

УДК 622.691.2:55(571.56)

Геологическое обоснование выбора перспективных объектов для хранения природного газа, обогащенного гелием, в Якутском центре газодобычи

Е.А. Пылёв¹, Е.А. Мельников¹, И.В. Чурикова¹, А.В. Чичмарёва^{1*}, К.М. Семёнова¹, Т.Н. Малютина¹, В.Л. Бондарев¹, Н.Б. Зинова¹, О.Ю. Якушкина¹

¹ ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Российская Федерация, 142717, Московская обл., Ленинский р-н, с.п. Развилковское, пос. Развилка, Проектируемый пр-д № 5537, вл. 15, стр. 1

* E-mail: A_Chichmareva@vniigaz.gazprom.ru

Тезисы. Газ крупнейших нефтегазоконденсатных месторождений Республики Саха (Якутии) отличается высоким содержанием гелия. Начинать полномасштабную разработку этих месторождений допустимо только при условии полного его извлечения, поэтому в первую очередь требует решения вопрос о его хранении. В статье дано геологическое обоснование выбора объектов, перспективных с точки зрения создания долговременного подземного хранилища (ПХ) природного газа, обогащенного гелием (ПГОГ), в Якутском центре газодобычи (ЯЦГ).

Анализ на соответствие разработанным в ООО «Газпром ВНИИГАЗ» геологическим критериям пригодности показал, что перспективными для создания долгосрочного ПХ ПГОГ в ЯЦГ могут считаться тектонически экранированные газоконденсатные залежи хамакинского, талахского, юряхского и вилючанского горизонтов, приуроченные к отдельным блокам соответственно Чаяндинского, Тас-Юряхского и Верхневилучанского месторождений.

В последнее время на крупных месторождениях, входящих в ЯЦГ, активно проводились геологоразведочные работы, в результате которых получено большое количество новой геолого-геофизической информации: выполнена 3D-сейсморазведка; осуществляется бурение эксплуатационных и разведочных скважин, в которых проводились испытания продуктивных горизонтов; произведены отбор керн и геофизические исследования скважин. Новые данные, значительно изменившие представление о геологическом строении и запасах углеводородных месторождений, входящих в ЯЦГ, тщательно проанализированы и учтены при выборе перспективных объектов для создания ПХ ПГОГ. С учетом всей имеющейся геолого-геофизической информации сделан вывод о том, что первоочередным объектом для создания долгосрочного ПХ ПГОГ является газоконденсатная залежь хамакинского горизонта Чаяндинского НГКМ в блоках ЮЖ II-3 и ЮЖ II-4, которые рекомендуются использовать совместно.

Газ большинства месторождений Республики Саха (Якутии) отличается высоким содержанием гелия (0,1...0,56 %). Учитывая энергетическую стратегию России, начинать полномасштабную разработку этих месторождений допустимо только при условии полного извлечения гелия, а следовательно, в первую очередь требует решения вопрос о его хранении.

С целью выбора объектов, перспективных с точки зрения хранения природного газа, обогащенного гелием (ПГОГ), следует обратить внимание на такие крупнейшие месторождения Республики Саха (Якутии), как Чаяндинское, Тас-Юряхское и Верхневилучанское, приуроченные к Непско-Ботуобинской нефтегазоносной области (рис. 1). Эти месторождения находятся в пользовании ПАО «Газпром», содержат большое количество гелия и расположены в непосредственной близости от газопровода «Сила Сибири».

В первую очередь в ООО «Газпром ВНИИГАЗ» разработаны геологические критерии выбора на базе следующих показателей: герметичности залежи в вертикальном разрезе; изолированности залежи; достаточной глубины залегания пласта-коллектора (≥ 1000 м); приемлемых фильтрационно-емкостных свойств пласта-коллектора (средневзвешенная пористость ≥ 5 %, проницаемость ≥ 10 мД); оптимальных начальных запасов газа в залежи ($\geq 8,5$ млрд м³); отсутствия в газе агрессивных компонентов; наличия газового режима работы залежи [1]. Анализ на соответствие указанным критериям показал, что перспективными для создания долгосрочного подземного

Ключевые слова: природный газ, гелий, подземное хранение газа, выбор геологических объектов, Восточная Сибирь, Якутский центр газодобычи, Республика Саха (Якутия).

