

характерны для областей распространения моренных отложений, слагающих гряды, отчетливо выраженные в современном рельефе морского дна и участков ледниково-морского осадконакопления в границах переуглубленных впадин. Минимальные мощности и участки практического отсутствия четвертичных отложений характерны для областей ледниковой экзарации и развития древних абразионно-эрозионных процессов в границах унаследованных поднятий в таких районах как Адмиралтейский вал, поднятие Ферсмана и т.п.

В Печорском и мелководных районах Карского морей покров четвертичных отложений более выдержанный. Его мощность по данным инженерно-геологического бурения составляет на большей части площади 100 м и более.

Эоплейстоцен

Аллювиальные эоплейстоценовые отложения (m, gmII)

В основании толщи новейших отложений развит комплекс эоплейстоценовых аллювиальных отложений. Его мощность достигает более 30 м (подошва комплекса до настоящего времени остается не вскрытой). По данным бурения в разрезе данного комплекса выделяются две пачки. Нижняя, мощностью до 20-30 м и более, имеет преимущественно песчаный состав. Пески заметно огрубляются вниз по разрезу, изменяя свой состав от пылеватого до среднего. В верхней прикровельной части песчаной пачки отмечаются неритмичные прослои оторфованных глин и суглинков мощностью до 10 см.

Верхняя пачка имеет глинисто-суглинистый состав. Ее мощность составляет 5-15 м. Для отложений этой пачки характерна тонкая ритмичная слоистость.

В глубоководных районах Баренцева и Карского морей эти отложения не установлены. В мелководных районах Карского моря, включающих Западноямальское мелководье, а также эстуарии Оби и Енисея, данный комплекс не выделен по причине недостаточной глубины бурения.

Неоплейстоцен

Морские, ледово-морские среднеоплейстоценовые отложения (m, gmII)

В Печорском море данные образования коррелируются с колвинской свитой примыкающего побережья. Здесь отложения рассматриваемого комплекса представлены суглинками и глинами (преобладают суглинки) с включениями крупнообломочного материала мощностью 20-30 м. В кровле этой толщи выделяется горизонт очень плотных массивных суглинков с включениями крупнообломочного материала до 10-15 % и более. Глубже по разрезу наблюдается чередование с шагом 1.5-3.0 м суглинистых интервалов,

сложенных массивными суглинками с редкими включениями грубого материала и глинистых интервалов, в которых прослеживается слоистость и содержится меньшее количество крупнообломочных включений.

В глубоководных районах Баренцева и Карского морей эти отложения представлены преимущественно стабилизированными глинами и суглинками твердой-полутвердой консистенции с включениями крупнообломочного материала. Мощность данных образований изменяется от 10-20 м на большей части площади данной области до 50-100 м и более в переуглубленных впадинах.

Ледово-морские среднелепистоценовые отложения мелководной юго-западной части Карского моря коррелируются с образованиями салехардской свиты примыкающего побережья. В рассматриваемой области их мощность превышает 50 м. Глубина залегания подошвы бурением и сейсмоакустическим профилированием не установлена. Здесь они представлены твердыми-тугопластичными глинами и суглинками с редкими включениями крупнообломочного материала..

Верхнеолепистоценовые отложения

Верхнеолепистоценовые отложения раннего термохрона (микулинско-казанцевское межледниковье- mIII¹mk-kz) представлены в Печорском море микулинскими образованиями, коррелируемыми с роговской свитой примыкающего побережья, в южной части Карского моря- казанцевской свитой. Мощность отложений этих подразделений достигает 20-50 м и более. В их составе преобладают глинисто-суглинистые образования. В Печорском море в основании микулинской толщи выделяется пачка мощностью до 5-10 м темно-серых полосчатых глин с включениями раковинного материала, редкими гравелисто-дресвяными обломками и насыщенными гидросульфидами железа и марганца ленточными прослоями. Вверх по разрезу эти глины замещаются более грубыми суглинками серого и/или коричневатого-серого цвета. В прикровельной части толщи наблюдаются прослойки оторфованного песчано-пылеватого материала.

В границах мелководья южной части Карского моря состав рассматриваемых отложений (казанцевской свиты) более неоднородный. На примыкающем побережье эти отложения слагают четвертый террасовый уровень. На обширном мелководье, примыкающем к побережью п-ва Ямал, казанцевские отложения представлены в основном монотонными неслоистыми глинами и суглинками с редкими включениями гравия и дресвы, с мелкими гнездами и линзами, насыщенными гидросульфидами железа и марганца а также оторфованным растительным материалом. На фоне этого

наблюдаются частые замещения (как в разрезе, так и по латерали) глинисто-суглинистых образований песками мелкого и пылеватого состава. На большей части изученных районов Обской и Тазовской губ данные отложения очевидно размывты. Лишь у западного побережья Тазовского п-ва вскрываются пески с включениями раковинного материала, относимые автором к казанцевской свите.

В глубоководных районах Баренцево-Карского шельфа микулинско-казанцевские отложения имеют мощность до 10-30 м и представлены в основном глинами и суглинками мягко-тугопластичной консистенции с редкими включениями гравия и гальки.

Верхнеоплейстоценовые отложения раннего криохрона (нижневалдайско-зырянский стадиал- $m\Pi^2v_{1-zr}$) в пределах мелководных районов Печорского и южной части Карского морей, представлены в основном аллювиальными песками мелкого и пылеватого состава. Пески в основном имеют рыхлое-среднеплотное сложение и часто обладают свойствами пльвуна. Данные образования заполняют палеодепрессии глубиной до 30-50 м. В верхней части разреза наблюдаются серии прослоев оторфованного глинисто-суглинистого материала. Особенно часто эти прослои встречаются в верхних частях вскрытых скважинами разрезов толщи. В некоторых разрезах в подошве толщи отмечаются скопления грубообломочного материала.

В глубоководных районах Баренцево-Карского шельфа отложения раннего криохрона (ранневалдайское-зырянское время) представлены маломощными до 3-5 м слоями глин и суглинков мягко-текучепластичной консистенции с редкими включениями крупнообломочного материала. На временных разрезах сейсмоакустического профилирования эта толща прослеживается в виде акустического горизонта с ровной подошвой и весьма расчлененной волнистой кровлей. Состав ископаемых комплексов фораминифер, спор и пыльцы позволяют предположить, что это осадки распресненного холодного моря, а сложный рельеф кровли сложный расчлененный волнистый рельеф кровли представляет собой отпечаток (морфоскульптуру) подошвы ледника.

Верхнеоплейстоценовые отложения позднего термохрона (средневалдайско-каргинское время- $m\Pi^3v_{2-kr}$) представлены в границах изученных районов в основном аллювиально-морскими глинисто-суглинистыми отложениями. На мелководном шельфе Печорского и Карского морей данные отложения, как и подстилающие аллювиальные образования раннего криохрона, заполняют локальные палеодепрессии. В пределах этих палеодепрессий их мощность достигает 20-50 м и более. На побережье Карского моря эти отложения относят к каргинскому горизонту, слагающему второй террасовый уровень.

Нижняя часть толщи каргинско-средневалдайских отложений представлена в основном суглинками с характерной тонкой ритмичной слоистостью. Она выражается в

чередовании с интервалом 0.5-2.5 см слойков серого пылевато-песчаного материала и черных глинистых слойков, насыщенных гидросульфидами железа и марганца. В ее приподошвенной части повсеместно отмечаются многочисленные включения оторфованных растительных остатков. Вверх по разрезу слоистость постепенно разубоживается и становится более грубой. Пылевато-песчаные слойки вытесняются из разреза. Одновременно увеличивается доля глин и суглинков, насыщенных гидросульфидами железа и марганца. В результате в окраске данных отложений доминируют черные и темно-серые тона. Этим обусловлено рабочее название данных отложений, принятое у геологов ОАО АМИГЭ- «черные глины». В целом состав отложений становится в направлении вверх по разрезу более тонкий, но в прикровельной части он несколько огрубляется.

В глубоководной области Баренцева и Карского морей строение и литология разрезов данного комплекса в общем аналогичны. Однако в Баренцевом море средняя и нижняя часть толщи содержат значительно меньшее количество гидросульфидов, а в окраске преобладают коричневатые и бежевые тона. Вероятно это обусловлено наличием закисных форм железа. Характер окраски объясняет рабочее название данных образований- «коричневые глины», принятое у геологов ОАО АМИГЭ. Вверх по разрезу коричневатый аспект окраски постепенно исчезает одновременно с разубоживанием слоистости и коричневые глины замещаются серыми и зеленовато-серыми суглинками и глинисто-суглинистыми илами.

На большей части площади Баренцево-Карского шельфа данные отложения можно характеризовать согласно ГОСТ 12248-96 как нестабилизированные грунты, имеющие в основном текучую-текучепластичную консистенцию. В тоже время на отдельных участках мелководных районов данные отложения находятся в переуплотненном состоянии и достигают мягко-тугопластичной консистенции. Наряду с другими признаками это указывает, что они обнажались выше уровня моря и подвергались дегидратации в субаэральных условиях. Такие участки приурочены к сводам палеовыступов в мелководных районах с глубинами моря менее 15 м, а также сводам банок (Мурманской, Канинской, Гусиной и др.).

