

УДК 553.981.04 + 551.35 (248:268.45)

В.С. Захаренко, Г.С. Казанин, С.П. Павлов

Предпосылки и условия формирования газогидратов на Штокмановской площади Баренцева моря

V.S. Zakharenko, G.S. Kazanin, S.P. Pavlov

Prerequisites and conditions of gas hydrates formation on the Shtokman field of the Barents Sea

Аннотация. Рассмотрены пути миграции глубинных газов к поверхности на площади Штокмановского газоконденсатного месторождения; выявлены предпосылки и условия формирования газогидратов. Определены факторы экологического риска, возникающего при освоении углеводородных ресурсов.

Abstract. The migration path of deep gases to the surface of the Shtokman field has been considered; the prerequisites and conditions for formation of gas hydrates have been revealed. Some factors of ecological risk occurring at developing hydrocarbon resources have been determined.

Ключевые слова: газогидраты, диапиры, покмарки, Баренцево море

Key words: gas hydrates, diapirs, pockmarks, the Barents Sea

1. Введение

В настоящее время Россия сохраняет лидирующие позиции по добыче газа и нефти. Актуальной проблемой развития энергоресурсов в современных политических и экономических условиях является поиск нетрадиционных источников энергии.

Газогидраты (гидраты природных газов, клатраты, ГГ) – кристаллические соединения, образующиеся при определенных термобарических условиях (низких температурах и высоких давлениях) посредством соединения газа (прежде всего метана) с водой. Единичный объем ГГ может содержать до 200 объемов чистого газа, что позволяет рассматривать их как альтернативный источник энергии.

Термобарические условия, при которых образуются газогидраты, наблюдаются на большей части акватории Северного Ледовитого океана и российского шельфа Арктики, включая район Штокмановского газоконденсатного месторождения (ШГКМ). В криолитозоне российского шельфа Арктики, по предположению большинства экспертов, сосредоточены самые большие объемы газогидратов. Тем не менее ввиду недостаточности поисковых работ ГГ пока не выявлены ни на одной из акваторий российской Арктики (Богоявленский, 2011).

Исходя из результатов исследований энергоресурсов Мирового океана, можно утверждать, что газогидраты обнаружены не на всех площадях, где есть термобарические условия для их образования. Их наличие подтверждается лишь в отдельных зонах, в которых существует газ *in situ* или имеется приток газа из глубин по разломам, субвертикальным трещинам, "газовым трубам", каналам грязевых вулканов и т.д.

Целями данного исследования являются рассмотрение путей миграции глубинных газов и выявление волновых признаков возможных участков местонахождения газогидратов в районе Штокмановского ГKM с использованием разрезов высокочастотной сейсморазведки, а также оценка степени экологической безопасности указанного района.

2. Исходный материал и методы исследования

Сейсмические методы отражения обеспечивают оперативное обнаружение и картирование скоплений газа. Высокоразрешающая сейсморазведка МОВ ОГТ 2D была проведена ОАО МАГЭ в 2010 г. в Баренцевом море на НИС "Геолог Дмитрий Наливкин" в области Штокмановского ГKM с целью выявления мелкозалегающих газовых линз в меловой толще.

На акватории Баренцева моря в процессе бурения скважины Лунинская-1 были обнаружены мелкозалегающие газовые линзы: из глубины 612 м (из-под верхнеальбских глин) наблюдался выброс воды с газом. Этому временному интервалу в осадочной толще соответствует волновая аномалия типа "яркое пятно". Похожие аномалии в тех же временном и стратиграфическом интервалах наблюдаются на площади Восточно-Ледовой структуры, выявленной в ходе исследований ОАО МАГЭ. В Карском море

аналогичные по волновым характеристикам аномалии сопровождают газовые залежи Русановского и Ленинградского месторождений (рис. 1).

Крупное Штокмановское газоконденсатное месторождение приурочено к юрским отложениям, а газовые линзы выявлены выше, в меловых отложениях. В результате проведения работ в интервале "меловые отложения – дно" выделены следующие отражающие горизонты: $D(Kz)$ – в подошве неоген-четвертичных отложений; $\Gamma_2(K_2a_2)$ – в кровле алевролито-песчанниковой толщи среднеальбского возраста; $\Gamma(K_1a_1-K_1a_2)$ – в кровле глинистой-алевролитовой толщи средне-верхнеальбского возраста; $\Gamma_1(K_1a-K_1a_1)$ – в кровле алевролито-песчанниковой толщи апт-нижнеальбского возраста. В интервале, соответствующем нижнеальбским отложениям, сосредоточены на разных уровнях газовые линзы; некоторые из них (например, LP 1, 2, 5, 6, 7), по существу, являются мелкими месторождениями (Павлов и др., 2011).