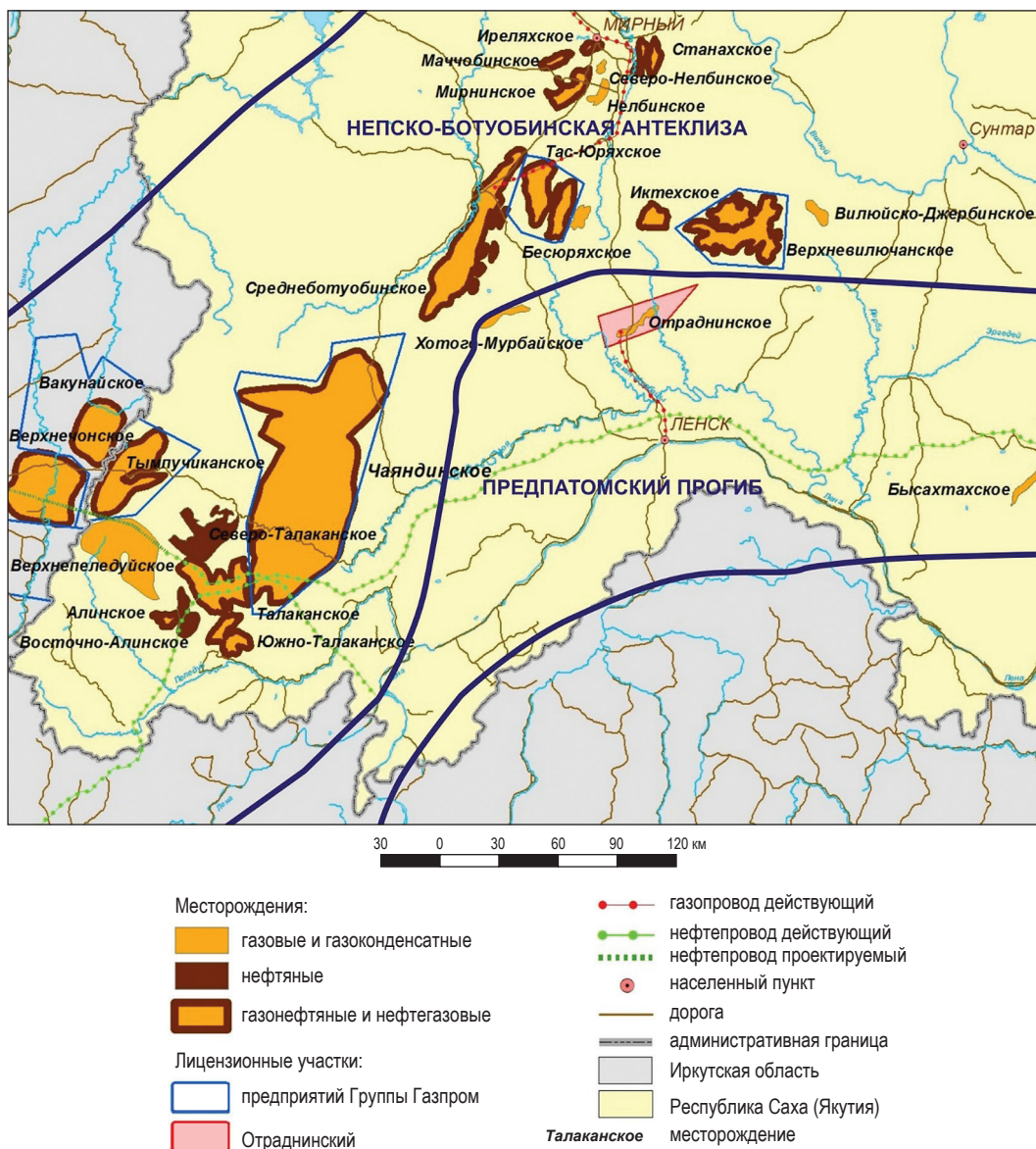


Рис. 1. Обзорная карта района работ

хранилища (ПХ) ПГОГ в Якутском центре газодобычи (ЯЦГ) могут быть тектонически экранированные газоконденсатные залежи осинского, хамакинского, талахского, юряхского и вилючанского горизонтов, приуроченные к отдельным блокам соответственно Чаяндинского, Тас-Юряхского и Верхневиллючанского месторождений.

Применительно к *Верхневиллючанскому нефтегазоконденсатному месторождению* (НГКМ) такими объектами являются залежи юряхского горизонта (пласты Ю-I и Ю-II), которые содержат основные запасы газа и нефти месторождения, а также вилючанского горизонта. Геологическое строение Верхневиллючанского НГКМ говорит о том, что

в газоконденсатных и газоконденсатнефтяных залежах пластов Ю-I (блок V) и Ю-II (блоки II или III) ПХ не будет достаточно надежным, так как эти пласты разделены маломощной глинисто-карбонатной перемычкой, которая не обеспечит герметичности хранилища при закачке в него ПГОГ (рис. 2).

Для создания ПХ ПГОГ на Верхневиллючанском месторождении перспективна газовая залежь, приуроченная к вилючанскому горизонту в блоке II. Ее параметры в основном соответствуют геологическим критериям выбора перспективных объектов для создания ПХ ПГОГ. Тип залежи – пластово-массивная тектонически экранированная. При испытании вскрывших ее скважин получены