На временных разрезах сейсмоакустического профилирования рассматриваемые отложения имеют слоистую пологоволнистую или пологоскладчатую акустическую структуру. Наиболее четкую и яркую слоистость можно наблюдать в верхних интервалах рассматриваемой толщи. В ее нижней части слоистость менее четкая, иногда прерывистая.

В глубоководных районах шельфа в каргинско-средневалдайской толще отмечается квазирегулярное чередование пологих складчатых структур. Сами изгибы и складки

конформны волнистой кровле подстилающих отложений. При этом затухания амплитуд складок и изгибов в направлении вверх по разрезу не наблюдается. Это позволяет сделать вывод о том, что данные формы не являются унаследованными структурами облекания.

В мелководных районах Печорского моря и южной части Карского моря акустическая структура рассматриваемой толщи также складчатая. Однако здесь, на фоне квазирегулярного чередования складчатых форм, отмечаются резкие высокоамплитудные изгибы нарушающие регулярный характер (Рис. 2). Следует отметить, что аналогичная картина наблюдается в коррелятных образованиях примыкающего побережья (в обрывах второго террасового уровня).

Ледниковые образования сартанского и верхневалдайского ледниковых покровов (gIII⁴vI₃-sr) выделяются вблизи депоцентров оледенения (Новой Земли, Кольского п-ва, Земли Франца-Иосифа и др.).

Голоцен

Древнеголоценовые аллювиальные отложения (aH¹) выделяются автором в мелководных районах Печорского и Карского морей. На открытых акваториях и в Байдарацкой губе они заполняются мелкие палеоврезы глубиной до 3-5 м в кровле подстилающих отложений. В Обской и Тазовской губах эти отложения заполняют палеодолины древних русел Оби и речной системы Тазовского бассейна, унаследованные современными эстуариями. В их пределах мощность данной толщи достигает 20-30 м и более.

Рассматриваемые отложения, развитые в мелководных районах шельфа Печорского и южной части Карского морей, представлены песками в основном мелкого и пылеватого состава. В песках нередко отмечаются прослой мощностью от нескольких сантиметров до 1.0-1.5 м оторфованных глин и суглинков. Особенно часто такие прослой наблюдаются в верхних прикровельных частях разреза. Пески в основном имеют рыхлое-среднеплотное сложение и часто обладают свойствами пльвуна.

Современные голоценовые морские и ледово-морские осадки (m, gmH²) развиты в пределах Баренцево-Карского шельфа практически повсеместно. Их мощность изменяется от нескольких сантиметров до 10 м и более. На большей части площади глубоководной области мощность этих отложений составляет 0.5-1.5 м. Здесь они представлены в основном суглинками с включениями крупнообломочного материала (продукт ледового рассева). На сводах банок и в районах сопряжения с мелководьем они замещаются более грубыми супесями и песками.

На открытой акватории мелководной области эти отложения представлены легкими песчанистыми суглинками, супесями и пылеватыми песками. В зоне штормовой переработки эти осадки замещаются песками более грубого состава (от мелких до гравелистых) и крупнообломочными образованиями. В пределах локальных впадин данные образования представлены тонкими глинисто-суглинистыми илами. Мощность этих осадков составляет на большей части площади 1-3 м, достигая на отдельных участках 5-10 м и более.

Современные голоценовые аллювиально-морские или эстуарные осадки (amH²) были выделены автором в губах и заливах южной части Карского моря. В средней части Обской и северо-западной части Тазовской губ мощность этих образований составляет 5-7 м. В северных частях Обской губы и Енисейского залива мощность покрова рассматриваемых осадков наращивается и достигает 10 м и более (в северной части Енисейского залива более 40 м).

В составе современных аллювиально-морских осадков преобладают тонкие глинистые и суглинистые илы с повышенным содержанием органического вещества, насыщенные гидросульфидами железа и марганца. Вниз по разрезу состав осадков существенно огрубляется. В приподошвенной части они представлены более грубыми суглинками и супесями текучей-текучепластичной консистенции с включениями оторфованных растительных остатков и прослоями песка. В целом их состав и структурно-текстурный облик во многом сходен с аллювиально-морскими образованиями последнего верхнеплейстоценового термохрона.

Глава 3. Многолетнемерзлые породы

Проблема многолетнемерзлых пород Баренцево-Карского шельфа начала обсуждаться с начала 80-х годов прошлого века. Первые прямые данные, подтверждающие наличие здесь многолетнемерзлых льдистых образований, были получены при бурении, проведенном ОАО АМИГЭ с припайного льда у побережья п-ва Харасавэй и с буровых судов в Печорском море на площадях месторождений Поморское и Варандей-море. Позднее бурением были вскрыты многолетнемерзлые породы в районах структуры Полярная, на месторождениях Медыньское-море, Русановское, а также в Байдарацкой губе Карского моря (Рис. 1).

Данные бурения показали, что мерзлые грунты развиты в границах области II (мелководные районы шельфа Печорского и Карского морей). В основном мерзлые грунты были вскрыты при глубинах моря 15-25 м. Чаще всего кровля многолетних льдистых отложений залегает в интервале 20-30 м ниже поверхности дна в Печорском

море и от 8-12 до 20-30 м в Карском. Наблюдаемая в скважинах мощность составляет как правило 20-40 м. Характер и закономерности распространения многолетнемерзлых пород в рассматриваемом регионе на сегодняшний день точно не установлены. Имеющийся материал позволяет лишь сделать вывод об островном характере распространения мерзлых грунтов.

На временных разрезах массивы многолетнемерзлых пород в основном не отображаются, т.к. их кровля залегает ниже отражений, кратных поверхности моря. Эти отражения маскируют границы, залегающие ниже отметок, равных глубине моря.

Наряду с этими обычными или «фоновыми» условиями распространения и залегания массивов мерзлых пород установлены две аномальные зоны. В первой из них, расположенной в восточной части Печорского моря приблизительно в 100 км к юго-западу от пролива Карские Ворота при глубине моря 50-70 м, бурением вскрыты мерзлые отложения, залегающие на глубине менее 1 м ниже поверхности дна. Здесь они слагают диапироподобные поднятия, отчетливо выраженные в рельефе дна. Геологи ОАО АМИГЭ, впервые обнаружившие эту зону, назвали ее «Объект «Диапиры»».

Вторая зона приурочена к площади Русановского месторождения в Карском море. Здесь мерзлые породы были вскрыты скважинами при глубине моря около 100 м. Предполагается, что промерзание осадочной толщи протекало в условиях современного морского бассейна под воздействием отрицательных придонных температур.

В Печорском море стратиграфические интервалы многолетнемерзлых пород в основном приурочены к образованиям среднего неоплейстоцена, а также верхне-неоплейстоценовым отложениям раннего термохрона (микулинские образования). Глинистые отложения большей частью представлены пластичномерзлыми глинами и суглинками с сетчатой криотекстурой, обусловленной чередованием через 0.2-1.0 м наклонных шпиров льда толщиной 1-3 см. Песчаные разности характеризуются твердомерзлым состоянием. К прослоям глинисто-суглинистого состава, встречаемым в составе мерзлых песчаных толщ, часто приурочены выделения сегрегационного льда.

В юго-западной части Карского моря мерзлые породы приурочены к образованиям казанцевской свиты. В разрезах мерзлых пород Байдарацкой губы и Русановского месторождения выделяются две пачки приблизительно равной мощности. Верхняя пачка представлена высокольдистыми образованиями или ледогрунтом. Нижняя пачка представлена менее льдистыми, в основном пластичномерзлыми глинами и суглинками со шпирями прозрачного льда толщиной от 1-2 до 10-30 см.

Температура мерзлых грунтов по данным измерений в кернах и *in situ* в Печорском и юго-западной части Карского моря (Байдарацкая губа) составляет около -2°C . Это

значение довольно близко к температуре таяния. В районах, расположенных севернее и восточнее температура несколько ниже и достигает -4°C и менее.

В средней части Обской и северо-западной части Тазовской губ многолетнемерзлые породы не встречены. Вероятно здесь имеет место крупный (возможно, что и сквозной) талик, обусловленный растепляющим действием стока впадающих в эти губы рек.

Предполагается, что мерзлые льдистые отложения шельфа Печорского и Карского морей являются реликтовыми. Вероятно они образовались в позднем криохроне (верхневалдайско-сартанское время). В течение этого времени произошла регрессия, при которой уровень моря понизился до отметок около -100 м. По данным абсолютных датировок возраст верхневалдайско-сартанского перерыва на шельфе Печорского и Карского морей составляет около 12 000- 18 000 лет. Соответственно промерзание произошло в течение этого временного интервала.

Расчеты В.А. Соловьева и А.Г. Длугача показывают, что при регрессии могла сформироваться мерзлая толща мощностью до 400 м. В ходе последующей трансгрессии мерзлый массив был затоплен современным бассейном с положительной температурой воды. Это привело к существенному растеплению и таянию мерзлоты от кровли вглубь по разрезу. Особенно интенсивно этот процесс протекал в начальные фазы трансгрессии, когда глубина моря была не большой.

Затем, когда уровень моря повысился до отметок, близких к сегодняшним, процесс таяния был в значительной степени заторможен. Это связывается с низкими (на значительной части площади отрицательными) придонными температурами современного бассейна. Предполагается, что в настоящее время реликтовый мерзлый массив испытывает медленное таяние от подошвы вверх по разрезу под воздействием внутреннего тепла Земли.