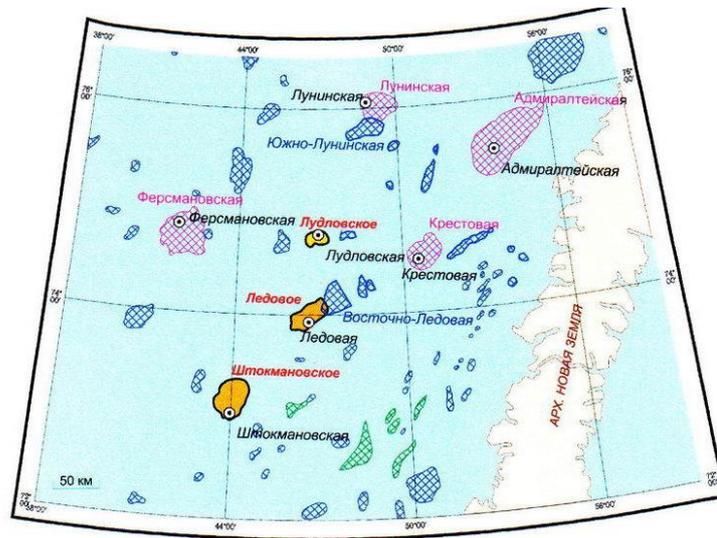


Рис. 1. Обзорная схема локальных структур

В пределах площади ШГКМ кайнозойские образования представлены преимущественно осадочными отложениями неоген-четвертичного возраста. Неоген-четвертичные отложения с угловым несогласием и глубоким размывом залегают прерывистым плащом на эродированной кровле меловых пород, в значительной степени облекая впадины и поднятия дочетвертичного рельефа. Мощность четвертичного чехла на исследуемой площади шельфа изменяется от 5-10 до 50-70 м. Верхняя часть разреза сложена покровным комплексом голоценовых отложений: илами глинистыми, суглинками текучепластичными, глинами мягкопластичными, относящимися к категории слабых грунтов. Мощность голоценовой толщи в среднем составляет 2-3 м, достигая на отдельных участках 10 м.

Анализ волнового поля проводился для обнаружения газогидратов и газонасыщенных толщ в кайнозое по разрезам высокочастотной сейсморазведки с привязкой к уже выделенным зонам тектонических нарушений и "ярким пятнам" в меловой толще. Преимущества интерпретации по разрезам высокочастотной сеймики состоят в обзорности временного разреза по глубине и простиранию и возможности проследить пути вертикальной миграции газов, а также изменения в подошве кайнозойских отложений при их достаточно высокой мощности (что далеко не всегда возможно на сейсмоакустических разрезах). При комплексном подходе этот анализ позволяет выявить перспективные в отношении образования газогидратов участки.

3. Сейсмические признаки миграции жидкости и газа

Сейсмические отражения происходят при изменении акустического сопротивления. Наличие свободного газа в поровом пространстве осадка обуславливает резкое снижение пластовых скоростей, что вызывает отражение с аномально высокой амплитудой от верхней части газа (так называемое "яркое пятно"). Этот рефlector имеет отрицательный коэффициент отражения (с обратной фазой). Положительные акустические сопротивления проявляются как черный пик. Морское дно обычно представляет собой положительный акустический импеданс и поэтому может быть полезно в качестве справочного интерфейса при интерпретации фазы сейсмического отражения.

При наличии достаточно мощного газового резервуара наблюдается акустический импеданс между газом и жидкостью, называемый "плоским пятном". "Плоское пятно" является важным показателем углеводородного контакта с водой, потому что оно диссонирует с соседними отражениями.

Зоны отсутствия акустического сигнала в сочетании с другими показателями наличия газов (например, "яркими пятнами") могут быть интерпретированы как указатели рассеяния акустической энергии за счет внедрения пузырьков газа в отложения (Andreassen et al., 2007).

4. Анализ вертикальной миграции глубинных газов, исходящих от месторождений и линз

Акустические трубы (pipes) представляют собой узкие зоны отсутствия акустического сигнала, где непрерывность отражений нарушена в вертикальном направлении (рис. 2). Данные трубы обнаружены на юге дельты реки Нигер, в Норвежской части Баренцева моря (Andreassen et al., 2007), Охотском море (Обжиров, 2013), бассейне Piceance в Колорадо (Cumella, Jay Scheeve, 2008). В районе Штокмановского месторождения наиболее близко ко дну расположены газовые линзы LP2 и LP17. Поток газовых флюидов от этих линз достаточно интенсивен. Газ, достигая подошвы рыхлых неоген-четвертичных отложений и расширяясь, образует куполообразные структуры, которые в волновом поле проявляются как аномалии ("яркие пятна"). При достижении поверхности дна происходят выхлопы газов с образованием покмарок (англ. *rockmark* – выбоина). Крутые углы их наклона часто образуют оси дифракции (рис. 2). Распространяясь среди рыхлых отложений, газ создает газонасыщенную толщу, где при благоприятных условиях могут образовываться газогидраты.

Следует отметить, что миграция глубинных газов наблюдается не только от линз, выделенных в меловой толще, но также из более глубоких слоев (вероятно, непосредственно от ШКГМ). Таким образом, наличие газа *in situ* является благоприятным фактором для образования газогидратов на Штокмановской площади.