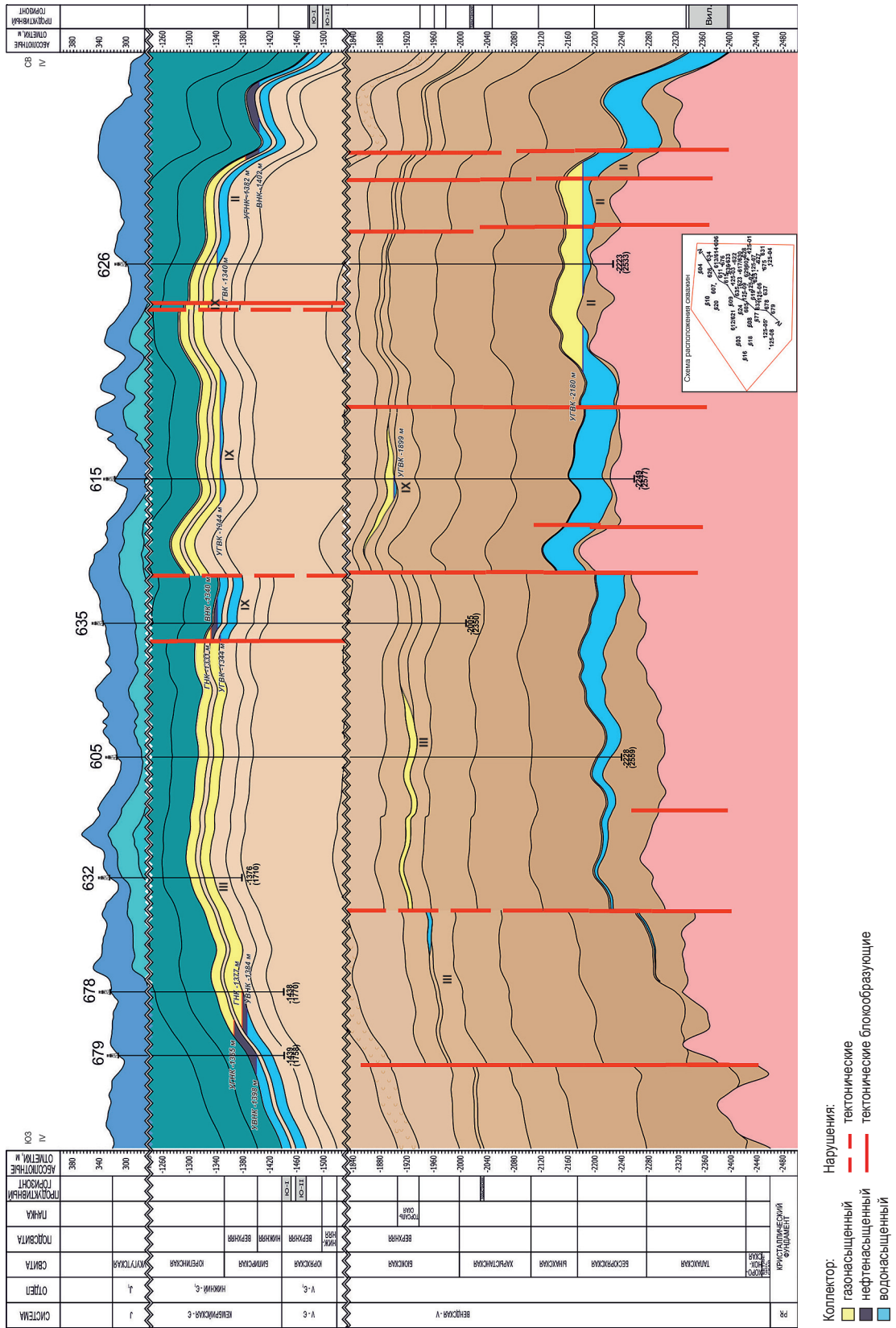


Рис. 2. Верхневилочанское НГКМ. Геологический профильный разрез по линии скв. 679 – 678 – 632 – 605 – 635 – 615 – 626 (ООО «Газпром геологоразведка», 2017 г.). Межфлюидальные контакты: ГНК – газонефтяной; УГНК, УГВК, УВНК – условные газонефтяной, газовойдяной, водонефтяной соответственно

промышленные притоки газа. Пласт-коллектор залежи представлен песчаниками, эффективные газонасыщенные толщины которых изменяются от 3,7 до 38,8 м. Значения коэффициента пористости (K_p) лежат в диапазоне 0,07...0,16, коэффициента проницаемости ($K_{пр}$) – в диапазоне 5...450 мД. Запасы газа залежи, утвержденные Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых (ГКЗ, 2003 г.) и учтенные Государственным балансом запасов РФ (по состоянию на 01.01.2018), составляют 11,5 млрд м³ по категории С₁, а подсчитанные по актуализированной модели залежи, созданной по результатам сейсморазведки 3D в 2017 г., достигли 12,3 млрд м³.

Покрышкой вилочанской газовой залежи служат довольно мощная песчано-алевролитово-аргиллитовая талахская свита (76...120 м) и толща глинистых доломитов с прослоями мергелей и аргиллитов бесюряхской и ынахской свит (141...178 м). Общая толщина флюидоупора в пределах Верхневилочанского месторождения относительно выдержана и составляет 232...282 м. Однако экранирующие свойства этой покрышки для гелия недостаточно исследованы и требуют дополнительного изучения.

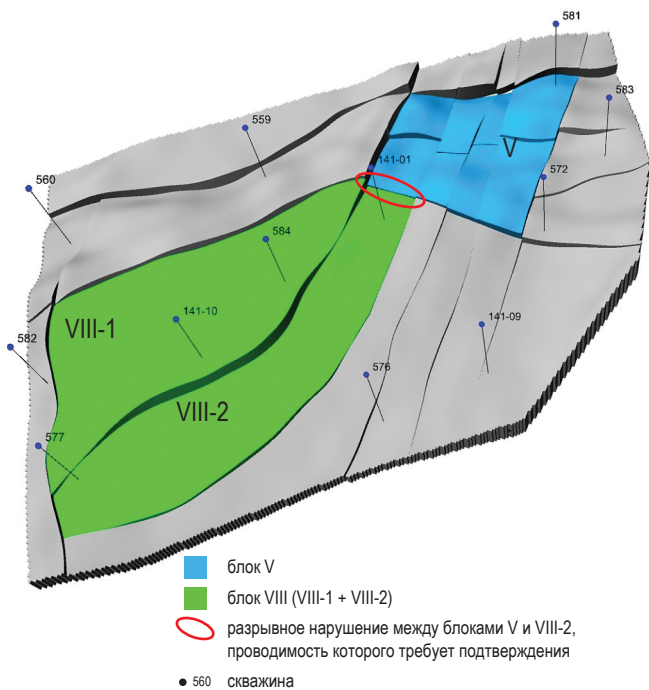


Рис. 3. Тас-Юряхское НГКМ. Трехмерная структурная модель кровли талахского горизонта (блоки VIII-1, VIII-2 и V), 2017 г.

На Тас-Юряхском НГКМ перспективным объектом для создания ПХ ПГОГ является газоконденсатная залежь, приуроченная к талахскому горизонту в границах наиболее крупного центрального блока с индексом VIII, позднее разделенного на блоки VIII-1 и VIII-2, а также блока V [2]. Расширение зоны планируемого подземного хранилища в область блока V обусловлено тем, что в результате разведочного бурения (скв. 581) подтверждения наличия непроницаемого тектонического нарушения между блоками V и VIII-2 не было получено (рис. 3).