Глава 4. Газ в отложениях верхней части осадочного разреза

Скопления свободного газа в осадках верхней части разреза в целом довольно типичны для самых различных областей Мирового Океана. Особенно характерен свободный газ для высокоширотных районов, таких как шельф Новой Штоландии, Аляски, моря Бофорта и др. регионов. Прежде скопления свободного газа проявляются на временных разрезах сейсмоакустического профилирования. О наличии свободного газа свидетельствуют зоны потери сейсмической корреляции, амплитудные аномалии типа «яркое пятно», зоны обращения фаз отраженного сигнала и различные акустические

неоднородности. В кернах скважин о наличии газа говорят, прежде всего, вздутие образцов, выделение пузырьков на поверхности и характерный резкий болотный запах. Также с наличием газа связываются отдельные случаи выбросов из инженерно-геологических скважин.

Свободный газ в отложениях верхней части разреза имеет в основном биогенную природу. Он образуется в результате деструкции погребенных органических веществ бактериями. По составу это преимущественно (более 95%) метан с примесью CO_2 и других газов. Кроме того в поверхностных осадках встречается и термokatалитический газ. В верхние части осадочного разреза он поступает в результате вертикальной миграции из глубокозалегающих горизонтов осадочной толщи.

В глинисто-суглинистых отложениях свободный газ содержится в диспергированной форме (в виде отдельных пузырьков в пористом пространстве) или в тонких проницаемых линзах и прослоях внутри слабопроницаемых глинистых толщ. В песчаных образованиях он встречается в виде локализованных скоплений, сосредоточенных в мини-ловушках (мелких антикалинальных структурах или в головных частях наклонно залегающих малопроницаемых внутренних слоев глинистого состава).

Распределение газа на временных разрезах сейсмоакустического профилирования, полученных в **глубоководных районах Баренцево-Карского шельфа (область I)** носит спорадический характер. По самой общей приблизительной оценке районы, где газ наблюдается в верхней части разреза, занимают не более 10-15% площади данной области. Большая часть скоплений свободного газа приурочено к мезозойским отложениям. В четвертичной толще свободный газ встречается значительно реже.

В районах распространения меловых отложений свободный газ, как правило, скапливается в головных частях наклонно залегающих слоев, что придает сейсмоакустическим изображениям данной толщи характерную ступенчатую структуру. На временных разрезах сейсмоакустического профилирования свободный газ наблюдается в виде зон потери корреляции отраженного сигнала. По периферии этих зон нередко отмечается усиление амплитуды отражений.

В районе Адмиралтейского вала на площади одноименной структуры в пестроцветной толще нижне-среднетриасовых отложений также наблюдались признаки наличия газа, сопровождаемые нефтепроявлениями. Эти явления были отмечены в одной из скважин, пробуренной на присводовой части мелкой антиклинальной складки в нижне-среднетриасовой толще. Начиная с глубины около 10 м ниже поверхности дна в керне начал ощущаться резкий болотный запах, а с глубины около 15 м керн был пропитан маслянистой жидкостью, которая была визуальнo идентифицирована как нефть. На

временном разрезе, полученном по профилю, пересекающему точку данной скважины, отмечается существенное ухудшение корреляции внутренних границ внутри нижне-среднетриасовой толщи. Ухудшение корреляции, наряду с характерным запахом керна, вероятнее всего связано с наличием свободного газа.

В целом, предполагается, что в границах I-ой области свободный газ является результатом вертикальной миграции биогенного и термокаталитического газа из глубоких горизонтов осадочной толщи. При этом какая-либо четкая и однозначная связь зон развития газонасыщенных отложений с выявленными разломами и нефтегазовыми месторождениями и/или перспективными структурами в большинстве случаев отсутствует. В связи с этим, предполагается, что основным источником газа является рассеянная в осадочной толще органика и угленосные формации мезозойско-палеозойской толщи.

В мелководных районах Печорского и юго-западной части Карского морей (II-я область) свободный газ в верхней части разреза наблюдается на большей части площади региона. Сопоставление материалов бурения и сейсмоакустического профилирования показывает, что распределение газа контролируется главным образом соотношением в разрезе толщ аллювиально-морских каргинско-средневалдайских (черных) глин и зырянско-нижневалдайских аллювиальных песков.

На сейсмоакустических временных разрезах, полученных на участках, где развит мощный покров каргинско-средневалдайских аллювиально-морских глин (черных глин), на временных разрезах строение осадочного разреза прослеживается на глубину вплоть до подошвы данной толщи (Рис. 2). В самой толще черных глин отмечается характерная четкая внутренняя акустическая слоистость, осложненная пологой складчатостью. В подошве рассматриваемой толщи отмечаются обильные скопления газа. Это выражается в усилении амплитуд отраженного сигнала и частичной потере корреляции. Подстилающие аллювиальные пески зырянско-нижневалдайского горизонта в кровле полностью насыщены свободным газом, который блокирует распространение упругих колебаний.

Локальные скопления газа отмечаются и внутри толщи черных глин. В основном они приурочены к антиклинальным изгибам и резким изменениям геометрии слоев. Вероятно такие скопления являются результатом вертикальной миграции газа из подстилающего песчаного горизонта. Наряду с вертикальной нередко отмечаются и элементы латеральной миграции. На сейсмоакустических временных разрезах последние выражаются в усилении амплитуд отдельных наклонных слоев, протягивающихся от зон газовых скоплений, приуроченных к антиклинальным складчатым формам. Эти слои, имеющие по видимому песчано-пылеватый состав и, соответственно, более

высокую проницаемость, являются своеобразными «отводными каналами», куда поступает газ из антиклинальных «мини-ловушек».

На участках, в границах которых толщи черных глин выклиниваются и к поверхности дна выходят газонасыщенные зырянско-нижневалдайские пески, картина иная. Здесь ниже подошвы маломощного покрова голоценовых осадков полезные отражения не прослеживаются (верхняя граница сплошного газонасыщения совпадает с подошвой голоценовых осадков).

Аналогичная картина наблюдается на сейсмоакустических временных разрезах, полученных на участках, где под поверхностью дна залегают казанцевско-микулинские отложения, представленные стабилизированными переуплотненными суглинками и глинами. Поскольку эти образования также являются акустически жесткими или непроницаемыми, то ниже их кровли полезные отражения не наблюдаются. Отмечаются лишь локальные неоднородности в виде усиления амплитуд и, нередко, сопровождаемые дифракционными осями. Предполагается, что данные неоднородности также отчасти связаны со скоплениями свободного газа.

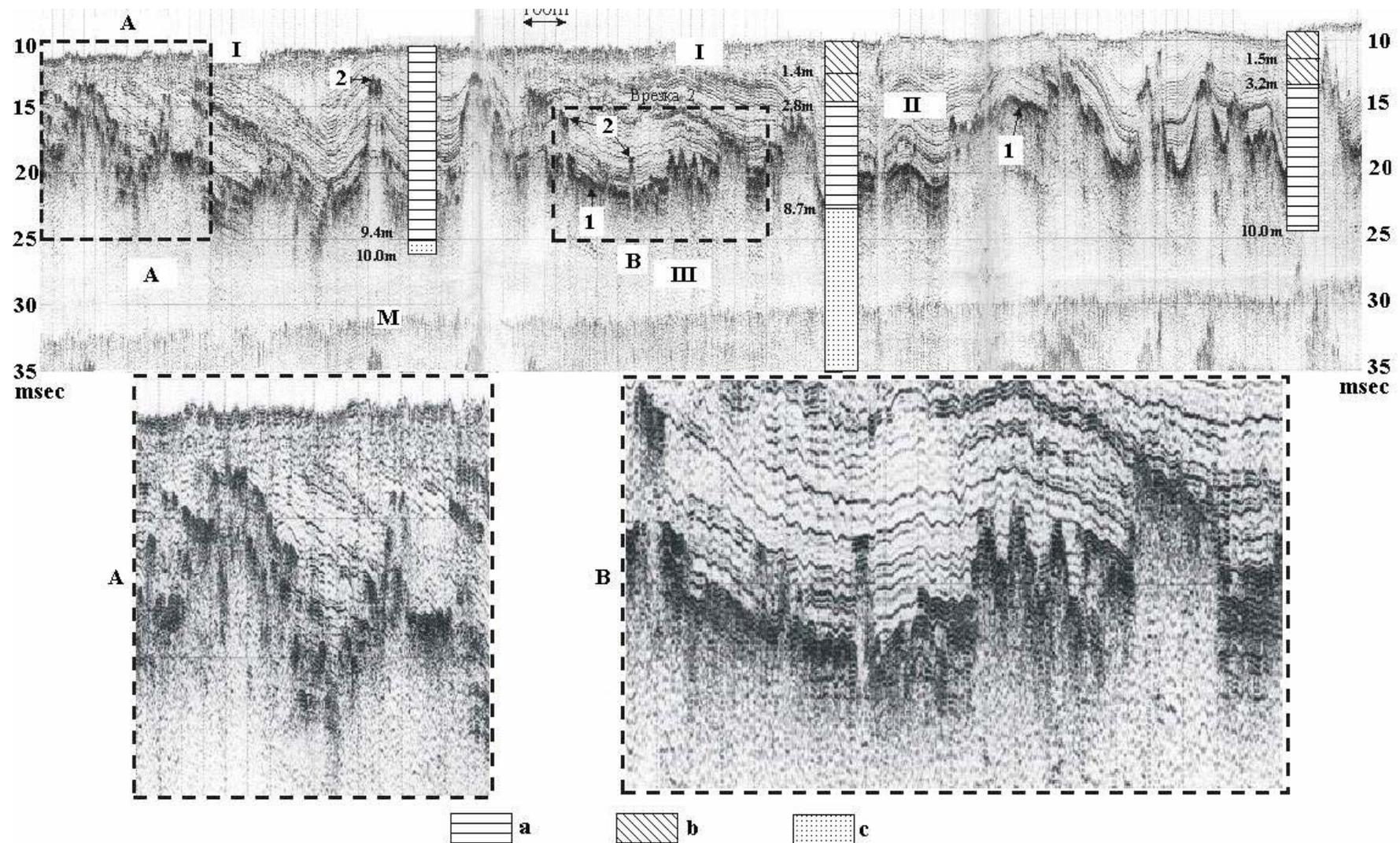


Рис. 2. Характер газонасыщения осадков Байдарацкой губы на временном разрезе (профилограф 3.5КГц).