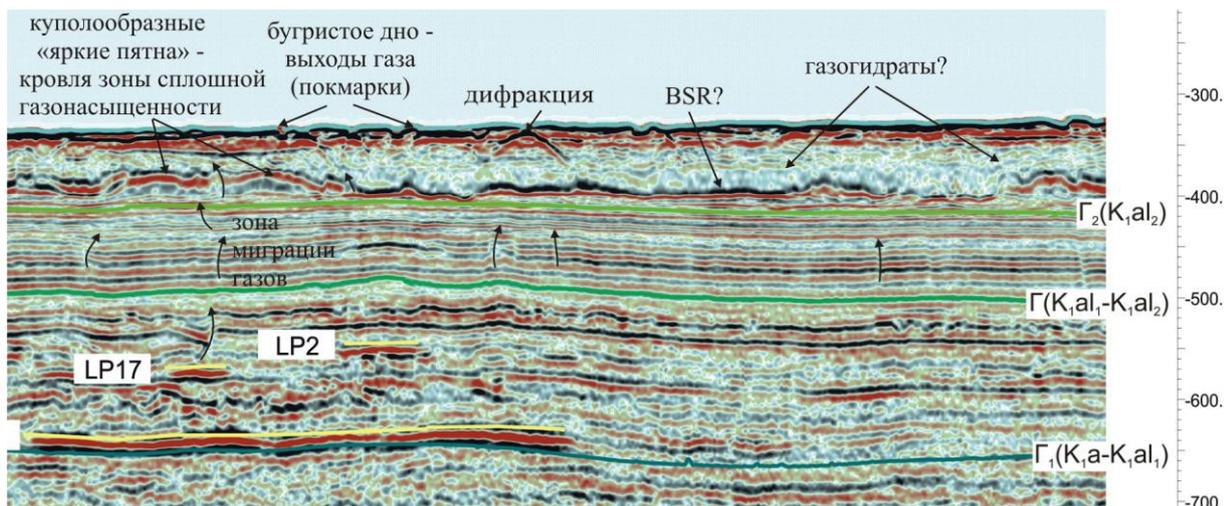


Рис. 2. Геодинамический разрез по профилю ST12087 (интерпретация: В.С. Захаренко, С.П. Павлов)

5. Дизъюнктивные нарушения и выбросы газов

Прогнозы гидратоносности осадков и пород базировались на предположениях о решающем вкладе в образование ГГ биохимического метана. Предполагалось почти повсеместное распространение газогидратов в Мировом океане на глубине более 300-600 м (Дмитриевский, Валяев, 2004). В настоящее время появляется на все больше фактического материала, свидетельствующего о том, что ГГ могут иметь глубинное происхождение, при этом метан выходит из недр земли через разломы.

Норвежскими исследователями обнаружены ГГ, расположенные в Западно-Арктическом секторе к северо-западу от Шпицбергена. Их изучение проводилось с помощью высокочастотной сейсмической аппаратуры с последующим анализом скоростей и годографов (Posewang, Mienert, 1999). Необходимо отметить, что газопроявления на Шпицбергене распространены широко и наблюдаются практически во всех глубоких скважинах, пробуренных с целью нефтегазопояска. Множество выходов газа обнаружено в палеогеновых отложениях на Баренцбургском и Грумантском месторождениях, причем некоторые из них "давали факелы" на устье скважин. Практически все выбросы газов наиболее интенсивны в зонах повышенной активности дизъюнктивных дислокаций (Верба, 2008).

На Западно-Шпицбергенской континентальной окраине, в зоне перехода "континент – океан" зафиксирована мощная гравитационная аномалия (Хорнсуннский гравитационный максимум), которая объясняется внедрением мантийного диапира. Локальные поднятия в палеозой-мезозойском осадочном чехле оказались пространственно приурочены к участкам первичной субокеанической коры, т.е. мантийный диапир играет роль "обогревателя", способствующего созреванию УВ. Некоторые участки, вероятно, связанные с газогидратами, также приурочены как к зоне мантийного диапира, так и к глубинным разломам, что дает возможность предположить их эндогенное происхождение (Захаренко и др., 2013).

В районе исследования на сейсморазрезах вдоль разломов наблюдаются зоны потери сейсмической записи, свидетельствующие о миграции газов (рис. 3). Достигая подошвы рыхлых неоген-четвертичных отложений, газ перераспределяется в поровом пространстве толщи, скапливаясь в локальных неоднородностях, прежде всего в песчаных линзах. Непосредственно над разломом в толще осадков образуется кратер.

На сейсмограмме (рис. 3) зона предполагаемого развития ГГ представлена осветленной записью куполообразной формы, боковые стенки которой контролируются "яркими пятнами". Предполагаемый горизонт BSR (горизонт, имитирующий дно) при субгоризонтальном положении подстилающих коренных пород не является надежным признаком. В настоящее время появляется все больше свидетельств о том, что этот горизонт прослеживается спорадически или бывает двойным, т.к. газогидраты могут залегать пластами. Например, в юго-западной части газогидратного скопления (Купарук Ривер) верхние пласты с газогидратами расположены уже в пределах толщи многолетнемерзлых пород, а нижние – у подошвы зоны стабилизации гидратов (ЗСГ).

В Восточно-Сибирском море с помощью геохимических методов обнаружена аномалия метана на глубине моря 41 м, приуроченная к разлому (Обжиров, 2013). Поэтому не исключается возможность нахождения ГГ в зонах некоторых приповерхностных дизъюнктивных нарушений (рис. 3). Однако в основном предполагаемые области развития газогидратов находятся на некотором удалении от разломов в области ЗСГ.