Кровля коллектора талахского горизонта, вскрытая поисково-разведочными скважинами в границах указанных блоков, находится на абсолютных отметках минус 1600...минус 1621 м. При опробовании из этих скважин получены промышленные притоки газа. Газоводяной контакт (ГВК) залежи горизонта в пределах блоков VIII-1, VIII-2 обоснован материалами геофизических исследований скважин (ГИС) и подтвержден опробованием на гипсометрическом уровне минус 1633 м, в блоке V – на уровне минус 1630 м. В пределах блока VIII вскрыты эффективные газонасыщенные толщины талахского горизонта изменяются в диапазоне $H_{эф.г} = 11,6...25,8$ м. В блоке V залежь вскрыта только одной скважиной (скв. 581), пробуренной вблизи контура газоносности, в которой $H_{эф.г} = 8,6$ м. Средняя пористость горизонта достигает 14,3 %, средняя проницаемость – 175,6 мД. По результатам комплексного анализа керна и данных ГИС сделан вывод о достаточно высоких экранирующих свойствах пород нижней части курсовской свиты, которая является покрышкой залежи в талахском горизонте (блоки VIII-1, VIII-2 и V). Перечисленные характеристики залежи вполне соответствуют геологическим критериям выбора объектов для ПХ ПГОГ.

В 2017 г. на основе технологической схемы разработки Чайядинского НГКМ (ООО «Газпром ВНИИГАЗ», 2017 г.) и проекта его обустройства (ПАО «ВНИПИГаздобыча») принята требуемая производительность хранилища, согласно которой прогнозный объем ПГОГ для закачки в пласт составляет 9,9 млрд м³. В том же году ООО «Газпром ВНИИГАЗ» создана геологическая модель Тас-Юряхского ПХ ПГОГ по результатам геологоразведочных работ на одноименном лицензионном участке (отчет утвержден в ГКЗ).

В рамках этих работ подготовлены трехмерные геологическая (рис. 4, 5, см. также рис. 3) и газодинамическая модели залежи талахского горизонта в объеме предназначенных для ПХ ПГОГ блоков VIII-1, VIII-2 и V, а также оценены сосредоточенные в них запасы газа. В блоке VIII (VIII-1 + VIII-2) запасы газа залежи составили примерно 7,4 млрд м³, а в блоке V – 1,8 млрд м³. Суммарные запасы газа в границах указанных блоков соответствуют 9,2 млрд м³, что несколько меньше прогнозируемых объемов закачки пермеата.

Согласно расчетам, проведенным на газодинамической модели, сделан вывод о том, что проектные показатели закачки данного объема ПГОГ (9,9 млрд м³) недостижимы. Принимая во внимание повышение пластового давления и фронт распространения гелия, целесообразно прекратить закачку ПГОГ через 12 лет после начала эксплуатации этой структуры в качестве ПХ. К тому моменту в пласт удастся закачать только 3,7 млрд м³, что составляет не более 37 % от проектных показателей. Учитывая реальную возможность извлечения газа из продуктивных отложений и оставшийся недоизученным на данный момент вопрос о проницаемости тектонического нарушения между блоками VIII-2 и V, авторы пришли к заключению, что залежь талахского горизонта Тас-Юряхского НГКМ нельзя использовать в качестве долговременного ПХ ПГОГ.

Комиссия газовой промышленности по разработке месторождений и использованию недр ПАО «Газпром» (протокол № 81-з/2017 от 15.09.2017) отметила следующее: «Учитывая ограничение расчетного объема закачки пермеата, Тас-Юряхское ПХ ПГОГ возможно использовать либо как объект для временного хранения гелия, либо для хранения пермеата, полученного непосредственно из добываемого газа Тас-Юряхского и ближайших месторождений».

В 2018 г. ООО «Газпром геологоразведка» выполнен оперативный подсчет запасов УВ по открытым залежам Тас-Юряхского НГКМ, согласно которому запасы газа залежи талахского горизонта в границах интересующих нас блоков, оцененные на двухмерной модели, составили 12,6 млрд м³, что на 3,4 млрд м³ превышает запасы, подсчитанные ООО «Газпром ВНИИГАЗ» на трехмерной модели, и на 2,7 млрд м³ проектный объем закачки. Соответственно изменились и параметры

залежи ($H_{эф.г}$, $K_{п}$, $K_{пр}$). Представленные запасы еще не прошли государственную экспертизу, но после утверждения их в ГКЗ залежь талахского горизонта в пределах блоков VIII-1, VIII-2 и V (индексация блоков принадлежит ООО «Ингеосервис», ООО «Газпром ВНИИГАЗ») можно будет рекомендовать как перспективный объект для создания долгосрочного ПХ ПГОГ. Однако окончательно судить о его пригодности для хранения гелия будет возможно только после проведения расчетов на новых трехмерных геологической и газодинамической моделях этого объекта.

На *Чаяндинском НГКМ* к потенциально перспективным объектам для создания ПХ ПГОГ можно отнести газоконденсатные залежи, приуроченные к хамакинскому горизонту в блоках Саманчакинский 2 (САМ-2), Южный II-3 (ЮЖ II-3) и Южный II-4 (ЮЖ II-4).

Залежь в блоке САМ-2 в основном удовлетворяет геологическим критериям выбора перспективных объектов для ПХ ПГОГ. Газоносность залежи подтверждена результатами опробования. Значения $H_{эф.г}$ изменяются от 12 до 34 м. Средневзвешенный коэффициент пористости составляет 0,11, коэффициент газонасыщенности – 0,7. Запасы газа залежи, утвержденные ГКЗ и числящиеся на государственном балансе, составляют 58 млрд м³. Покрышкой является мощная толща аргиллитов. Геологическое строение залежи показано на плане подсчета запасов газа хамакинско-го горизонта (рис. 6) и геологическом профильном разрезе (рис. 7).