В слоистой толще каргинских глин отчетливо наблюдается чередование пологих складок. Наблюдаются многочисленные включения газа, сопровождаемые амплитудными аномалиями. Ниже подошвы каргинских глин развиты газонасыщенные акустически непроницаемые зырянские пески.

I- голоценовые современные морские осадки, II- каргинские глины, III- зырянские пески, 1- поверхность дна, 2- подошва толщи голоценовых осадков, 3- подошва каргинских отложений, М- кратные отражения, а-с- к колонкам скважин: а- глины, б- суглинки, с- пески

Характерно, что практически все факты обнаружения многолетнемерзлых пород, приурочены к мелководной области сплошного газонасыщения. Исключение составляет глубоководный района площади Русановского месторождения (глубина моря около 100 м), где, предположительно, промерзание произошло в условиях современного морского бассейна под воздействием отрицательных придонных температур морской воды.

Наличие географического совпадения между зонами распространения многолетнемерзлых пород и газонасыщенных осадков позволяет допустить парагенетическую связь между этими двумя явлениями. Предполагается, что насыщение отложений верхней части разреза свободным газом произошло в результате таяния мерзлых толщ в ходе трансгрессии современного бассейна.

Сформированная при регрессии мерзлая толща выступала как покрывка, сдерживающая вертикальную миграцию биогенного и термокаталитического газа из глубины вверх по разрезу. Достигнув подошвы мерзлой толщи этот газ, не имея возможности к дальнейшей миграции по вертикали, накапливался в достаточно больших количествах. После деградации мерзлой толщи, которая вероятно протекала довольно быстро, скопившийся газ практически мгновенно распределился по разрезу вышележащих протаявших осадков.

Кроме того процессы разложения органического вещества и, соответственно, выделение биогенного газа в мерзлой толще были почти полностью подавлены. При трансгрессии, когда мерзлые отложения претерпели таяние, температура в ранее промерзшем интервале осадочной толщи повысилась до положительных значений, процессы разложения органики резко активизировались. Это также привело к интенсивному выделению биогенного газа.

Посткриогенное распределение газа по осадочному разрезу определялось коллекторскими свойствами слагающих его отложений. Аллювиальные пески раннего криохрона (зырянско-нижневалдайские) выступили при этом как коллекторы. Малопроницаемые каргинско-средневалдайские черные глины, а также казанцевско-микулинские глинисто-суглинистые образования сыграли роль покрывок. В силу этого пески-коллекторы оказались насыщенными газом полностью, а глинисто-суглинистые

образования содержат в своем составе локальные скопления газа. Данные скопления приурочены к проницаемым линзам и прослоям внутри глинисто-суглинистых толщ, а также к ослабленным зонам, связанными со складками и резкими изгибами слоев.

На фоне практически сплошного распространения газонасыщенных осадков в границах области II отдельно выделяется район, приуроченный к Восточно-Колгуевскому прогибу. Последний представляет собой линейное углубление, огибающее восточное побережье о. Колгуев (Рис. 1). На временных разрезах, полученных в пределах этого углубления, свободный газ в осадочной толще наблюдается спорадически. Строение самой толщи прослеживается вплоть до отметок кратных глубине моря и ниже. В средневалдайских образованиях отсутствуют характерные чередующиеся пологоскладчатые структуры. По данным бурения здесь отсутствуют также и многолетнемерзлые грунты. Различные следы криогенных и посткриогенных преобразований структуры и текстуры грунтов не наблюдаются.

Можно предположить, что в течение средне-верхневалдайского времени в пределах Восточно-Колгуевского желоба имел место крупный речной эстуарий. В пределах долины этого эстуария был развит сквозной талик, что предотвратило промерзание и последующие газонасыщение осадочной толщи.

В пределах области III, расположенной в границах эстуариев Оби и Енисея, в распределении газа в осадках наблюдается определенная зональность. Эта зональность определяется удалением от устьев рек, впадающих в губы. На большей части площади южной и средней частях Обской губы, а также северо-западной части Тазовской губы свободный газ наблюдается практически повсеместно. На полученных здесь временных разрезах сейсмоакустического профилирования интервал между поверхностью дна и верхней границей сплошного газонасыщения имеет мощность не более 1м. На участках, где верхняя граница газонасыщения совпадает с поверхностью дна, наблюдаются яркие амплитудные аномалии (Рис. 3). Сопоставление временных разрезов с сонограммами гидролокации бокового обзора показывает, что такие участки совпадают с бороздами ледового выпахивания.

На фоне этого, в локальных переуглубленных впадинах, приуроченных к районам сужения берегов Обской губы, картина иная. Здесь у поверхности дна отмечается акустически проницаемый интервал мощностью до 5-7 м. Внутри этого интервала наблюдается тонкая наклонная слоистость (Рис. 3). В подошве этот интервал ограничивается верхней границей газонасыщения. Данная граница контролируется внутренними слоями толщи древнеголоценовых аллювиальных песков и имеет

ступенчатый характер. На периферии переуглубленных впадин акустически проницаемая толща резко выклинивается.

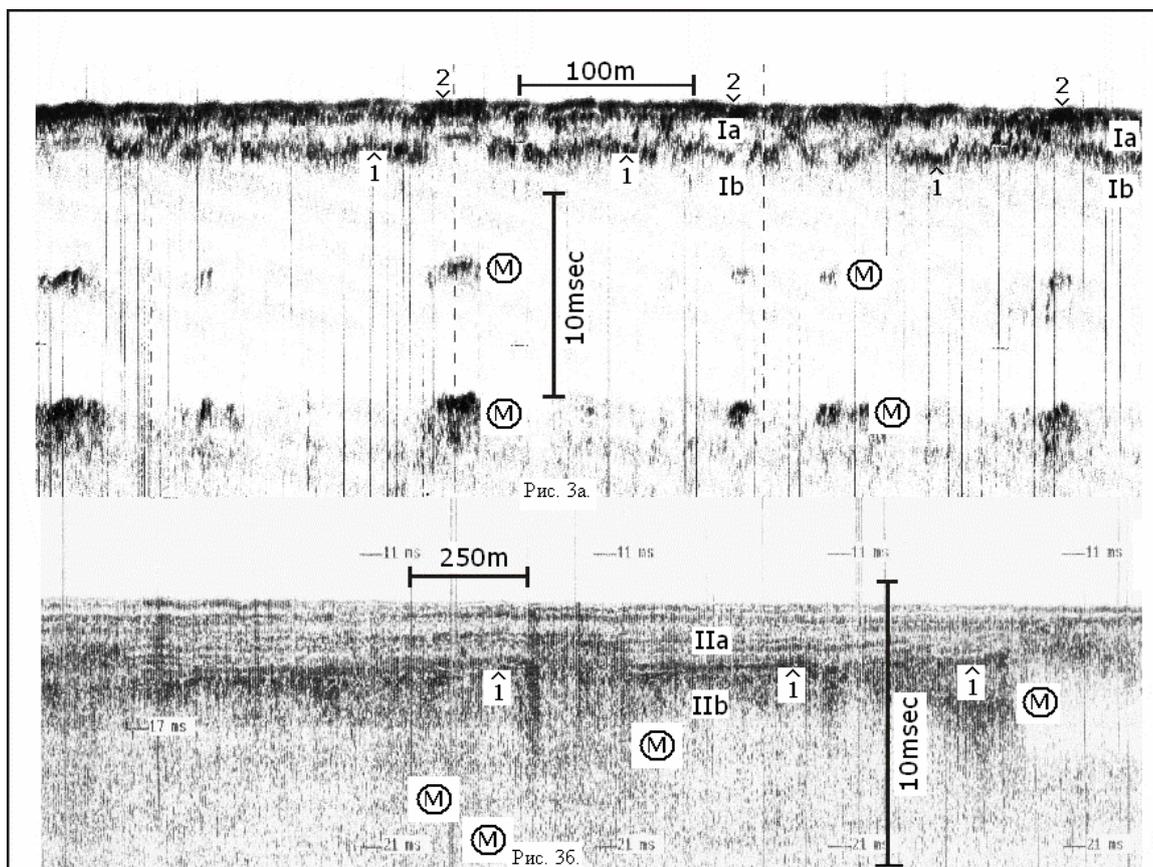


Рис. 3. Характерная запись на временных разрезах средней части Обской и северо-западной части Тазовской губ (chirp-профилограф, 7-20КГц).