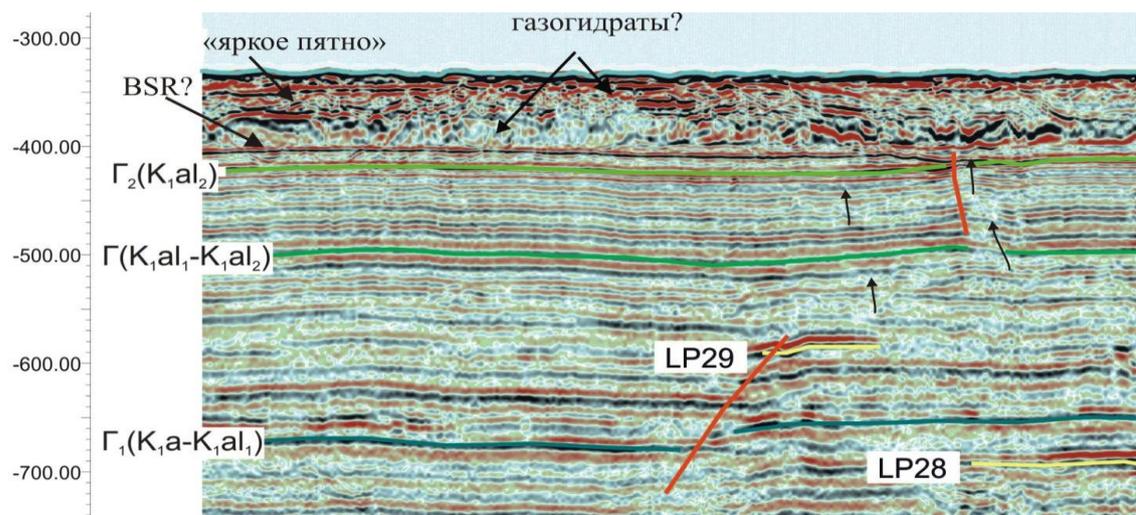


Рис. 3. Геодинамический профиль ST12094. Пример миграции газов по дизъюнктивным нарушениям (интерпретация: В.С. Захаренко, С.П. Павлов)

6. Взаимосвязь грязевого вулканизма, диапиризма и газогидратов

В результате исследований последнего десятилетия был получен большой объем новых данных о проявлении грязевулканических процессов в Мировом океане. Грязевые вулканы в море (как и на суше) оказались специфическими структурами, контролирующими наиболее интенсивные разгрузки (потoki) УВ. Как правило, возникновению грязевого вулкана предшествует образование диапира.

Образование грязевых вулканов и глиняных диапиров обусловлено наличием аномально высоких пластовых давлений (АВПД) в глубинах недр. Диапиры постепенно внедряются в толщу осадочных отложений, изгибая и продавливая пласты перекрывающих пород. Дополнительным механизмом образования глиняных диапиров служит инверсия плотностей в осадочном разрезе. Конечный результат внедрения диапиров – куполообразные структуры, сложенные пластичной глинистой массой, которые могут прекратить свой рост на каком-либо уровне, не достигнув земной поверхности, а могут и выйти на поверхность в виде холма.

В районе исследования (прежде всего в основании неоген-четвертичной толщи), помимо множества диапироподобных структур, выявлен крупный, предположительно реликтовый диапир куполообразной формы, достигший поверхности дна, но не выраженный в его рельефе (рис. 4). Данный диапир является ловушкой газов, поступающих из глубины и, скорее всего, возник именно под их давлением. В то же время он расположен в зоне стабильности газогидратов и его льдистые соединения могут быть представлены ГГ.

В Арктическом секторе диапироподобные структуры проявляются довольно часто, однако их внешний облик различен под влиянием многочисленных косвенных факторов, что требует отдельного изучения.

По данным мировой статистики, донные отложения множества глубоководных грязевых вулканов насыщены газовыми гидратами, которые рассматриваются как потенциальное углеводородное сырье. Поэтому не только подводные грязевые вулканы, но и диапиры заслуживают внимания как возможные источники метангидратов.