Отрицательным фактором для создания ПХ ПГОГ является то, что в хамакинском горизонте будут пробурены транзитные скважины в целях разработки залежей нижележащего талахского горизонта, а это может привести к потере герметичности перспективного для создания ПХ объекта. Исходя из сказанного, авторы полагают, что залежь в блоке САМ-2 следует исключить из списка объектов, пригодных для проектирования ПХ ПГОГ.

По геологическим критериям наиболее перспективными объектами для создания долговременного ПХ ПГОГ являются газоконденсатные залежи в блоках ЮЖ II-3 и ЮЖ II-4. В границах блоков кровля хамакинско-го горизонта находится на абсолютных отметках –1082...–1192 м, причем в районе скв. 808 в пределах газовой части месторождения установлен гипсометрический максимум

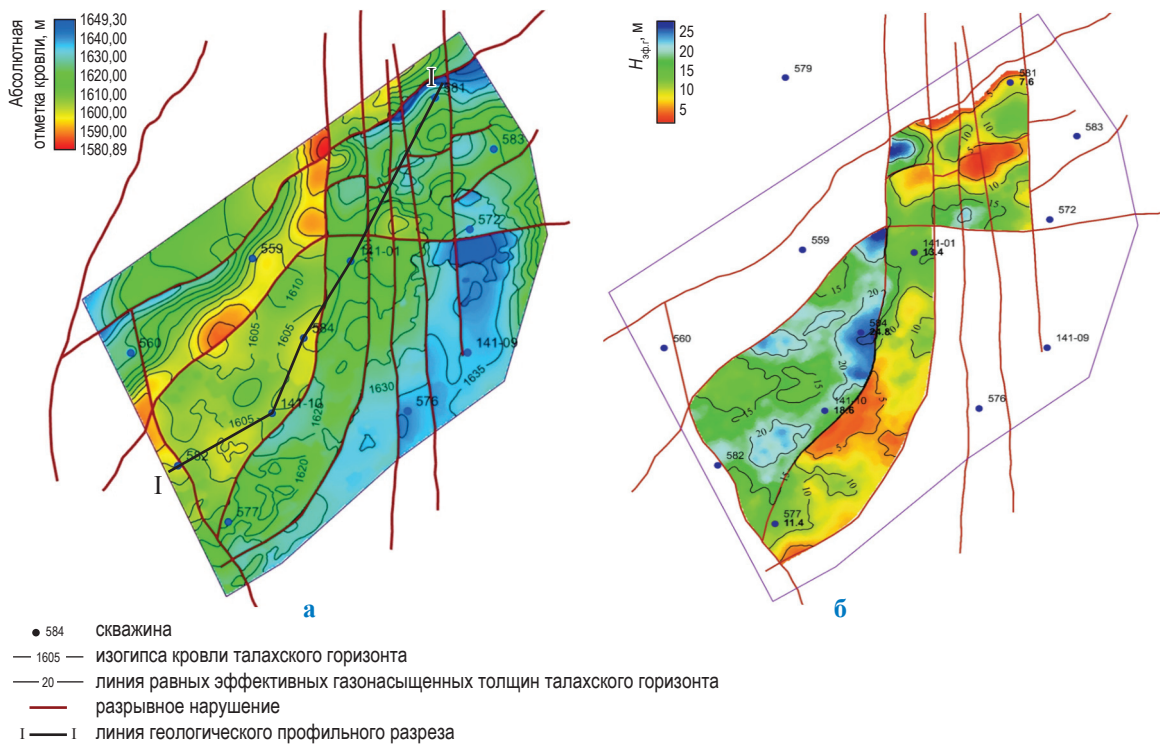


Рис. 4. Тас-Юряхское НГКМ (блоки VIII-1, VIII-2, V), талахский горизонт: а – структурная карта кровли; б – карта эффективных газонасыщенных толщин

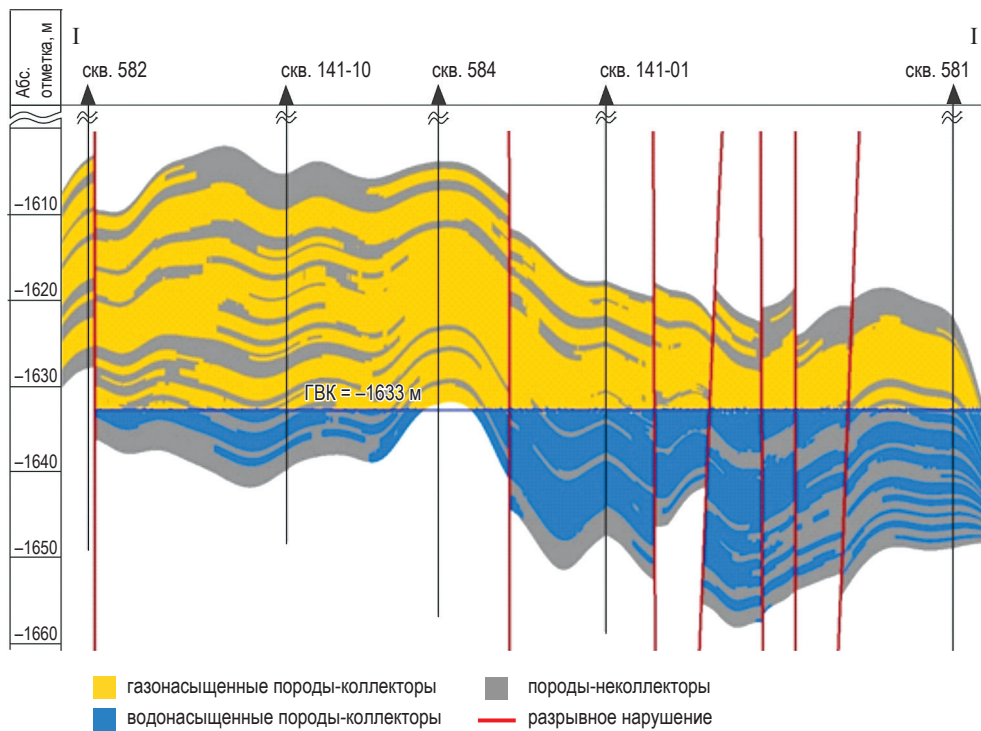


Рис. 5. Тас-Юряхское НГКМ (блоки VIII-1, VIII-2, V). Разрез куба «литология» талахского горизонта по линии скв. 582 – 141-10 – 584 – 141-01 – 581