Вверху- Картина, типичная для большей части площади региона. Верхняя граница газонасыщения залегает вблизи поверхности дна. Глубже кровли газонасыщенных осадков присутствуют лишь кратные отражения различной природы.

Внизу- Картина, наблюдаемая в переуглубленных впадинах. Выделяется акустически проницаемый интервал, внутри которого прослеживается наклонная слоистость.

I- голоценовые аллювиально-морские осадки глинистого состава, II- древнеголоценовые аллювиальные пески; a- не содержащие газа, b- газонасыщенные.

1- верхняя граница газонасыщения, 2- амплитудные аномалии на поверхности дна, связанные с ледовым выпахиванием.

M- кратные и неполнократные отражения.

Материалы бурения показывают, что в границах переуглубленных впадин глинисто-суглинистые современные аллювиально-морские осадки размыты и непосредственно у поверхности дна залегают древнеголоценовые аллювиальные пески, к

кровле которых и приурочен акустически проницаемый интервал. За пределами переуглубленных впадин, где верхняя граница газонасыщения практически совпадает с поверхностью дна, современные аллювиально-морские осадки залегают плащеобразно в виде сплошного покрова.

Это позволяет сделать вывод о том, что газ генерируется собственно толщей современных аллювиально-морских осадков. В силу этого на участках, где данные осадки залегают в виде сплошного покрова, распространению упругих колебаний вниз по разрезу препятствует диспергированный свободный газ. В переуглубленных впадинах, где современные аллювиально-морские газонасыщенные осадки выклиниваются, упругие колебания распространяются на глубину до 5-7 м ниже поверхности дна.

Очевидно, что в современных аллювиально-морских осадках выделение газа происходит в результате микробиального распада погребенной относительно свежей органики, обладающей большим потенциалом деструкции. В связи с этим необходимо отметить, что содержание органического вещества в современных аллювиально-морских осадках южной и средней части Обской и северо-западной части Тазовской губ в несколько раз выше, чем в одновозрастных морских, ледово-морских образованиях открытых акваторий Баренцево-Карского шельфа.

В пределах переуглубленных впадин газонасыщение связано, вероятно, с вертикальной миграцией посткриогенного газа из глубины разреза. Наличие в верхней части разреза древнеголоценовых аллювиальных песков акустически проницаемого интервала обусловлено, по видимому, составом и структурой слагающей данный интервал толщи. По данным бурения в прикровельной части песчаной толщи отмечаются наклонные глинисто-суглинистые пропластки. По всей видимости указанные пропластки, являясь слабопроницаемыми экранами, частично препятствуют вертикальной миграции газа. В результате этого верхний прикровельный интервал толщи древнеголоценовых песков насыщен газом лишь частично.

В северных частях Обской губы и Енисейского залива, где развиты мощные толщи современных аллювиально-морских осадков, на временных разрезах свободный газ наблюдается в основном ниже подошвы этих толщ. Сами же современные аллювиально-морские осадки свободного газа практически не содержат. Отмечаются лишь локальные скопления (плюмы), связанные с вертикальной миграцией биогенного газа из подстилающих газонасыщенных образований. Ниже границы подошвы толщ современных аллювиально-морских осадков на временных разрезах имеет место картина, которая в целом идентична наблюдаемой в границах переуглубленных впадин Обской губы.

Особо следует отметить, что на участках, где вблизи поверхности развиты мощные толщи глинистых аллювиально-морских осадков, прорываемые газовыми плюмами, в ряде случаев свободный газ наблюдается и на поверхности дна, а также в морской воде. Наличие газовых скоплений на поверхности дна особенно ярко проявляется на сонограммах гидролокации бокового обзора в виде изометричных темных пятен с характерным псевдорельефом поверхности. Сопоставление гидролокационных сонограмм с временными разрезами сейсмоакустического профилирования показывает, что такие пятна связаны с газовыми плюмами, достигающими поверхности дна. Это говорит о том, что система «газ-грунт» не стабильна, а сам газ создает в поровом пространстве грунта некоторое избыточное, по отношению к гидростатическому, давление (аномально высокое пластовое или поровое давление).

Отсутствие газа в приповерхностных осадках северных частей эстуариев Оби и Енисея обусловлено, по всей видимости, снижением количества содержащегося в них органического вещества. Согласно опубликованным данным А.П. Лисицына и др. доля органического материала в общем составе современных осадков в эстуариях Оби и Енисея снижается по мере удаления от устьев крупных рек (в данном случае с юга на север). Соответственно, в том же направлении, происходит и уменьшение количества содержащегося в осадках газа, продуцируемого в результате бактериального распада погребенной органики.

В целом можно сказать, что в средней части Обской и северо-западной части Тазовской губ свободный газ, содержащийся в придонном слое современных осадков, маскирует газонасыщение нижележащих образований, характерное для открытой акватории области II.

Глава 5. Влияние газа на инженерно-геологические условия

Безусловно, что влияние наличия газа на природные условия вообще и инженерно-геологические в частности весьма многообразно. Однако, автору, исходя из специфики геологической ситуации и истории развития региона в четвертичное время, а также из сложившихся представлений о технических средствах и технологиях разведки и освоения шельфовых месторождений углеводородов, представляется целесообразным сосредоточиться на наиболее существенных особенностях. К их числу в данной работе отнесены: *специфика акустических свойств газонасыщенных грунтов; влияние газа на физико-механические свойства; наличие приповерхностных зон аномально высокого пластового давления и пок-марок, а также проблема природных газогидратов.*

Акустические и физико-механические свойства газонасыщенных осадков

В рамках инженерных изысканий в Байдарацкой губе, а также на площади Приразломного месторождения (Печорское море) в стволах инженерно-геологических скважин было выполнено вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП). Результаты ВСП показали, что скорости распространения упругих колебаний в верхней части осадочного разреза изменяются в весьма широком диапазоне.

В глубоководных районах Баренцево-Карского шельфа, которые не испытывали промерзания и где газонасыщенные отложения отсутствуют, значения скорости распространения продольных волн составляют 1400-1800 м/с. Минимальные значения приурочены к толщам нестабилизированных «коричневых глин», максимальные наблюдаются в интервалах переуплотненных мореноподобных суглинков. В целом же при интерпретации временных разрезов для четвертичных отложений скорость распространения продольных волн обычно принимается равной 1550 м/с.

Значения скоростей распространения поперечных волн в верхней части разреза мелководных районов Печорского и Карского морей составляют от менее 800м/с и до 2800м/с. Максимальные значения приурочены к интервалам многолетнемерзлых льдистых грунтов. Также повышенные (более 1800 м/с) значения отмечены в интервалах, сцементированных типичным для данного региона минеральным новообразованием. Оно было идентифицировано специалистами ОАО АМИГЭ как икаит (гексагидрат карбоната кальция- $\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).

Минимальные значения скоростей распространения упругих колебаний приурочены к интервалам, в которых по визуальным признакам наблюдался свободный газ. В этих интервалах скорость продольных волн довольно резко понижается до 1200-800м/с.

Характерной особенностью разрезов, содержащих интервалы газонасыщенных грунтов, является отсутствие четкого тренда роста значений скорости продольных сейсмических волн по мере увеличения глубины.

Указанные особенности необходимо учитывать при обработке и интерпретации данных как сейсморазведки, так и сейсмоакустики. При интерпретации данных сейсмоакустики в России скорость распространения продольных волн в четвертичных отложениях обычно принимается 1550 м/с. Поскольку в отдельных интервалах реальные скорости значительно отличаются от этого значения, то такая оценка может привести к существенным ошибкам при построении разрезов и структурных карт по сейсмическим данным.

Влияние наличия свободного газа на физико-механические свойства осадков неоднозначно. Сопоставление графиков изменения свойств по разрезам скважин с границами газонасыщенных интервалов показывают, что для одних интервалов, содержащих свободный газ, характерна тенденция к уменьшению плотности и прочности при одновременном повышении пористости, текучести и сжимаемости (разупрочнение). В других интервалах газонасыщенных грунтов свойства изменяются лишь в зависимости от зернового состава и степени диагенетических преобразований.

Детальный анализ разрезов скважин и графиков изменения физико-механических свойств позволил установить, что тенденция к разупрочнению газонасыщенных осадков наблюдается в основном в тех интервалах, где имеются условия для формирования аномально высокого давления. Эти условия определяются наличием покрышек, перекрывающих газонасыщенный интервал. По видимому при вскрытии таких интервалов скважинами газ улетучивается, пластовое давление падает, что и вызывает разупрочнение грунта. С другой стороны, вероятно, что в газонасыщенных интервалах, не экранированных слабопроницаемыми слоями, давление газа не значительно отличается от гидростатического. При вскрытии этих интервалов скважинами существенного снижения давления не происходит и, соответственно, свойства грунтов не изменяются.

Наличие свободного газа в грунтах также подчеркивается снижением значений показателя водонасыщения (S_r). Этот показатель характеризует степень заполнения объема пор водой (ГОСТ 25100-95. Грунты. Классификация). В интервалах газонасыщенных грунтов он понижается до 80-90 % и менее. В интервалах, сложенных грунтами, не содержащими газа, значения этого показателя составляют в основном 95-115%.