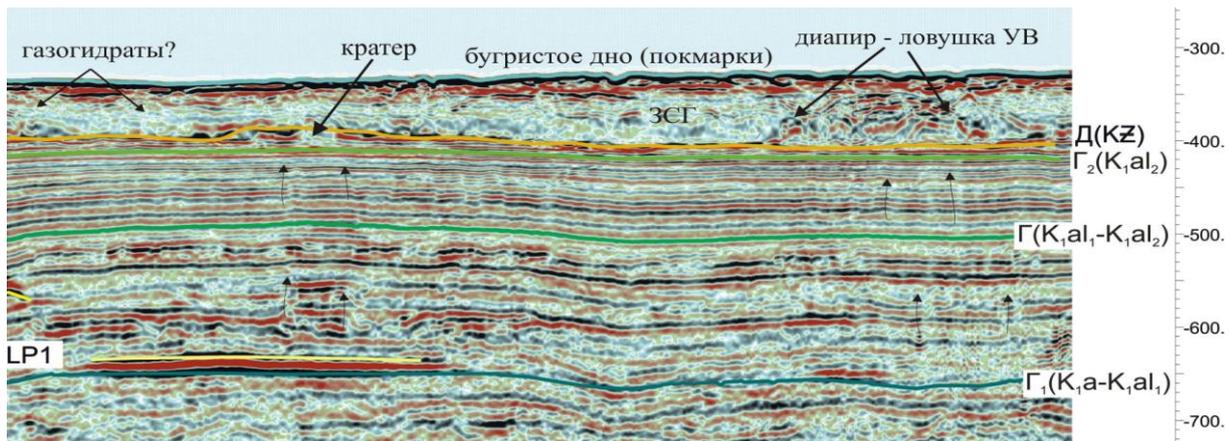


Рис. 4. Геодинамический профиль ST12096. Пример реликтового диапира, возникшего под давлением газа. Льдистые соединения могут быть представлены газогидратами (интерпретация: В.С. Захаренко, С.П. Павлов)

7. Предпосылки формирования газогидратов в районе ШГКМ

Придонная часть разреза осадков ЗСГ по термодинамическим условиям является наиболее благоприятной для образования и сохранности газогидратов.

Анализ волнового поля на участке ШГКМ показывает, что на глубинах 250-400 м (непосредственно под дном) газогидраты предполагаются лишь на отдельных небольших участках в виде пятен. Основной объем ГГ располагается в толще на глубине 20-70 м от поверхности дна, которую в данном районе можно считать зоной стабильности газогидратов. Кроме того, наблюдения показывают, что мощность рыхлых неоген-четвертичных отложений должна быть достаточной для формирования ЗСГ (не менее 40-50 м). В основании неоген-четвертичного комплекса выделяются сейсмofации, связанные с палеорулами и седиментационными процессами, характеризующими нестабильное осадконакопление. Это, по-видимому, связано с палеогеографической ситуацией в неогене, общим поднятием территории и развитием речной сети. На площади ШГКМ ближайшим источником выноса материала с последующим отложением в виде песчаных линз и другого осадочного материала мог быть водораздел (рис. 5).

Отложения регрессивных эпох формировались в палеогеографических условиях общего планетарного похолодания. В среднем неоплейстоцене в условиях воздымания Новоземельского кряжа на северо-западе архипелага имело место обширное покровное оледенение. Распространение газогидратов в плейстоценовых отложениях обуславливает палеогеографическая ситуация, заключающаяся в сочетании субэразальных этапов развития с эпохами похолодания и промерзания пород. При этом на начальных фазах регрессии возникали дренированные каналы, сопровождавшиеся деятельностью текучих вод, выносом песков, средне- и грубообломочного материала с близлежащей палеосуши, которые в свою очередь становились коллекторами для газогидратов.

Мировой опыт показывает, что и местонахождение газогидратов, и расположение ЗСГ отличаются региональным разнообразием. Так, по данным каротажа глубоководной скважины 995 на хребте Блейк Аутер, исходя из изменений скорости сейсмических волн и роста сопротивления, фиксируется высокая изменчивость гидратонасыщенности осадков в средней части разреза ЗСГ и обособляются горизонты с высокой гидратонасыщенностью. Верхняя часть интервала ЗСГ (до глубины

195 м от дна) не содержит газогидратов. Исследования также показали четкую приуроченность высоких содержаний газогидратов в поровом пространстве к грубозернистым прослоям (Дмитриевский, Валяев, 2004; Матвеева, Соловьев, 2002).

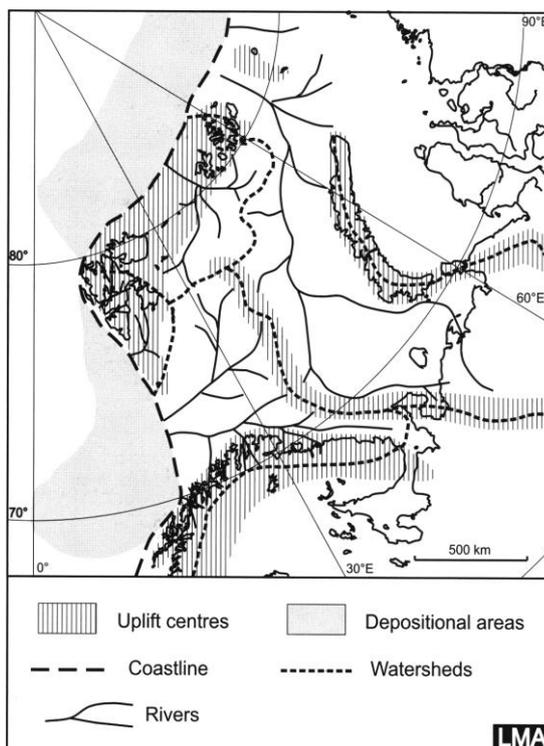


Рис. 5. Палеогеографическая ситуация в Баренцевом море в неогене (Forsberg et al., 1999)

По данным каротажа глубоководных скважин, пробуренных на Тихоокеанском побережье Канады, гидратонасыщенность зафиксирована на глубинах 125-225 м ниже дна (Дмитриевский, Валяев, 2004).

