

ВЫЯВЛЕНИЕ ГАЗОГИДРАТНЫХ ЗОН В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОРОДАХ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ СКВАЖИН И ОЖИДАЕМЫЕ ТИПЫ ГАЗОГИДРАТНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ

*А.В. Полозков, Д.А. Астафьев, В.А. Истомин (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»),
К.А. Полозков (ООО «Газпром нефть шельф»), П.И. Гафтуняк (ОАО «Газпром»)*

Разработка методов [1–9] прогнозирования наличия газ-газогидратных и газогидратных (гидратонасыщенных) пород в верхней части разреза на нефтегазовых месторождениях Крайнего Севера представляет практический интерес:

- для предупреждения осложнений, связанных с выбросами газа при строительстве глубоких скважин;
- для повышения качества крепи в интервалах залегания газогидратных пород (ГГП);
- в связи с целесообразностью последующего вовлечения в разработку как газогидратных, так и подгидратных залежей газа.

Исследования по выявлению и изучению образования ГГП в низкотемпературных разрезах пород были начаты еще в 60-х годах прошлого века на северных разведочных площадях [1, 2] после мощного выброса газа (1963 г.) с глубины 1830 м в одной из разведочных скважин на северо-западе Якутии. По всем показателям на данной глубине не должно было быть свободного газа, а о возможном наличии газогидратов в породах осадочного чехла буровикам еще не было известно. Анализ причин выброса позволил Ю.Ф. Макогону (1964 г.) высказать предположение о наличии в этих пластах благоприятных термобарических условий для формирования скоплений гидратного газа в пористом пространстве пород [1].

В 1967 г. в Заполярье западнее г. Норильска (на расстоянии 263 км) было открыто небольшое Мессояхское месторождение газа с запасами около 30 млрд м³, которое было введено в разработку в декабре 1969 г. Наличие природного газа, а возможно, и газогидратов было установлено в сводовой ловушке сеноманской терригенной продуктивной толщи (долганская свита) на глубинах 800–900 м. В зарубежной литературе Мессояхское месторождение сейчас считается первым примером освоения сухопутного газ-газогидратного месторождения. При этом в отечественной литературе так и не сложилось единого мнения о существовании природных газогидратов в продуктивных горизонтах Мессояхского месторождения, поскольку наличие гидратов было определено только по ряду косвенных признаков (исследований керна на гидратонасыщенность проведено не было).

Возможности обнаружения мест промышленного скопления газогидратов и подгидратных залежей в районах распространения многолетнемерзлых пород (ММП) на севере европейской части, Западной и Восточной Сибири, северо-востоке России рассматривались В.П. Царевым (1976 г.) и С.П. Никитиным, Н.В. Черским (1985–1987 гг.) [10, 14].

Дальнейшие исследования природных газогидратов в низкотемпературных породах позволили сформулировать основы разработки методов поиска, разведки и освоения газогидратных, а также возможных подгидратных залежей газа, критерии выбора территорий для проведения поисковых и разведочных работ, методы определения глубин залегания газогидратных скоплений (ГГС) на суше и в акваториях морей [1–4]. Например, в районах распространения ММП наличие пластов-коллекторов, флюидоупоров, антиклинальных и неантиклинальных структурных форм стратиграфических поверхностей, включая подошву зоны гидратообразования, могут рассматриваться как индикаторы для выявления ГГС. Для конкретного прогноза здесь необходима информация об интенсивности генерации и вертикальной миграции углеводородов (УВ) на разведываемых площадях, динамике термобарических условий в исследуемых разрезах, в том числе изменении глубинных мерзлотных условий в течение палеогеологического времени в рассматриваемом нефтегазоносном регионе.

Следует подчеркнуть, что актуальность развития методов выявления газогидратных залежей в настоящее время существенно возрастает из-за целесообразности вовлечения в разработку природных газов надсеноманских (туронских) отложений Западной Сибири на эксплуатируемых месторождениях. Так, в 2011 г. начато опытно-промышленное освоение туронских залежей на Южно-Русском месторождении, при этом термобарический режим туронских отложений оказывается весьма близ-

ким к линии трехфазного равновесия «природный газ – пластовая вода – газовые гидраты» (т.е. на этом месторождении в туронских отложениях наличие газогидратных пропластков не исключается). Кроме того, в ближайшие годы в районе Мессояхской группы месторождений будет начато освоение ряда газовых месторождений, сеноманские и надсеноманские горизонты которых находятся в зоне стабильности газогидратов.

В последние годы в ходе разведки перспективных площадей на нефть и газ были проведены исследования, касающиеся возможности выявления газогидратных скоплений в зоне распространения ММП на Заполярном, Ямбургском, Бованенковском, Харьягинском и других месторождениях. Исследования проводились предложенными в [7–9] методами, использующими данные стандартного каротажа (МОСК) и термометрии (ВЧТ) на разведочных и эксплуатационных скважинах при их строительстве. Эти методы в принципе позволяют в ходе сооружения скважины оценить характеристики разреза ММП, а также дать определенный прогноз наличия газогидратных залежей на месторождении (без бурения специальных мерзлотных скважин с отбором и исследованием керна). Так, на Заполярном НГКМ газогидратные породы (залежи) прогнозируются в северной и юго-восточной частях площади месторождения. Область гидратсодержащих пород на Заполярном НГКМ начинается с глубины 300–360 м. На рис. 1 и 2 в качестве примера приводятся данные по выявлению залежей ГГП Заполярного месторождения, расположенных под подошвой ММП в нижней части криолитозоны.