Изменение величины показателей физико-механических свойств, полученных лабораторными методами, в газонасыщенных интервалах относительно не велико составляет, как правило, несколько процентов. Оценивая влияния газа на физико-механические свойства, по данным лабораторных определений, следует учитывать, что в процессе бурения, подъема керна, извлечения его из пробоотборника и при подготовке образцов происходит весьма существенная дегазация. С другой стороны, при снижении давления и повышении температуры (особенно при подъеме керна) происходит значительное изменение фазового состава, т.к. значительная часть растворенного газа переходит в свободную форму. Несомненно, что эти явления изменяют свойства грунтов относительно условий естественного залегания (*in situ*).

Сказанное заставляет рассматривать значения показателей физико-механических свойств газонасыщенных грунтов, полученные лабораторными методами, приближенными к *in situ*.

На целом ряде графиков статического зондирования ниже верхней границы интервала газонасыщенных вначале отмечается увеличение удельного сопротивления грунта под конусом (лобового сопротивления). Затем, глубже 0.5 м от кровли газонасыщенных интервалов, величина лобового сопротивления резко снижается. По видимому в прикровельной части газонасыщенных интервалов конусом вскрываются относительно прочные грунты преимущественно песчаного состава. В этих грунтах увеличение значений лобового сопротивления обусловлено изменением состава грунта (опесчаниванием) и давлением газа. Далее, по достижении конусом некоторой глубины, газ начинает улетучиваться, вызывая тем самым снижение пластового давления и разупрочнение (разжижение) газонасыщенного коллектора. Последнее выражается в уменьшении величины лобового сопротивления.

Необходимо также отметить, что песчанистые грунты зырянско-средневалдайской и древнеголоценовой толщ характеризуются при бурении инженерно-геологических скважин как пловуны (создают пробки в скважине и обсадной колонне). В средней части Обской губы это присуще, в том числе, и пескам среднего состава, что, в общем, не типично для песков такой крупности. Можно предположить, что отчасти пловунные свойства песков обусловлены наличием в них газа с избыточным (по отношению к гидростатическому) пластовым давлением. При вскрытии таких песков происходит снижение пластового давления, что, в свою очередь, вызывает разжижение грунта.

Приповерхностные зоны аномально высокого пластового давления

При бурении инженерно-геологических скважин в пределах мелководных районов Печорского и Карского морей (область II) неоднократно отмечались выбросы газовой смеси, насыщенной взвешенными грунтовыми частицами. Выбросы происходили в диапазоне глубин от 20 до 50 м ниже поверхности дна (весьма малые глубины для такого явления). Несомненно, что эти выбросы связаны с интервалами газонасыщенных осадков, имеющих аномально высокое пластовое давление. Скопления газа, создающего такое давление, локализуются в своеобразных мини-ловушках. По видимому данные мини-ловушки представляют собой прослойки или серии тонких слоев песчаного состава, перекрытые сверху и снизу слабопроницаемыми глинисто-суглинистыми образованиями.

Технология инженерно-геологического бурения не предполагает герметизации скважин и измерения в них давления. Это делает невозможным точную оценку давления

в интервалах газонасыщенных осадков. О величине аномально высокого давления можно судить лишь на качественном уровне по характеру и интенсивности выбросов (в основном по высоте фонтана газо-водяной смеси над устьем скважин).

По этому признаку было отмечено, что довольно интенсивные и мощные выбросы (высота фонтана над устьем до 1-2 м) имели место в интервалах, приуроченных к линзам песчаного состава внутри толщи казанцевско-микулинских стабилизированных глин и суглинков тугопластично-полутвердой консистенции. По всей видимости стабилизированные и относительно консолидированные глинистые образования играют роль флюидоупоров (покрышек). Эти покрышки препятствуют рассеиванию и способны сдерживать относительно высокое давление, которое создается газом во внутренних проницаемых интервалах песчаного состава, играющих роль коллекторов.

Менее интенсивные выбросы имели место из нижневалдайско-зырянских песков (высота фонтана менее 1 м). Они происходили на участках, где эти пески залежали в виде обособленных линз, приуроченных к мелким врезам в кровле микулинско-казанцевской толщи. Сверху данные линзы перекрыты средневалдайско-каргинскими образованиями. Средневалдайско-каргинские образования, являясь нестабилизированными слабоконсолидированными глинистыми грунтами текучей-текучепластичной консистенции, не могут сдерживать высокого избыточного давления, которое создается газом в подстилающих зырянских песках. Соответственно избыточное давление, создающиеся в таких условиях, будет более низким по сравнению с давлением, образуемым в песчаных интервалах внутри толщи стабилизированных и относительно консолидированных микулинско-казанцевских глинисто-суглинистых отложений.

Наиболее мощные и интенсивные выбросы наблюдались при бурении инженерно-геологических скважин в толще многолетнемерзлых пород. Самый значимый из них имел место на объекте «Диапиры» (восточная часть Печорского моря, около 60-70 км на ЮЗЗ от пролива Карские Ворота). В районе этого объекта на поверхности дна широко развиты изометричные в плане диапироподобные поднятия с относительным превышением до 30-50 м при ширине основания до 70-100 м. На сводах этих поднятий, при глубине менее 0.5 м ниже дна, бурением были вскрыты мерзлые льдистые грунты. На участках между поднятиями также распространены мерзлые льдистые отложения. Однако здесь их кровля залегают на глубине около 20-30 м.

Всего в районе объекта «Диапиры» было пробурено четыре инженерно-геологических скважины. Две скважины пройдены на присводовых частях диапироподобных поднятий. Наиболее глубокая из этих скважин вскрыла, начиная от поверхности дна до глубины около 100 м, монотонную мерзлую толщу предположительно

микулинских морских глин и суглинков. Материалы бурения показали, что в верхней присводовой части поднятия объемная льдистость грунтов достигает 80-95 % и более (ледогрунт). Вниз по разрезу содержание льда заметно уменьшается. Начиная с глубины около 30 м ниже поверхности дна объемное содержание льда не превышает 30 % и постепенно уменьшается вниз по разрезу.

Две другие скважины были заложены за пределами поднятий. Последняя из них была пробурена на участке между диапироподобными поднятиями. Этой скважиной кровля многолетнемерзлых пород, представленных микулинскими глинами, была вскрыта на глубине 20.2 м ниже поверхности дна. В процессе дальнейшего бурения с глубины около 49.5 м ниже поверхности дна произошел мощный выброс газо-водяной смеси. Высота фонтана достигала более 10 м. Вокруг судна образовался «котел кипения» диаметром около 150-200 м, внутри которого наблюдалось бурление воды с пузырьками газа и взвешенными грунтовыми частицами. При этом каких-либо следов жидких углеводородов в виде радужных пленок и в другой форме на поверхности воды не отмечено.

В результате попадания газа в систему охлаждения силовой установки, заглох главный, а затем и вспомогательный двигатели. Буровое судно потеряло ход и управление, что привело к обрыву колонны бурильных труб и смещению с точки скважины. По причине насыщения морской воды пузырьками газа изменились ее свойства (уменьшилась плотность). Это вызвало выход из строя гидроакустической системы динамического позиционирования, а также частичную потерю плавучести самого судна.

Вероятнее всего причиной данного выброса явилось вскрытие скважиной приповерхностного кармана, содержащего большое количество газа под высоким давлением. По видимому этот карман приурочен к песчаной линзе, залегающей внутри или в основании толщи многолетнемерзлых микулинских глин. Очевидно, что мерзлые глины обладают значительно более высокой прочностью и меньшей проницаемостью по сравнению с их талыми аналогами. Соответственно внутри мерзлой толщи или под ее покровом могут создаваться относительно высокие давления.

В связи с этими обстоятельствами возникает вопрос о генезисе самих диапироподобных поднятий. Предполагается, что рассматриваемые структуры возникли в результате деформаций осадочной толщи под давлением газа. На основании данных бурения можно предположить, что скопления газа с аномально высоким пластовым давлением содержатся в разрозненных песчаных линзах. Эти линзы развиты на участках относительно ровного дна, разделяющих диапироподобные поднятия. Вероятно при снижении внешнего горного давления в результате колебаний уровня моря, сейсмических

сотрясений, волнения, абразионного среза и т.п. газ, защемленный в локальных коллекторах (песчаных линзах) расширяется, а его давление на вмещающий флюидоупор в виде мерзлых глин увеличивается. Последнее вызывает деформации в осадочной толще и выжимание вмещающих отложений в латеральном направлении и вверх по разрезу. При этом, в первую очередь, мобилизуются наиболее льдистые и, соответственно, пластичные (при достаточно больших давлениях) разности. В результате таких деформаций и выжимания к поверхности дна высокольдистых образований формируются поднятия с ледогрунтовыми сводами.

Касаясь более широкой проблемы дислокаций толщи четверичных отложений Баренцево-Карского шельфа, автор считает, что они главным образом обусловлены конвективным перемешиванием. По-видимому квазирегулярные чередующиеся пологие складки, наблюдаемые на временных разрезах в средневалдайско-каргинских глинистых толщах глубоководных районов Баренцево-Карского шельфа, связаны именно с этим явлением. В мелководных же районах, где квазирегулярный характер чередования складчатых форм осложняется отдельными высокоамплитудными нерегулярными дислокациями (Рис. 2), на конвективное перемешивание накладываются и другие факторы.