Таким образом, обогащенность газогидратами кернов глубоководных скважин, а также наибольшая гидратонасыщенность порового пространства морских осадков по геофизическим данным приурочены к средней части разреза ЗСГ.

Образцы газогидрата были взяты в ходе морских экспедиций на северном шельфе Норвегии, в том числе на площади грязевого вулкана Наакон Мосбу (Andreassen et al., 2007). Генезис газогидратов носит комплексный характер и содержит метан биогенного и эндогенного происхождения. Мы предполагаем, что газогидраты Штокмановского участка также могут содержать метан различного генезиса. Об этом свидетельствует ассиметричная форма ярких всплесков, фиксируемая на отдельных разрезах, которая интерпретируется как результат смешения различных слоев газа.

Исходя из анализа мирового опыта освоения морских месторождений и предварительных результатов, полученных в ходе данного исследования, можно сделать вывод о том, что в районе Штокмановского газоконденсатного месторождения наблюдаются основные предпосылки и условия формирования газогидратов:

1. Формирование крупных скоплений газогидратов возможно только при подтоке метана по системам каналов, контролирующим локализованные потоки УВ. В районе Штокмана, помимо основного месторождения, дополнительным источником метана служат мелкозалегающие газовые линзы в меловой толще.

2. Дизъюнктивные нарушения служат каналами поставки УВ. Кроме того, умеренная сейсмическая активность, наблюдаемая в районе ШГКМ, способствует миграции и перераспределению УВ в отложениях.

3. Формирование зоны стабильности газовых гидратов зависит от нескольких факторов: мощности водной толщи; необходимой мощности неоген-четвертичных отложений; достаточно низкой температуре придонных вод; наличия зон многолетнемерзлых пород и др. Комплекс этих условий является достаточным в данном районе, что подтверждается особенностями волнового поля.

4. Для гидратонасыщения необходимо поровое пространство (линзы песчаников, конгломератов). Условия для их накопления существовали в неоген-плейстоценовом периоде,

сопровождавшемся регрессивно-трансгрессивными фазами, когда периоды регрессий сопровождались возникновением дренированных каналов и деятельностью текучих вод.

8. Экологический риск

Геоэкологическая безопасность при освоении нефтегазовых ресурсов обеспечивается в ходе контроля сейсмической обстановки, которая в Арктике характеризуется неравномерным, очаговым распределением эпицентров сейсмических событий (землетрясений), приуроченных к районам тектонической активности. В последние годы наблюдается увеличение сейсмической активности в районах, находящихся в непосредственной близости от Шпицбергена. На сайте норвежской сейсмической службы NORSTAR (Norwegian Seismic Array) размещена информация о значительном количестве слабых землетрясений в Арктическом регионе, включая акватории Баренцева и Карского морей, произошедших в последние годы и зарегистрированных прибрежными сейсмологическими станциями Норвегии на севере Скандинавского полуострова и Шпицбергене (Захаренко, 2011).

Многие слабые землетрясения на шельфе Арктики могут быть обусловлены подводными выхлопами газа, разрушающими целостность донных отложений, следствием чего является образование покмарок (округлых углублений в рельефе дна). По-видимому, наиболее крупные покмарки приурочены к зонам разломов (рис. 6). По наблюдениям геологов, крупные покмарки на суше в дальнейшем могут развиваться как эрозионные формы, превращаясь в озера или фрагменты рек.

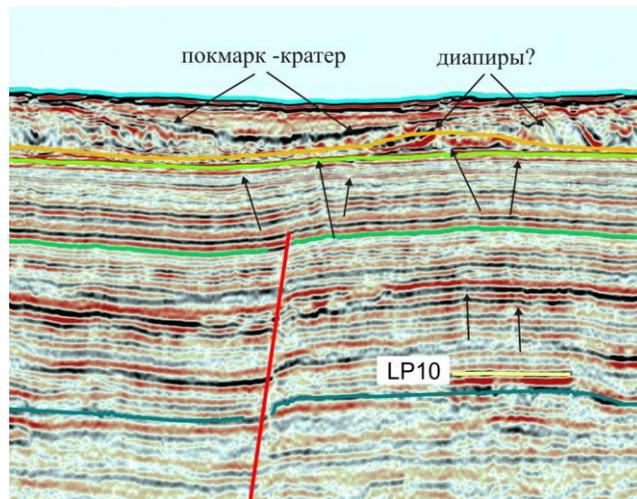


Рис. 6. Геодинамический профиль ST12033. Пример крупного покмарка (проседания рыхлой толщи), приуроченного к зоне тектонического нарушения (интерпретация: В.С. Захаренко, С.П. Павлов)

Известны случаи обнаружения затонувших судов, лежащих на дне покмарок. В частности Британская геологическая служба (BGS) обнаружила в Северном море в одной из крупных покмарок, названной Witch's Hole (Отверстие ведьмы), затонувший траулер начала XX в. Одним из основных объяснений гибели судна является то, что оно затонуло в результате изменения плотности воды при дегазации или разовом выходе (выхлопе) газа из покмарки (Богоявленский, 2011). Этот пример, ставший уже классическим, важен как напоминание о том, что грязевые вулканы и выхлопы газов представляют весьма серьезную угрозу.