Следует также отметить, что в последние годы большой объем исследований по выявлению газогидратов и газопроявлений в зоне ММП был проведен на Бованенковском месторождении с бурением специальных мерзлотных скважин с отбором и исследованием керна [4–6]. В настоящее время актуально комплексирование вышеуказанных методов с детальным анализом геологии разреза.

В качестве мест локализации газогидратных и подгидратных залежей газа считаются благоприятными локальные поднятия и зоны разломов, выполняющие роль путей миграции УВ из глубокопогруженных толщ в зону гидратообразования. Весьма перспективными на поиски газогидратных и подгидратных залежей могут оказаться также пояса и участки выходов на дневную поверхность коллекторских толщ, пересекающих зону гидратообразования, по бортам прогибов и впадин [10 и др.]. Такие зоны распространены, например, на территории Печорской плиты, на западной и восточной окраинах Западно-Сибирской платформы, на бортах Енисей-Хатангского и Предверхожанского прогибов, Вилюнской и Тунгусской синеклиз Восточно-Сибирской платформы и в других районах [1, 10–15 и др.].

Газо-, а возможно, и нефтегазонакопление в подобных зонах происходило за счет миграции из районов глубокого залегания пластов-коллекторов, где имеют место очаги генерации и ранее сформировавшиеся залежи. Этот фактор может способствовать формированию в ряде случаев крупных зон скоплений УВ с гидратными и подгидратными залежами.

Объектом поисков в зонах распространения современных газогидратных толщ могут стать газогидратные и подгидратные залежи, приуроченные к участкам локального гипсометрически приподнятого положения подошвы зоны гидратообразования, как показано на рис. 3 [10 и др.]. По морфологии такие ловушки сходны с антиклинальными, однако территориально могут совершенно не совпадать с последними. Кроме того, при определенных пространственных сочетаниях подошвы зоны гидратообразования с зонами литологического замещения пласта-коллектора также могут образовываться подгидратные ловушки УВ.

Площадями поиска ГГС могут быть зоны выхода пластов-коллекторов на дневную поверхность, экранированные в головной части многолетнемерзлыми породами, переходящими ниже по разрезу в зону гидратообразования. По строению и морфологическому типу ловушек они подобны зонам нефтегазонакопления стратиграфического типа (рис. 4). Полный набор ловушек УВ с газогидратными и подгидратными скоплениями в подобных условиях показан на рис. 5. Отличие их от стратиграфических ловушек лишь в том, что пласты-коллекторы не срезаны в результате процесса денудации и, следовательно, не перекрыты несогласно залегающим комплексом пород, а продолжают в зону гидратообразования и оказываются закупоренными для миграции жидких и газообразных флюидов вверх по восставанию.

Аналогичными по строению могут быть также обширные районы, где коллекторские толщи не выходят на дневную поверхность, а лишь частично в наиболее гипсометрически высоких частях (на