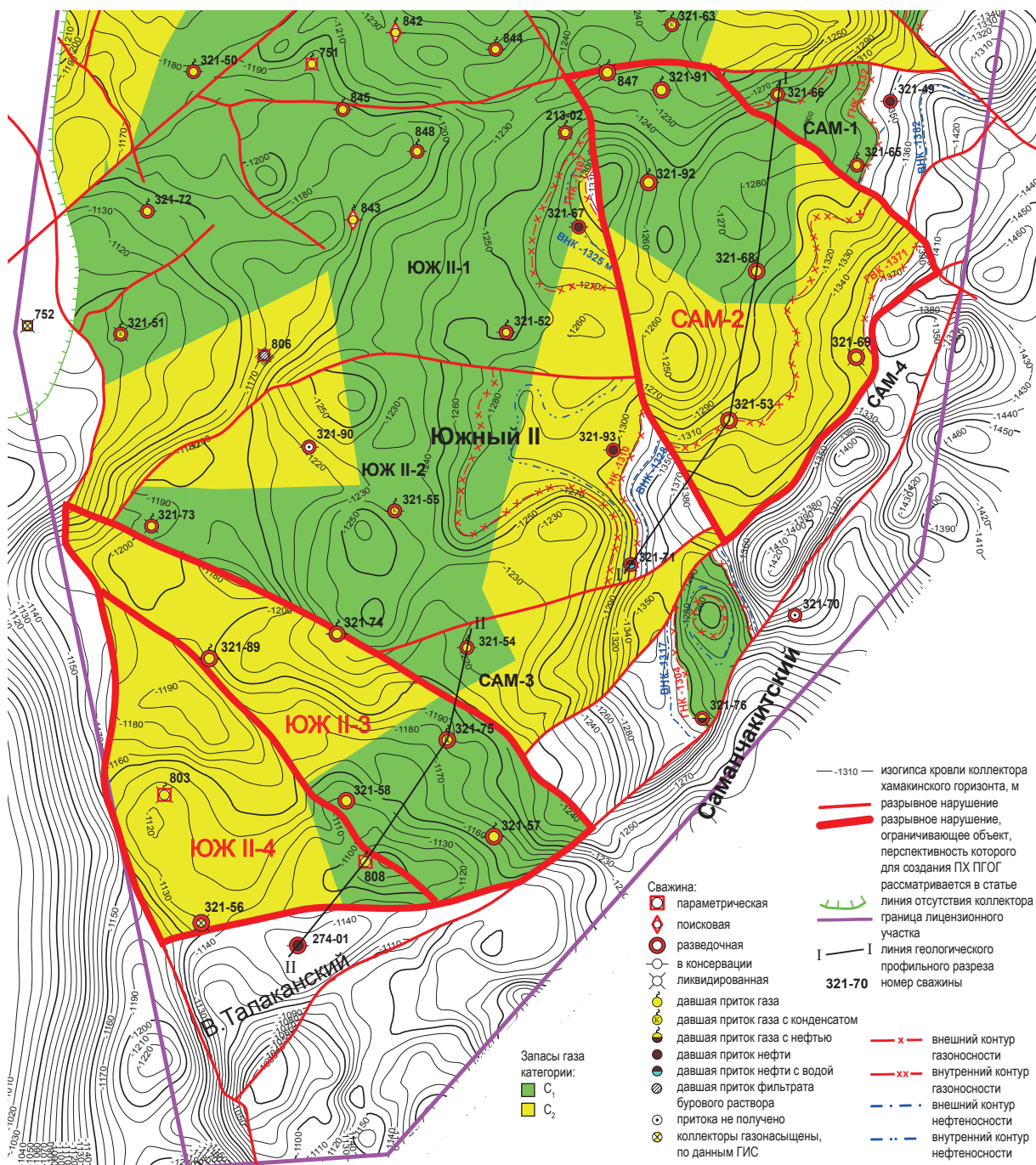


Рис. 6. Чаяндинское НГКМ. Фрагмент плана подсчета запасов газа хамакинского горизонта в границах Южного II и Саманчакитского тектонических блоков

структурной поверхности кровли коллектора этого горизонта (рис. 8, см. также рис. 6). Значения $H_{эф.г}$ изменяются от 2 до 21 м. Пласты-коллекторы имеют удовлетворительные емкостно-фильтрационные свойства ($K_{п} = 0,07...0,10$, $K_{пр} = 123$ мД). Выше хамакинского горизонта отсутствуют коллекторы в ботубинском горизонте, а залегающий ниже него по разрезу талахский горизонт водонасыщен. Объект хранения хорошо

изолирован от вышележащих пластов-коллекторов непосредственно самим флюидоупором хамакинского горизонта и мощной толщей юрегинских солей. Общая толщина пород-флюидоупоров изменяется от 66 (скв. 803) до 95 м (скв. 321-57).