Кроме того, покмарки представляют собой определенную опасность 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.

9. Заключение

Проанализировав результаты проведенного исследования, можно сделать следующие выводы:

1. Метановый газ в верхнюю часть разреза и к поверхности дна поступает как от глубоких газонасыщенных толщ, так и из отдельных небольших газовых линз в меловой толще. Приток газа осуществляется по тонким вертикальным акустическим трубам и дизъюнктивным нарушениям. Таким образом, интенсивность газопроявления напрямую зависит от фаз тектонической активности.

2. Достигая поверхности рыхлых неоген-четвертичных отложений, газ распространяется в их толще, где при благоприятных условиях образуются газогидраты. Распространение предполагаемых

участков местонахождения газогидратов (прежде всего у поверхности дна) носит не сплошной, а спорадический, зонально-пятнистый характер. Зона стабильности газогидратов расположена на некоторой глубине от донной поверхности. На исследуемой площади выявлен крупный диапир в зоне ЗСГ, предположительно, метангидратного наполнения, что является дополнительным свидетельством благоприятных условий для формирования газогидратов.

3. Необходимым условием обеспечения безопасности освоения нефтегазовых ресурсов Западно-Арктического сектора является определение факторов экологического риска, связанного с газогидратами и газонасыщенными толщами, т.е. изучение проблем: а) изменения климата и, как следствие, возможного изменения термобарических условий; б) сейсмической активности в молодых разломах и возобновлением тектонической активности в зонах старых разломов; в) устойчивости дна Баренцева моря (в связи с перспективой освоения ШГКМ и построения трубопровода по дну).

4. При изучении морского дна особое внимание следует обратить на покмарки – рытвины и выбоины различных размеров на его поверхности, происхождение которых связано с одиночными или периодическими выхлопами газов и проседанием рыхлых пород. Факторами экологического риска становятся диапиры и диапироподобные структуры при усилении сейсмической активности. В ходе разработки Штокмановского ГКМ при нарушении плотности пород возникает опасность их превращения в грязевую вулкан с выбросом метана.

Данное исследование носит предварительный и во многом дискуссионный характер, а проблема газогидратов требует дальнейшего комплексного изучения, в ходе которого необходимо исследовать приповерхностные и глубинные источники метана и уточнить их роль и соотношения в формировании газогидратов. Для изучения верхних горизонтов следует выполнить комплексный анализ высокочастотной сейсмике в процессе постановки сейсмоакустических работ с использованием современной аппаратуры (т.е. цифровой записи и многоканальной косы).

В целях экологической безопасности должно быть проведено комплексное исследование природно-техногенных рисков, возникающих при освоении УВ-ресурсов.

Литература

- Andreassen K., Nilssen E.G., Odegaard Ch.M.** Analysis of shallow gas and fluid migration within the Plio-Pleistocene sedimentary succession of the SW Barents Sea continental margin using 3D seismic data. *Geo-Mar Lett., Springer-Verlag*, 17 p., 2007.
- Cumella St. P., Jay Scheevel.** The influence of stratigraphy and rock mechanics on Mesaverde gas distribution, Piceance Basin, Colorado. Understanding, exploring and developing tight-gas. *Vail Hedberg Conference, AAPG Hedberg Series*, N 3, p. 137-153, 2008.
- Forsberg C.F., Solheim A., Elverhoi A. et al.** The depositional environment of the western Svalbard margin during the late Pliocene and the Pleistocene: Sedimentary facies changes at Site 986. *Proc. ODP (Ocean Drilling Program), Sci. Results*, 162: College Station, TX, 1999.
- Posewang J., Mienert J.** High-resolution seismic studies of gas hydrates west of Svalbard. *Geo-Marine Letters*, N 19, p. 150-156, 1999.
- Богоявленский В.И.** Изученность и перспективы нефтегазоносности российской и норвежской акваторий Баренцева моря. *Арктика: экология и экономика*, № 2, с. 64-75, 2011.
- Верба М.Л.** Сравнительная геодинамика Евразийского бассейна. *СПб., Наука*, 191 с., 2008.
- Дмитриевский А.Н., Валяев Б.М.** Распространение и ресурсы метана газовых гидратов. *Наука и техника в газовой промышленности*, № 1/2, с. 5-13, 2004.
- Захаренко В.С.** Потенциальный экологический риск, связанный с газогидратами на Западно-Арктической континентальной окраине. *Охрана окружающей среды в нефтегазовом комплексе*, № 4, с. 21-26, 2011.
- Захаренко В.С., Казанин Г.С., Радченко М.С.** Условия образования газогидратов на Шпицбергенской-Баренцевоморской континентальной окраине. *Естественные и технические науки*, № 2, с. 158-163, 2013.
- Матвеева Т.В., Соловьев В.А.** Геологический контроль скоплений газовых гидратов на хребте Блейк Аутер, Северная Атлантика (по материалам глубоководного бурения). *Геология и геофизика*, т. 43, № 7, с. 662-671, 2002.
- Обжиров А.И.** Возможные источники углеводородов и их участие в формировании газогидратов в Охотском море. *Геология морей и океанов. Мат. XX Междун. науч. конф. (Школы) по морской геологии*. М., т. II, с. 93-97, 2013.
- Павлов С.П., Шлыкова В.В., Черников С.Ф., Кузнецов А.В.** Проблема нефтегазоносности меловых отложений Баренцева моря. *Геология и геоэкология континентальных окраин Евразии. Спец. изд., посвященное 40-летию МАГЭ*. М., ГЕОС, вып. 3, с. 30-45, 2011.