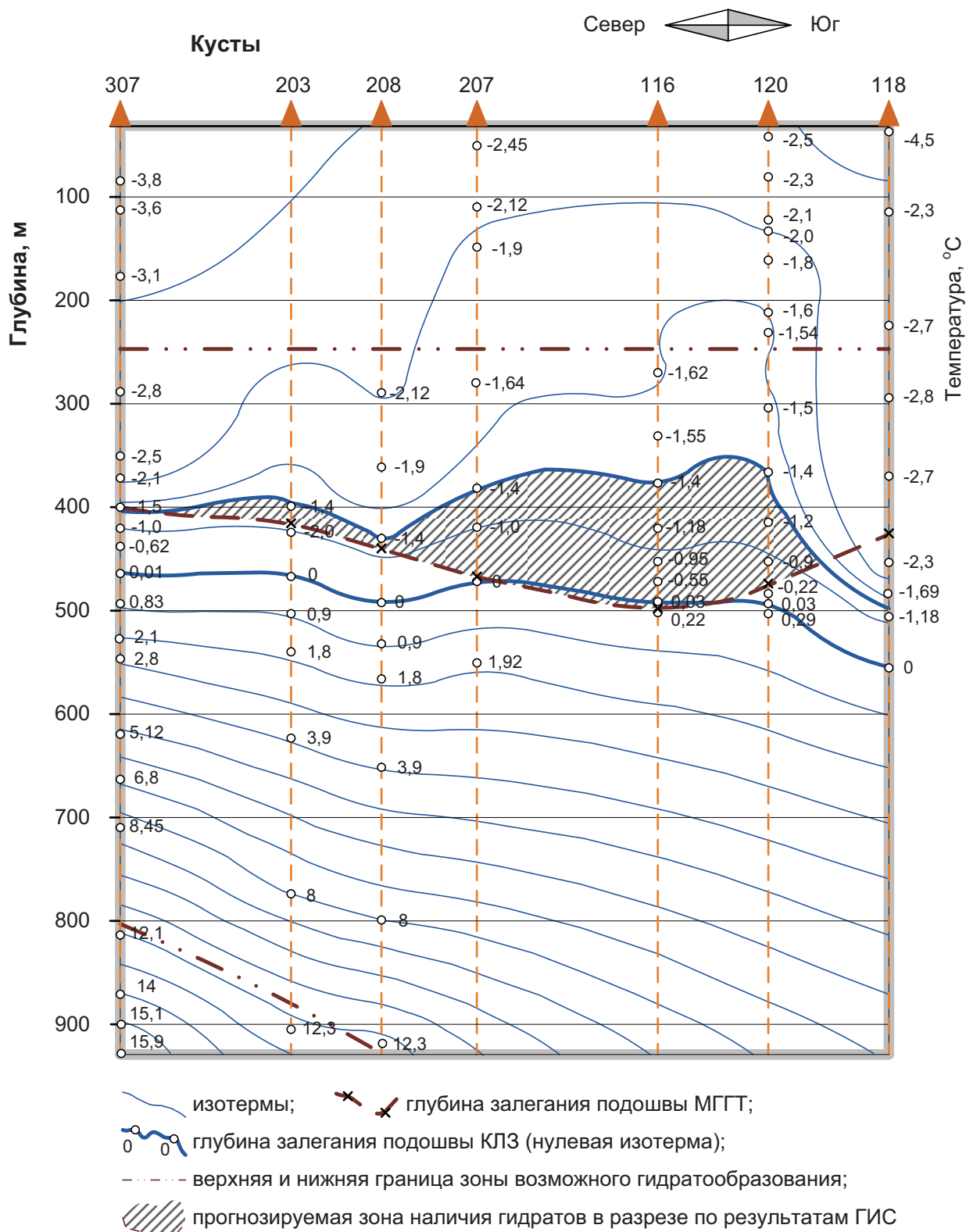


Рис. 1. Распределение пластовых температур по глубине в интервале залегания ММП, НП и ГПП по кустам № 118, 120, 116, 207, 208, 203, 307 скважин Заполярного НГКМ

крупных сводовых и валообразных поднятиях) попадают в зону гидратообразования, либо где подошва зоны гидратообразования погружается (рис. 6), частично охватывая пласты-коллекторы. Во всех рассмотренных случаях могут быть сформированы гидратные и подгидратные залежи, по строению