Кроме того, хамакинский горизонт в блоках ЮЖ II-3 и ЮЖ II-4 является полностью газонасыщенным, что в соответствии с геологическими критериями выбора объектов

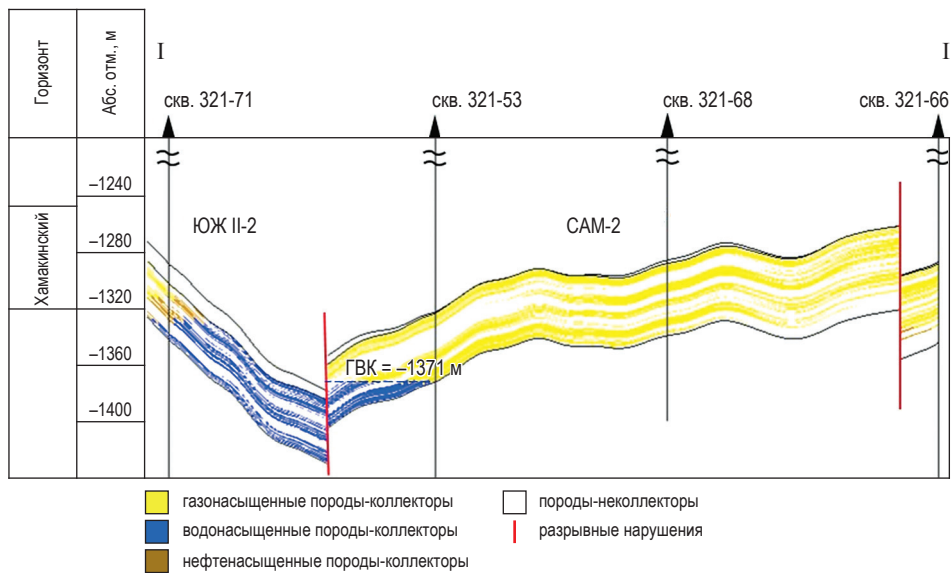


Рис. 7. Чаяндинское НГКМ. Блок САМ-2: геологический профильный разрез хамакинского горизонта по линии I-I (сква. 321-71 – 321-53 – 321-68 – 321-66)

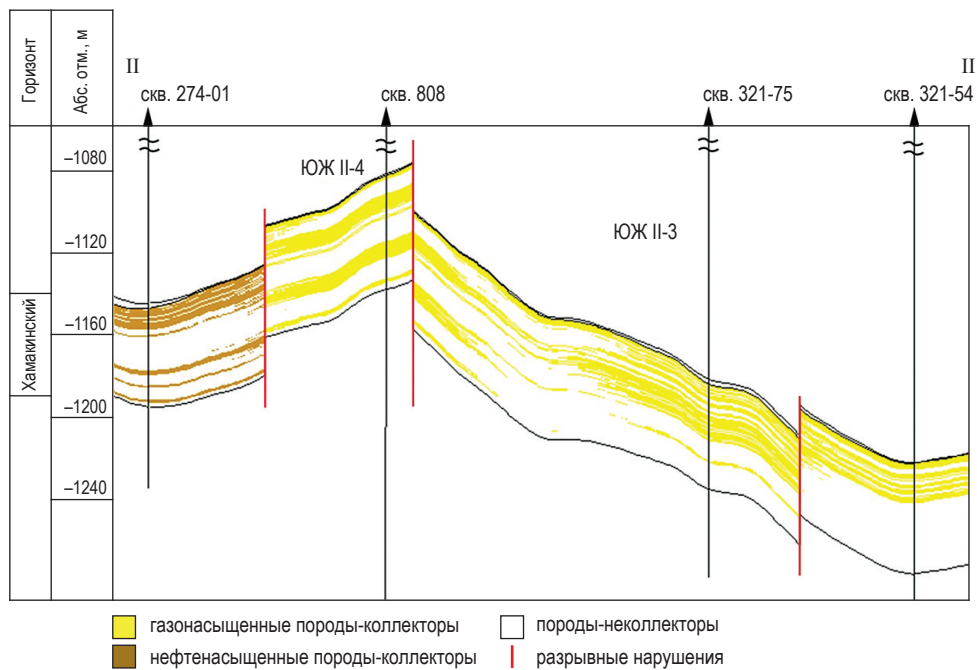


Рис. 8. Чаяндинское НГКМ. Блоки ЮЖ-II-3, ЮЖ-II-4: геологический профильный разрез хамакинского горизонта по линии II-II (сква. 274-01 – 808 – 321-75 – 321-54)

обеспечивает газовый режим работы залежи. При этом предложенная авторами для хранения ПГОГ залежь, являясь частью Чаяндинского НГКМ, расположена в непосредственной близости от производства ПГОГ и газопровода «Сила Сибири».

Запасы газа, подсчитанные в ООО «Газпром ВНИИГАЗ» и утвержденные в ГКЗ, в блоке ЮЖ II-3 составили 21 млрд м³, а в блоке

ЮЖ II-4 – 15,6 млрд м³, что в сумме для двух блоков составляет 36,6 млрд м³. В настоящее время планируется использовать процесс двухступенчатого мембранного извлечения гелия из природного газа. В этом случае в пласт объекта хранения будет закачиваться не пермеат с высокой концентрацией гелия, а ПГОГ с содержанием гелия порядка 30 %.

Экспертная оценка, выполненная специалистами ООО «Газпром ВНИИГАЗ», показала, что объем ПГОГ, подлежащего хранению в ЯЦГ, может составлять 28,8 млрд м³. Если учитывать только месторождения компаний Группы Газпром, максимальный объем ПГОГ, подлежащий хранению, будет равен 18,8 млрд м³. Это вполне соизмеримо с запасами объекта на Чаяндинском НГКМ, предложенного авторами для создания долговременного хранилища.