References

- Andreassen K., Nilssen E.G., Odegaard Ch.M.** Analysis of shallow gas and fluid migration within the Plio-Pleistocene sedimentary succession of the SW Barents Sea continental margin using 3D seismic data. *Geo-Mar Lett.*, Springer-Verlag, 17 p., 2007.
- Cumella St. P., Jay Scheevel.** The influence of stratigraphy and rock mechanics on Mesaverde gas distribution, Piceance Basin, Colorado. Understanding, exploring and developing tight-gas. Vail Hedberg Conference, AAPG Hedberg Series, N 3, p. 137-153, 2008.
- Forsberg C.F., Solheim A., Elverhoi A. et al.** The depositional environment of the western Svalbard margin during the late Pliocene and the Pleistocene: Sedimentary facies changes at Site 986. *Proc. ODP (Ocean Drilling Program), Sci. Results*, 162: College Station, TX, 1999.
- Posewang J., Mienert J.** High-resolution seismic studies of gas hydrates west of Swalbard. *Geo-Marine Letters*, N 19, p. 150-156, 1999.
- Bogoyavlenskiy V.I.** Izuchennost i perspektivy neftegazonosnosti rossiyskoy i norvezhskoy akvatorii Barentseva morya [Study and petroleum potential of the Russian and Norwegian waters of the Barents Sea]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, № 2, p. 64-75, 2011.
- Verba M.L.** Sravnitel'naya geodinamika Yevraziyskogo basseyna [Comparison geodynamics of the Eurasian basin]. SPb., Nauka, 191 p., 2008.
- Dmitriyevskiy A.N., Valyaev B.M.** Rasprostraneniye i resursy metana gazovykh gidratov [Distribution and methane gas hydrate resources]. *Nauka i tekhnika v gazovoy promyshlennosti*, № 1/2, p. 5-13, 2004.
- Zakharenko V.S.** Potentsialnyy ekologicheskiy risk, svyazanny s gazogidratami na Zapadno-Arkticheskoy kontinentalnoy okraine [Potential environmental risks associated with gas hydrates on the Western Arctic continental margin]. *Okhrana okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse*, № 4, p. 21-26, 2011.
- Zakharenko V.S., Kazanin G.S., Radchenko M.S.** Usloviya obrazovaniya gazogidratov na Shpitsbergenskoy-Barentsevomorskoy kontinentalnoy okraine [Conditions for formation of gas hydrates on the Svalbard-Barents Sea continental margin]. *Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki*, № 2, p. 158-163, 2013.
- Matveeva T.V., Solovyev V.A.** Geologicheskiy kontrol skopleniy gazovykh gidratov na khrebtе Bleyk Auter, Severnaya Atlantika (po materialam glubokovodnogo bureniya) [Geological control of gas hydrate at Blake Outer Ridge, North Atlantic (based on deep-water drilling)]. *Geologiya i geofizika*, t. 43, № 7, p. 662-671, 2002.
- Obzhirov A.I.** Vozmozhnyye istochniki uglevodorodov i ikh uchastiye v formirovanii gazogidratov v Okhotskom more [Possible sources of hydrocarbons and their participation in formation of gas hydrates in the Sea of Okhotsk]. *Geologiya morey i okeanov. Mat. XX Mezhdun. nauch. konf. (Shkoly) po morskoy geologii. M., t. II*, p. 93-97, 2013.
- Pavlov S.P., Shlykova V.V., Chernikov S.F., Kuznetsov A.V.** Problema neftegazonosnosti melovykh otlozheniy Barentseva morya [The problem of oil and gas potential of the Cretaceous deposits in the Barents Sea]. *Geologiya i geoekologiya kontinentalnykh okrain Yevrazii. Spets. izd., posvyashchennoye 40-letiyu MAGE. M., GEOS, vyp. 3*, p. 30-45, 2011.

Информация об авторах

Захаренко Валентина Степановна – Мурманский государственный гуманитарный университет, кафедра естественных наук, канд. геогр. наук, доцент, e-mail: veronica@polarcom.ru

Zakharenko V.S. – Murmansk State Humanitarian University, Department of Natural Sciences, Cand. of Geogr. Sci., Associate Professor, e-mail: veronica@polarcom.ru

Казанин Геннадий Семенович – ОАО "Морская арктическая геологоразведочная экспедиция" (ОАО МАГЭ), д-р техн. наук, генеральный директор

Kazanin G.S. – PC "Marine Arctic Geological Expedition", Dr of Tech. Sci., Director General

Павлов Сергей Петрович – ОАО "Морская арктическая геологоразведочная экспедиция" (ОАО МАГЭ), гл. геофизик

Pavlov S.P. – PC "Marine Arctic Geological Expedition", Head Geophysicist