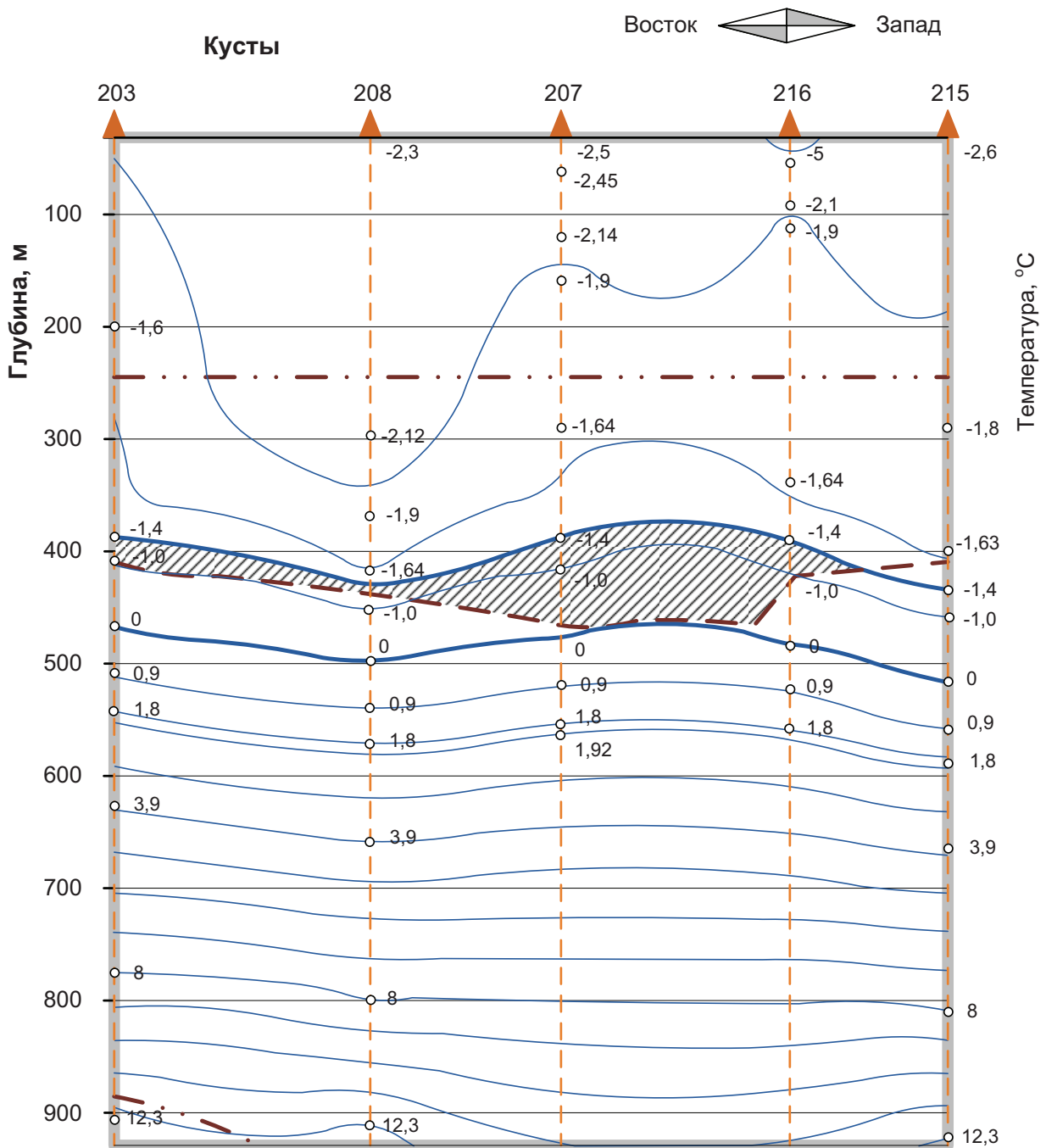


Рис. 2. Распределение пластовых температур по глубине в интервале залегания ММП, НП и ГПП по кустам № 215, 216, 207, 208, 203 скважин Заполярного НГКМ. Условные обозначения см. на рис. 1

подобные залежам в стратиграфических ловушках. Роль экранирующей эрозионной поверхности для подгидратных залежей будет выполнять подошва [10 и др.] газогидратной толщи, а газогидратные залежи могут быть сформированы в результате поглощения первоначально подгидратных залежей зоной гидратообразования при опускании ее подошвы.

Следует также иметь в виду, что в числе газогидратных и подгидратных залежей УВ могут оказаться и ранее сформированные залежи в стратиграфических ловушках, если зона гидратообразования охватывает имеющиеся в верхней части поверхности стратиграфических несогласий. Подгидратные залежи могут быть сформированы в таких случаях за счет комбинированного экранирования участков пластов-коллекторов эрозионной поверхностью и подошвой зоны гидратообразования.

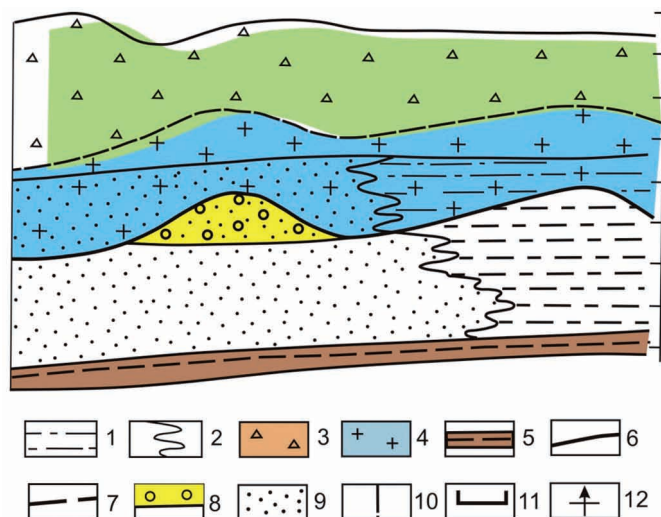


Рис. 3. Схема формирования подгидратной залежи УВ в гипсометрически приподнятом участке подошвы зоны гидратообразования:

1 - породы с ухудшенными коллекторскими свойствами; 2 - граница перехода; 3 - зона распространения ММП; 4 - зона гидратообразования; 5 - пласты-флюидоупоры; 6 - подошва зоны гидратообразования; 7 - подошва зоны распространения ММП; 8 - залежи УВ; 9 - породы-коллекторы; 10 - проекция пересечения кровли пластов-флюидоупоров с подошвой зоны гидратообразования; 11 - зона проведения детализационных геофизических работ и бурения скважин; 12 - скважины