Таким образом, исследования, проведенные на основе всей имеющейся на сегодняшний день геолого-геофизической информации, позволили авторам сделать следующие выводы:

1) первоочередным объектом для создания долговременного ПХ ПГОГ является газоконденсатная залежь хамакинского горизонта Чаяндинского НГКМ в блоках ЮЖ II-3 и ЮЖ II-4, которые рекомендуется использовать совместно;

2) залежь газа талахского горизонта Тас-Юряхского НГКМ возможно использовать как объект для временного хранения гелия или хранения пермеата, полученного непосредственно из добываемого газа Тас-Юряхского и ближайших месторождений. Однако изменение значений параметров и увеличение запасов газа этой залежи в результате пересчета, выполненного ООО «Газпром геологоразведка» (2019 г.), дает возможность отнести ее к объектам, перспективным для долговременного хранения гелия;

3) газоконденсатную залежь вилючанского горизонта (блок 2) Верхневилючанского НГКМ можно рассматривать как перспективную для долгосрочного хранения ПГОГ только после детального изучения изолирующих свойств покрышки;

4) для повышения надежности выбора объектов ПХ ПГОГ необходимо изучить проводимость ограничивающих их разломов;

5) окончательное суждение о возможности использования предложенных объектов для хранения ПГОГ можно вынести только после проведения расчетов на их трехмерных геодинамических моделях.

Список литературы

1. Бондарев В.Л. Перспективы хранения природного газа, обогащенного гелием, в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке / В.Л. Бондарев, А.В. Чугунов, М.А. Саркисова и др. // Вести газовой науки. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2015. – № 3 (23): Проблемы разработки и эксплуатации газовых, газоконденсатных и нефтегазоконденсатных месторождений. – С. 63–67.
2. Семёнова К.М. Геолого-геодинамические условия подземного хранения гелия в терригенных отложениях венда северо-востока Непско-Ботуобинской антеклизы / К.М. Семёнова, И.В. Чурикова, А.Ю. Лопатин и др. // Вести газовой науки. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2018. – № 3 (35): Проблемы ресурсного обеспечения газодобывающих районов России. – С. 237–248.

Geological feasibility for choice of advanced subjects aimed at storing helium-enriched natural gas in the Yakut Center of Gas Production

Ye.A. Pylev¹, Ye.A. Melnikov¹, I.V. Churikova¹, A.V. Chichmareva^{1*}, K.M. Semenova¹, T.N. Malyutina¹, V.L. Bondarev¹, N.B. Zinova¹, O.Yu. Yakushkina¹

¹ Gazprom VNIIGAZ LLC, Bld. 1, Estate 15, Projektiruemyy proezd no. 5537, Razvilka village, Leninskiy district, Moscow Region, 142717, Russian Federation

* E-mail: A_Chichmareva@vniigaz.gazprom.ru

Abstract. The gas of the biggest oil-gas-condensate fields at the Republic of Sakha (Yakutia) is notable for high content of helium. Start of the full-scaled development of these fields is acceptable only in case of its complete recovery; so, a challenge of helium storing is topical. This article reveals feasibility study on selecting geological subjects suitable for creation of a long-living underground storage of natural gas enriched with helium (NGH) in the Yakut Center of Gas Production (YCGP).

Tests on conformity with the geological criteria of suitability, which had been worked out in the Gazprom VNIIGAZ LLC, testify that the tectonically screened gas-condensate deposits of Khamaki, Talakh, Yuryakh, and Vilyuchan horizons dated to the certain blocks of Chayanda, Tas-Yuryakh and Upper-Vilyuchan fields correspondingly can be the candidates for a long-living underground storage of NGH in the YCGP.

In recent years, active geological prospecting of the big hydrocarbon fields in the YCGP has given a lot of new geological information: 3D seismic data; results of productive horizons testing in wild cats and capitalized wells; core samples; well logs. New data have considerably changed concepts of YCGP geological structures and field reserves being accurately analyzed and taken into account at selection of deposits for an NGH underground storage. Considering all available geological-geophysical information, authors conclude that the primary subject for creation of a long-running underground storage of NGH in the YCGP is a gas-condensate deposit in Khamaki horizon of Chayanda field; in particular, these are the Yuzh II-3 and Yuzh II-4 blocks, which are recommended to be applied together.

Keywords: natural gas, helium, underground gas storage, choosing geological objects, Eastern Siberia, Yakut Center of gas production, Republic of Sakha (Yakutia).

References

1. BONDAREV, V.L., A.V. CHUGUNOV, M.A. SARKISOVA, et al. Outlooks for storing of helium-enriched natural gas in the Eastern Siberia and at the Far East [Perspektivy khraneniya prirodnogo gaza, obogashchennogo geliyem, v Vostochnoy Sibiri in a Dalnem Vostoke]. *Vesti Gazovoy Nauki*. Moscow: Gazprom VNIIGAZ LLC, 2015, no. 3 (23): Issues of gas, gas-condensate and oil-and-gas-condensate fields development and operation, pp. 63–67. ISSN 2306-8949. (Russ.).
2. SEMENOVA, K.M., I.V. CHURIKOVA, A.Yu. LOPATIN, et al. Geological and gas-dynamical provisions for underground storing of helium in the terrigenous Vendian sediments at the north-east of Nepa-Botuoba anticline [Geologo-gazodinamicheskiye usloviya podzemnogo khraneniya geliya v terrigennykh otlozheniyakh venda severo-vostoka Nepsko-Botuobinskoy anteklizy]. *Vesti Gazovoy Nauki*: collected scientific technical papers. Moscow: Gazprom VNIIGAZ, 2018, no. 3(35): Issues for resource provision of gas-extractive regions of Russia, pp. 237–248. ISSN 2306-9849. (Russ.).