Можно предположить, что нерегулярные формы отчасти связаны и с воздействием давления, создаваемого защемленным газом. По видимому газ, скапливающийся в сводах антиклинальных изгибов подошвы каргинско-средневалдайской толщи, стремится вверх по разрезу, создавая тем самым избыточное давление. Когда это давление достигает некоторого критического значения, вероятно сопоставимого с сопротивлением недренированному сдвигу осадков данной толщи (около 5-30КПа), происходит деформация. Кроме того деформации, связанные с давлением газа, могут также развиваться по схеме ползучести. Данная схема не предполагает наличия критической величины давления газа, а требует наличия возможно даже относительно низкого (меньше критического) давления в течение достаточно длительного времени.

Пок-марки

В пределах Центральной впадины были установлены формы типа пок-марок (rockmarks). На материалах сейсмоакустического профилирования, многолучевого эхолотирования и гидролокации бокового обзора эти формы представляют собой мелкие (в основном около 50-70 м в диаметре, отдельные- до 300 м) обособленные изометричные депрессии морского дна относительной глубиной 1-2 м, заполненные акустически слоистыми осадками, частично насыщенными газом. В площадном распределении

покмарок в границах изученных участков какая-либо видимая закономерность не установлена.

Наличие пок-марок свидетельствует об активности процессов вертикальной миграции газа из глубины осадочной толщи к поверхности дна. В целом эти формы наблюдались исключительно в границах области I.

Проблема природных газогидратов

Начиная с 70-х годов прошлого столетия в отечественной и зарубежной литературе широко обсуждается проблема возможного наличия на Баренцево-Карском шельфе природных газогидратов (кристаллогидратов метана). На сегодняшний день эта проблема не только не утратила своей остроты, но и приобрела определенную конъюнктурность.

Как известно образование природных газогидратов на поверхности дна или вблизи нее происходит в соответствующих термобарических (P-T) условиях и при наличии достаточно большого или избыточного количества метана. Как справедливо утверждают Г.Д. Гинсбург и В.А. Соловьев, скопления газогидратов на морском дне и в разрезе выявляются прежде всего по факту обнаружения собственно кристаллического метана. Остальные признаки, такие как наличие на временных разрезах амплитудных аномалий («ярких пятен»), сейсмические границы типа «второе дно», скоростные сейсмические аномалии, повышенная минерализация порового раствора и др. являются по сути косвенными. Они могут быть связаны и с другими геологическими факторами, не имеющими отношения к газогидратам.

Необходимо отметить, что в пределах шельфа Баренцева, Карского и Печорского морей ни в одной из пробуренных инженерно-геологических скважин (всего пробурено около 500 скважин), ни в кернах, полученных трубчатыми пробоотборниками (более 20000 станций), газогидраты в форме видимых кристаллов не обнаружены. Это позволяет сделать предварительный вывод о том, что газогидраты не являются типичными, для данного региона, образованиями.

В контексте рассматриваемой проблемы следует отметить, что из всех косвенных признаков наибольшее внимание обычно уделяется амплитудным аномалиям типа «яркое пятно». В глубоководной части шельфа Баренцева и Карского морей (область I) внутри толщи нижнемеловых апт-альбских отложений на сейсмоакустических временных разрезах довольно часто наблюдаются такие аномалии. Они встречаются как в зонах, где отмечены признаки наличия свободного газа, так и вне этих зон. В частности амплитудные аномалии типа «яркое пятно» наблюдаются и на площади Штокмановского газоконденсатного месторождения в интервале 400-600 м ниже поверхности дна.

В пределах зоны сплошного газонасыщения амплитудные аномалии обычно прослеживаются в кровле наклонно залегающих слоев, перекрывающих отложения, содержащие свободный газ, а также по периферии этих зон. Вероятнее всего здесь они связаны, прежде всего, с наличием собственно свободного газа.

Других признаков наличия природных газогидратов (как прямых, так и косвенных) в пределах области I обнаружено не было.

В границах мелководных районов открытой акватории Печорского и Карского морей (область II) амплитудные аномалии приурочены к элементам внутренней слоистости каргинско-средневалдайской толщи черных глин и/или к границе, разделяющей глинистые каргинско-средневалдайские образования и зырянско-нижневалдайские пески. Очевидно, что здесь данные аномалии также связаны с наличием свободного газа.

В области III (мелководные эстуарии крупных рек) амплитудные аномалии типа «яркое пятно» приурочены к бороздам ледового выпахивания. По-видимому здесь эти аномалии образуются в результате того, что самый верхний тонкий слой акустически прозрачных осадков, не содержащих свободного газа, срезан киллями ледовых образований (торосов и стамух). В результате на локальных участках поверхности дна обнажаются нижележащие газонасыщенные грунты с высоким коэффициентом отражения, что и приводит к образованию амплитудных аномалий.

Залежи газовых гидратов можно подразделить на залегающие на поверхности дна или на небольшой глубине под дном, а также на содержащиеся в глубине разреза. Сотрудниками ОАО АМИГЭ (А.Г. Длугач и др.) была составлена карта зон стабильности гидрата метана у поверхности дна (Рис. 1). Эти зоны выделяются в глубоководных районах шельфа Баренцева и Карского морей на глубинах свыше 200 м и при околонулевых и/или отрицательных значениях придонных температур.

С точки зрения возможного наличия газогидратов в глубине осадочной толщи (10-50 м ниже поверхности дна) наиболее перспективными представляются области развития островных массивов многолетнемерзлых пород в пределах области II. На прилегающем побережье отмечены случаи обнаружения газогидратов внутри мерзлой толщи на глубинах менее 10 м. Это позволяет допустить наличие подобных образований и на акватории. Можно также предположить, что зона АВПД, вскрытая скважиной на объекте «Диапиры», связана с залежью газогидратов, но никаких фактических подтверждений этому нет.

Глава 6. Риски и осложнения, связанные с наличием в грунтах газа

В мировой строительной практике известен целый ряд случаев аварийных, предаварийных или кризисных ситуаций, связанных с наличием в грунтах газа. Основными причинами этих ситуаций выступали выбросы газа и водогрунтовой смеси, разжижение грунтов оснований фундаментов и повышенная агрессивность газогенерирующих отложений.

В частности, анализ аварий морских буровых установок (по http://home.versatel.nl/the_sims/rig/i-blowout.htm и др.), за период с 1964 г. по сегодняшний день, связанных с наличием приповерхностного газа, показывает, что в девяти достоверных инцидентах (около 7 % от общего количества аварий в процессе бурения) происходили серьезные повреждения. При этом погибло около 23 человек. Как минимум четыре инцидента привели к потоплению и полной потере буровых установок. Материальные убытки в каждом случае составляли от 1-3 до нескольких сотен миллионов долларов США.

Риски, связанных с газонасыщением грунтов, при строительстве и эксплуатации сооружений на континентальном шельфе определяется на взгляд автора, прежде всего, характером насыщения отложений верхней части разреза газом и типом сооружений. Рассматриваются основные (по мнению автора) риски: приповерхностные зоны АВПД; возможность разжижения грунтовых оснований, сложенных газонасыщенными грунтами; деформации, обусловленные давлением газа; пок-марки и специфический характер напряженного состояния. Эти факторы весьма значимы при строительстве и проектировании морских буровых установок, нефтеналивных терминалов с гравитационным основанием и подводных трубопроводов.

Приповерхностные зоны АВПД. Очевидно, что наличие зон аномально высокого пластового давления в верхней части разреза следует считать опасным геологическим явлением. Особенно важно учитывать этот фактор при строительстве скважин, нацеленных на поиски, разведку и добычу углеводородов. Газоотводное оборудование и системы подавления выбросов при бурении таких скважин можно установить только после забуривания направляющей колонны и установки кондуктора. Глубина установки направления составляет обычно несколько десятков метров, а кондуктора до 500-600 м. В пределах описываемого региона всегда существует вероятность того, что в интервале, перекрываемом направляющей колонной и кондуктором, может залегать линза с аномально высоким пластовым давлением. При вскрытии такой линзы произойдет выброс газа большей или меньшей интенсивности. Это может привести к возникновению

серьезных аварийных ситуаций, связанных с пожаром, выходом из строя гидроакустических систем динамического позиционирования и т.п.

Возможность разжижения и разупрочнения толщ газонасыщенных грунтов.

Наличие естественного избыточного порового давления газа в свободной и растворенной форме определяет неустойчивость осадочных толщ по отношению к внешним динамическим воздействиям. Воздействия природного (сильные штормы, землетрясения и т.п.) и техногенного характера могут привести к падению давления и повышению температуры. В свою очередь, нарушение естественных P-T условий может вызвать резкое снижение прочности грунтов в силу расширения свободного и выделения растворенного газа. Это приведет к потере несущей способности грунтовых оснований и вызовет деформации дна и осадочных толщ. В песчаных грунтах возможно разжижение.

Снижение прочности и деформации осадочных толщ и морского дна будут тем более интенсивными, чем больше в грунтах содержится газа и чем выше создаваемое им давление. При этом, вероятно, наиболее чувствительными к нарушению естественных P-T условий являются гипотетические залежи газогидратов.