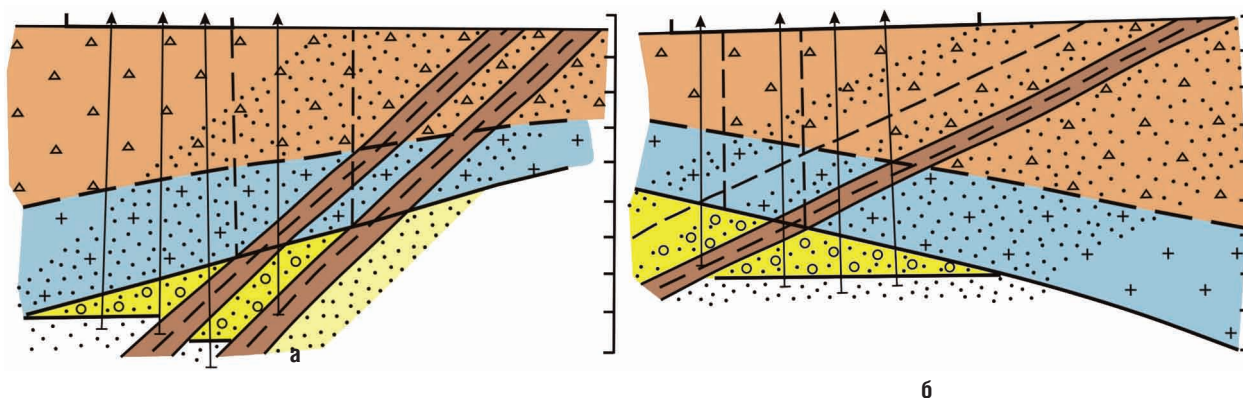


Рис. 4. Схема формирования подгидратных залежей УВ при разных пространственных сочетаниях подошвы зоны гидратообразования, пласта-коллектора и пласта-флюидоупора:

а - азимуты падения пластов-коллекторов и подошвы зоны гидратообразования отличаются менее чем на 90° или совпадают; б - азимуты падения пластов-коллекторов и подошвы зоны гидратообразования отличаются более чем на 90° (до диаметрально противоположных). Остальные условные обозначения см. на рис. 3

Таким образом, залежи УВ в ловушках зон выхода коллекторских толщ на дневную поверхность и локального охвата коллекторских толщ гидратообразованием, возможно, распространены более широко, чем иные типы гидратных и подгидратных залежей. Даже если запасы газа в таких ловушках будут невелики (от мельчайших – 0,5–1,0 до 3,0–5,0 млн м³), то и этого будет достаточно, чтобы обеспечить крупный поселок природным газом на многие годы.

Поиски таких залежей следует организовать с учетом имеющегося опыта поисков залежей УВ в стратиграфических ловушках, априорные модели [11] которых вполне могут быть приняты за основу также при поисках газогидратных и подгидратных залежей в зонах выхода коллекторских толщ на дневную поверхность и поглощения гидратообразованием отдельных участков пластов-коллекторов.

С учетом особенностей строения и поисковых признаков подгидратных ловушек УВ определена методика их картирования. В областях выхода коллекторских толщ на дневную поверхность (рис. 7)

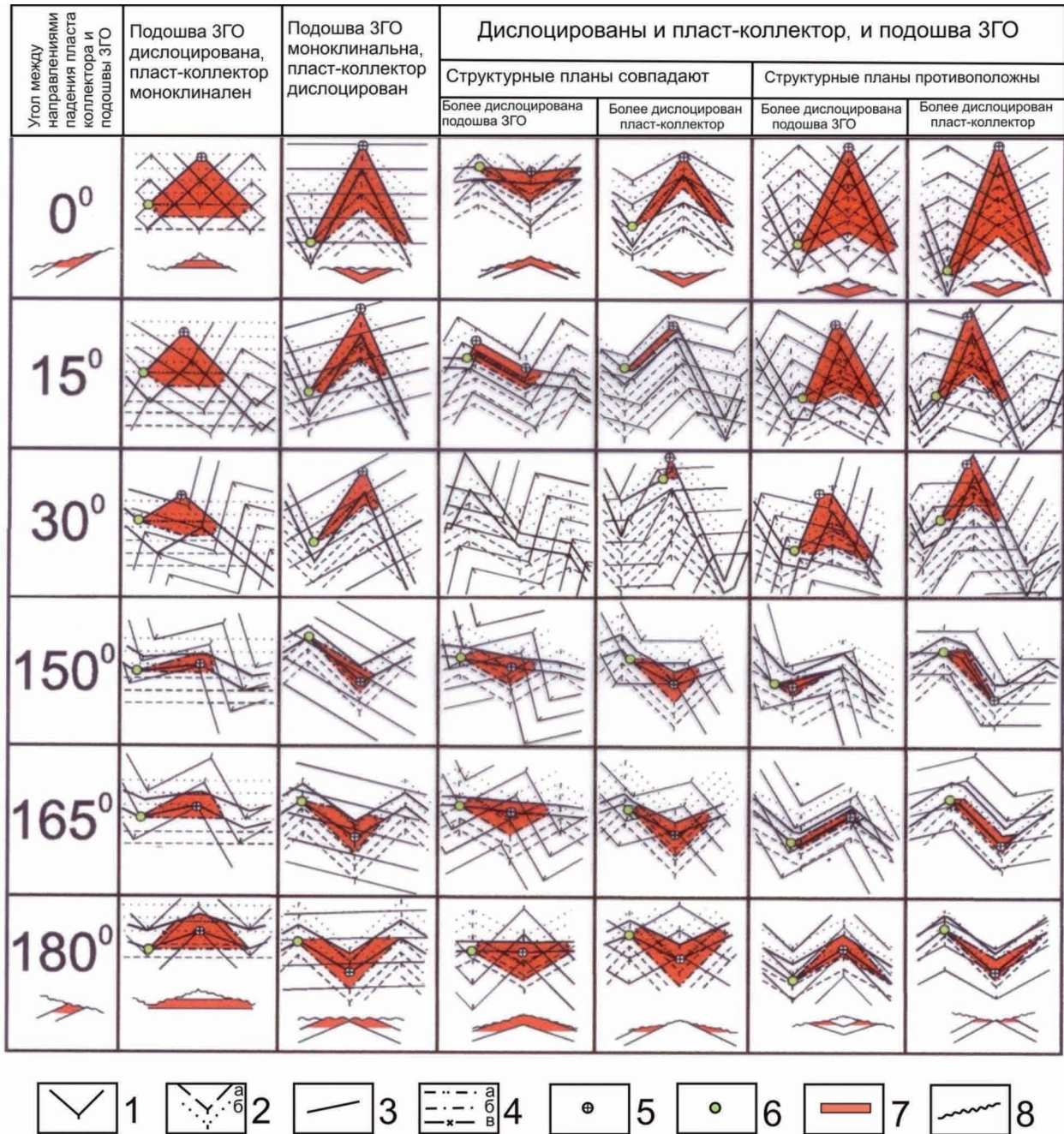


Рис. 5. Типы подгидратных ловушек, экранированных зоной гидратообразования

1 - изогипсы подошвы зоны гидратообразования (ЗГО); 2 - изогипсы кровли пласта-коллектора: а) в области его распространения, б) в области его отсутствия; 3 - границы пересечения кровли (подошвы) пласта-коллектора с подошвой зоны гидратообразования; 4 - контуры контакта подгидратной залежи с пластовой водой: а) внешний, б) внутренний, в) по подошве гидратообразования; 5 - замок ловушек; 6 - базис ловушек; 7 - залежь газа в плане и на профилях вкрест и по простиранию пласта-коллектора; 8 - подошва зоны гидратообразования на разрезах

или частичного поглощения отдельных участков коллекторских толщ гидратообразованием проводят структурно-геологическую съемку, а при необходимости – и сейсморазведку, с помощью которых уточняют структурные условия зон выхода нефтегазоносных комплексов горных пород на дневную поверхность или выявляют участки поглощения гидратообразованием коллекторских толщ. Строят структурные карты по наиболее достоверно картируемым пластам коллекторских толщ и подошвы зоны гидратообразования. Методом графического вычитания топоповерхностей определяют первоначальные линии пересечения стратиграфических поверхностей (кровельных и подошвенных поверхностей пластов-коллекторов и флюидоупоров) с подошвой зоны гидратообразования.

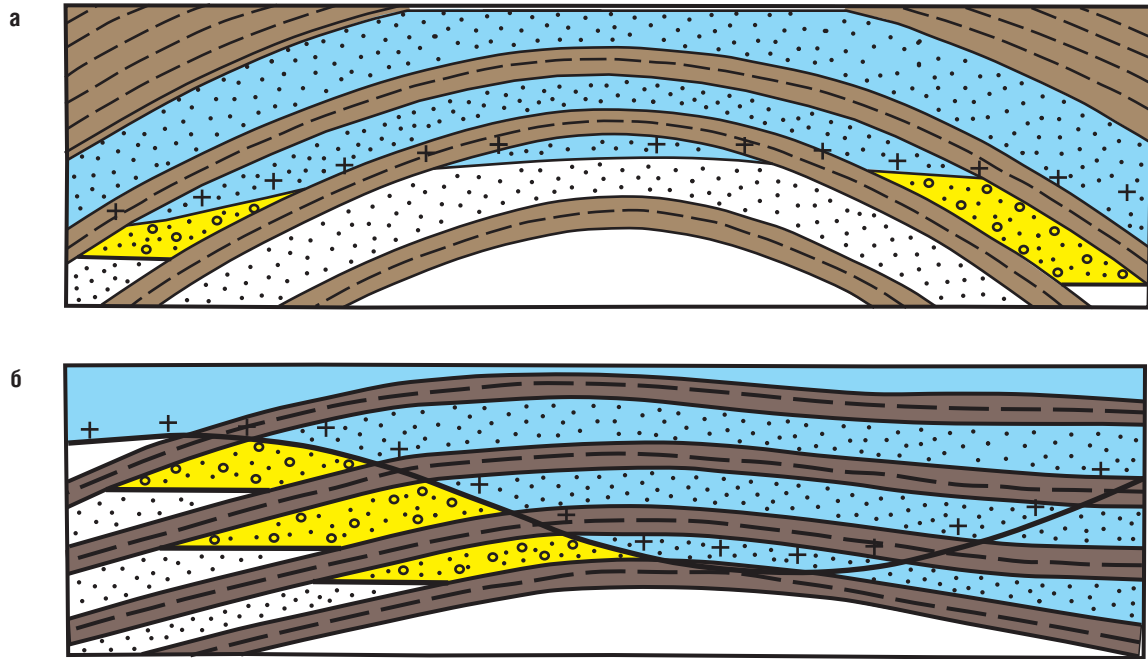


Рис. 6. Примеры структурных соотношений коллекторской толщи и подошвы зоны гидратообразования при поглощении зоной гидратообразования сводовых участков тектонических поднятий различного ранга (а) и в других структурных условиях (б).
Условные обозначения см. на рис. 3