Естественные деформации грунтовой толщи под давлением газа. С аномально высоким пластовым давлением в толщах газонасыщенных осадков (в т.ч. и с гипотетическими залежами газогидратов) могут быть отчасти связаны и естественные деформации грунтов. При снижении давления и/или повышении температуры газ, скопившийся в «мини-ловушках» или связанный в газогидратных залежах, расширяется. Это вызывает смятие и выжимание к поверхности вмещающих и вышележащих отложений. Оценить интенсивность вероятного процесса естественных деформаций осадочной толщи под действием избыточного давления газа на основании имеющихся на сегодняшний день данных не представляется возможным. Однако если предположить, что он протекает и ныне в реальном времени, то следует его рассматривать как опасный геологический процесс. Для оценки потенциального воздействия данного явления на морские сооружения требуется, очевидно, проводить регулярные сейсмоакустические наблюдения по системе фиксированных профилей. Целью этих наблюдений должно быть оценки изменения структуры и геометрии границ осадочных толщ. По изменению этих параметров можно судить о наличии деформаций и их интенсивности.

Покмарки. Все исследователи данной проблемы сходятся на том, что эти формы представляют собой определенную опасность (hazard) при строительстве морских сооружений, имеющих контакт с дном. В первую очередь это связано с относительно высоким уклоном дна на склонах кратеров покмарок, что может осложнить строительство и эксплуатацию морских сооружений. Во-вторых, сооружения с гравитационными

основаниями, могут испытывать неравномерные относительно быстротекущие осадки, связанные с тем, что под их фундаментами залегают локальные тела неконсолидированных и нестабилизированных газонасыщенных грунтов, заполняющих кратеры покмарок.

Напряженное состояние газонасыщенных грунтов. Наличие в грунтах скоплений газа с избыточным пластовым давлением оказывает влияние на напряженное состояние грунтового массива. Повышенное пластовое давление снижает литостатическое (бытовое) и влияет на напряженно-деформированное состояние грунтового массива. Данное обстоятельство вносит некорректность в расчеты напряжений, выполненные по стандартной методике, а также может в той или иной мере исказить расчетные оценки осадки фундаментов инженерных сооружений. Для полной и точной оценки напряженного состояния газонасыщенных грунтовых толщ представляется необходимым проводить измерения естественного порового (пластового) давления *in situ*.

Заключение

На основании вышеизложенного можно сделать следующие основные теоретически и практически значимые выводы:

1. Газонасыщение отложений верхней части разреза Баренцево-Карского шельфа обусловлено различными факторами. В глубоководных районах оно связано с вертикальной миграцией газа из глубоких горизонтов осадочной толщи. В пределах открытого мелководного шельфа Печорского и юго-западной части Карского морей насыщение осадков свободным газом связано с процессами деградации реликтовых многолетнемерзлых пород. В Обской и Тазовской губах, а также в Енисейском заливе газонасыщение обусловлено интенсивной деструкцией органических веществ, погребенных в приповерхностном слое современных аллювиально-морских осадков.

2. Распределение свободного газа в пределах открытого мелководного шельфа Печорского и юго-западной части Карского морей в основном контролируется соотношением в разрезе каргинско-средневалдайских черных глин, играющих роль покрышек, и зырянско-нижневалдайских песков, выступающих как коллекторы. В Обской и Тазовской губах, а также в Енисейском заливе газонасыщенность донных грунтов по большей части связана с интенсивным разложением свежепогребенной в современных осадках органики. Здесь газонасыщенность контролируется сплошностью покрова современных осадков и содержанием в них органических веществ. В глубоководной части

Баренцево-Карского шельфа каких-либо закономерностей распространения газонасыщенных образований не наблюдается.

3. Скопления газа в мини-ловушках и/или диспергированный газ создают внутри осадочных толщ некоторое избыточное, по отношению к гидростатическому, поровое давление. Это делает газонасыщенные грунты неустойчивыми к внешним динамическим нагрузкам, а также служит одной из причин естественных деформаций четвертичной толщи.

4. В пределах мелководного открытого шельфа Печорского и юго-западной части Карского морей установлены приповерхностные зоны АВПД, залегающие на глубине менее 50м ниже поверхности дна. При вскрытии этих зон инженерно-геологическими скважинами происходили выбросы газо-водяной смеси со взвешенными грунтовыми частицами. В одних случаях зоны АВПД связаны со скоплениями биогенного газа в локальных песчаных линзах-коллекторах, перекрытых глинисто-суглинистыми отложениями, выступающими как покрывки. В других,- они приурочены к подошве мощных толщ многолетнемерзлых грунтов. Давление внутри зон АВПД тем больше, чем более консолидированы толщи-покрывки. Максимальные давления имеют место в подмерзлотных интервалах АВПД.

5. На шельфе Баренцева и Карского морей существуют области, благоприятные для образования природных газогидратов (кристаллогидратов метана) у поверхности дна и в глубине разреза. У поверхности дна газогидраты могут образовываться в глубоководной части (глубины моря более 250 м) при отрицательной или околонулевой температуре придонных вод. В мелководных районах они могут залегать в составе мерзлых толщ. Несмотря на то, что прямые факты обнаружения газогидратов в пределах рассматриваемого региона отсутствуют, исключать этот фактор из перечня природных рисков в настоящее время не следует.

6. Интервалы осадочной толщи, насыщенные свободным газом, отличаются пониженными значениями скоростей распространения сейсмических волн. Скорость продольных волн в них составляет 800-1200 м/с. Роста значений скоростей распространения упругих колебаний по мере увеличения глубины в разрезах, включающих газонасыщенные интервалы, не наблюдается.

7. Наличие в грунтах газа влияет на физико-механические свойства неоднозначно. Газонасыщенные грунты, содержащие скопления газа с относительно высоким внутрипластовым давлением, при вскрытии их скважинами или конусами (зондами) статического зондирования разупрочняются (песчаные грунты по видимому разжижаются). Это выражается в снижении прочности и плотности при одновременном

увеличении сжимаемости и пористости. В грунтах, где давление газа близко к гидростатическому существенного изменения свойств не наблюдается.

8. Инженерно-геологические изыскания в районах распространения газонасыщенных грунтов требуют применения комплекса специальных методов, включающих, прежде всего, статическое зондирование с измерением естественного и избыточного порового давления; отбор грунтовых кернов герметичными пробоотборниками; определение некоторых специфических свойств (таких как, например, газовый фактор) и т.п.

В целом насыщенность грунтов газом (как в свободной и растворенной формах, так и в виде газогидратов) является фактором, ухудшающим (осложняющим) инженерно-геологические условия. Это требует отдельного дополнительного учета в нормативных документах, регламентирующих изыскания, проектирование и строительство инженерных сооружений на шельфе.

Основные положения диссертации отражены в работах:

В рецензируемых журналах:

1. Акустические фации посткриогенных обстановок мелководных районов Печорского и Карского морей // Разведка и охрана недр, №7-8, 1999, с.10-14 (в соавторстве с Бондаревым В.Н., Длугачем А.Г., Костиным А.Д., Лисуновым В.К.)
2. Подмерзлотные скопления газа в верхней части осадочного чехла Печорского моря // Геология и геофизика, Том 43, №7, 2002, с. 587-598 (в соавторстве с В.Н. Бондаревым, А.Г. Длугачем, Д.А. Костиным, Н.А. Поляковой)
3. Cryogenic processes and phenomena in upper sediment layer of the Pechora Sea // Berichte zur Polar- und Meeresforschung. Vol. 501, 2005, p.141-155 (with V. Bondarev, G. Tarasov, D. Kostin, A. Dlugach, N. Polyakova)
4. Газонасыщенные осадки губ и заливов южной части Карского моря // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода, №67, 2007г., стр. 66-75 (в соавторстве с Тарасовым Г.А.)
5. О признаках газопроявлений в новейших отложениях Баренцево-Карского шельфа // ДАН, том 418, №3, 2008, с.361-365 (в соавторстве с Тарасовым Г.А.)

В других изданиях:

6. Формирование состава и ФМС плиоцен-четвертичных мореноподобных отложений центральной части шельфа Баренцева моря (Южно-Баренцевская

- впадина и ее структурное обрамление). Киев, 1990г, препринт, АН Украины, Ин-т Геологических наук, 75стр. (в соавторстве с Люстерником В.А.)
7. Формирование состава и физико-механических свойств плейстоценовых отложений южной и центральной частей шельфа Баренцева моря (генетический и палеогеографический аспекты). Киев, 1992г, препринт, АН Украины, Ин-т Геологических наук, 87стр. (в соавторстве с Люстерником В.А.)
 8. Свободный газ и многолетняя мерзлота в осадках верхней части разреза мелководных районов шельфа Печорского и Карского морей / Седиментологические процессы и эволюция морских экосистем в условиях морского перигляциала. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2001. с. 40-52 (в соавторстве с Костиным А.Д., Длугачем А.Г.)
 9. Свод Правил 11-114-2004 «Инженерные изыскания на континентальном шельфе под строительство морских нефтегазопромысловых сооружений». Госстрой России.- М.: ФГУП ПНИИС Госстроя России, 2004, 88стр. (в соавторстве с Баулиным В.В., Стаценко А.Н., Гавриловым В.Г., Лариной Т.А., Черняком Э.Р., Хайме Н.М., Минделем И.Г., Кальбергеновым Г.Г., Шibaкиным С.И., Бондаревым В.Н., Чурсиной Н.В., Локтевым А.С., Кальбергеновым Г.Г., Саксом С.Е. и др.)
 10. Инженерно-геологические особенности приповерхностных зон аномально высокого пластового давления на шельфе Печорского и южной части Карского морей // Инженерная геология, №4, 2008, с. 22-28