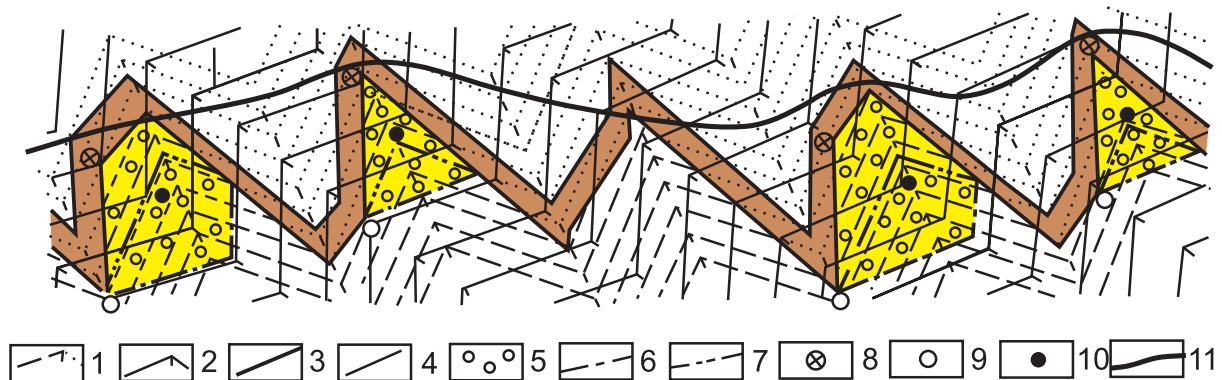


Рис. 7. Пример формирования зоны нефтегазонакопления в подгидратной толще пород.
Изогипсы: 1 – кровли пласта-флюидоупора, 2 – подошвы зоны гидратообразования, линия перенесения; 3 – кровли пласта-флюидоупора и 4 – подошвы пласта-флюидоупора с подошвой зоны гидратообразования, 5 – залежи УВ, контур контакта залежи с пластовой водой; 6 – внешний по подошве зоны гидратообразования, 7 – внутренний по кровле пласта-флюидоупора, 8 – замок ловушек, 9 – базис ловушки, 10 – местоположение поисковых скважин, 11 – первоначальная линия кровли пласта-флюидоупора с подошвой зоны гидратообразования

При различиях азимутов падения коллекторских толщ и подошвы зоны гидратообразования менее чем на 90° детализационные геофизические (например, сейсморазведочные) работы проводят в направлениях по простиранию соответствующего пласта-флюидоупора в полосе шириной 7–10 км, примыкающей со стороны падения пласта-флюидоупора, подстилающего пласт-коллектор, к линии пересечения его кровли с подошвой зоны гидратообразования. При различиях азимутов более чем на 90° или диаметрально противоположных азимутах детализационные геофизические работы (например, сейсморазведку) проводят в направлениях по простиранию соответствующего пласта-флюидоупора в полосе шириной 7–10 км, осевая линия которой совпадает с линией пересечения подошвы пласта-флюидоупора, перекрывающего пласт-коллектор, и подошвы криогидратной толщи.

При проведении сейсморазведочных работ на участках с благоприятными для формирования подгидратных залежей указанными соотношениями гипсометрически не замкнутых структурных форм сейсмические профили следует ориентировать вдоль линий пересечения кровельных или подошвенных поверхностей пластов-флюидоупоров с подошвой зоны гидратообразования, сгущая и более определенно ориентируя их в зонах предполагаемых ловушек УВ. Вкрест простирания выше указанных линий пересечения достаточно располагать лишь единичные связующие сейсмические профили.

По результатам детальных геофизических работ уточняют местоположение и конфигурацию линии пересечения кровли или подошвы (в зависимости от азимутов падения) пластов-флюидоупоров с подошвой зоны гидратообразования и воссоздают объемные модели подгидратных ловушек УВ, опираясь на ранее описанные априорные формализованные модели [11], с последующим размещением поисковых скважин по методике, применяемой при поисках стратиграфических ловушек [12].

Поиски газогидратных и подгидратных залежей УВ, приуроченных к участкам локального гипсометрически приподнятого положения подошвы зоны гидратообразования (см. рис. 3), значительно упрощаются. Основная задача в реализации этого направления – детальное картирование гипсометрии подошвы гидратообразования и литологофациальных изменений подгидратной толщи. Площади с пространственным совпадением зон развития коллекторов ниже подошвы зоны гидратообразования и участков гипсометрически приподнятого положения подошвы зоны гидратообразования будут перспективными на обнаружение подгидратных залежей УВ.

Выявление таких неглубокозалегающих ловушек возможно в результате проведения сейсморазведки, электроразведки, тепловой съемки и прямого картирования подошвы гидратообразования структурно-картировочным бурением, сопровождаемым газокаротажными измерениями. Учитывая синхронность кровли и подошвы зоны гидратообразования, скважины достаточно бурить до аномального проявления УВ-газа, которое возникает после пересечения скважиной кровли зоны гидратообразования. Контрастность таких проявлений (нередко – газовых выбросов) обуславливается тем, что удельное метаносодержание пород в зоне гидратообразования на два порядка выше, чем в многолетнемерзлой толще (во льду). Построив по данным бурения карту поверхности аномального газопроявления и выявив участки гипсометрических максимумов, поисковые скважины бурят в пределах контуров приподнятого положения кровли зоны гидратообразования до вскрытия подгидратной зоны на величину, не меньшую амплитуды этих максимумов с целью вскрытия контакта с пластовой водой.

Реализация указанных направлений поисковых работ на нефть и газ и предложенной методики позволит выявить нетрадиционные скопления газа на малых глубинах, запасы которых могут удовлетворить местные потребности в дешевом энергетическом сырье.

Таким образом, скопления газовых гидратов и возможные подгидратные залежи углеводородных газов в нефтегазоносных и потенциально нефтегазоносных бассейнах арктического региона могут являться альтернативным источником углеводородного сырья для обеспечения энергоносителями (в том числе бытовым газом) населенных пунктов, удаленных от магистральных газопроводов.

Список литературы

1. *Макогон Ю.Ф.* Природные газогидраты: история и перспективы / Ю.Ф. Макогон // Газовая промышленность. Спецвыпуск «РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина – 80 лет». – 2010. – № 3. – С. 106–110.
2. *Макогон Ю.Ф.* Газовые гидраты, предупреждение их образования и использование / Ю.Ф. Макогон. – М.: Недра, 1985. – 232 с.
3. *Истомин В.А.* Газовые гидраты в природных условиях / В.А. Истомин, В.С. Якушев. – М.: Недра, 1992. – 235 с.
4. *Якушев В.С.* Ресурсы и перспективы освоения нетрадиционных источников газа в России / В.С. Якушев, Е.В. Перлова, В.А. Истомин, А.В. Кузьминов и др. – М.: ИРЦ Газпром, 2007. – 151 с.
5. *Райкевич С.И.* Обеспечение надежности и высокой продуктивности газовых скважин / С.И. Райкевич. – М.: ИРЦ Газпром, 2007. – 247 с.
6. *Строение и свойства пород криолитозоны южной части Бованенковского газоконденсатного месторождения / Отв. ред. Е.М. Чувиллин.* – М.: ГЕОС, 2007. – 137 с.

7. *Полозков А.В.* Исследования глубинных геокриологических условий на месторождениях и методика выбора расстояний между кустовыми скважинами в зоне ММП / А.В. Полозков, А.Г. Потапов, Л.П. Бабичева и др. // Вопросы строительства, эксплуатации и капитального ремонта скважин: сб. науч. тр. – М.: ВНИИГАЗ, 2008. – С. 13–25.
8. *Полозков К.А.* Разработка методов контроля технического состояния скважин в криолитозоне / К.А. Полозков: автореф. дис. канд. техн. наук. – М., 2009. – 25 с.
9. Патент РФ № 2428559. Способ выявления газогидратных пород в криолитозоне / А.В. Полозков, И.А. Зинченко, Д.А. Астафьев и др. Приоритет от 11.01.2010; Оpubл. 10.09.2011, Бюл. № 25.
10. *Клейменов В.Ф.* Возможности выявления газогидратных и подгидратных залежей углеводородов / В.Ф. Клейменов, А.А. Размышляев, Д.А. Астафьев // Геология нефти и газа. – 1992. – № 6. – С. 20–23.
11. *Астафьев Д.А.* Типизация стратиграфических залежей нефти и газа / Д.А. Астафьев // Геология нефти и газа. – 1986. – № 6. – С. 26–31.
12. *Астафьев Д.А.* Размещение скважин при поисках стратиграфических залежей нефти и газа / Д.А. Астафьев // Геология нефти и газа. – 1985. – № 9. – С. 18–22.
13. *Макогон Ю.Ф.* Способ добычи нетрадиционных видов углеводородного сырья / Ю.Ф. Макогон, Ф.Л. Саяхов, И.Л. Хабибулин // Докл. АН СССР. – 1989. – Т. 306. – № 4. – С. 941–943.
14. *Никитин С.П.* Вероятные направления поисков газогидратных и подгидратных залежей газа на территории СССР / С.П. Никитин, Н.В. Черский // Геология нефти и газа. – 1987. – № 12. – С. 7–11.
15. *Клейменов В.Ф.* Роль криогидратной толщи в формировании газовых скоплений в Вилюйской синеклизе / В.Ф. Клейменов, А.В. Бубнов, В.И. Лукинов, А.Г. Разживин // Специфичность геологических условий и нефтегазоносности Сибири при выборе направлений поисково-разведочных работ. – М.: ВНИГНИ, 1985. – С. 181–189.