

УДК 553.98::553.691(571.5)

## Геолого-геофизические характеристики солесодержащих флюидоупоров Сибирской платформы

А.А. Франчук<sup>1</sup>, С.Б. Коротков<sup>1\*</sup>, Е.В. Семёнова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 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: S\_Korotkov@vniigaz.gazprom.ru

### Ключевые слова:

гелий, проницаемость, каменная соль, солёносная пачка, солёносный горизонт, усольская свита, юрегинская свита, Восточная Сибирь, флюидоупор, интерпретация геофизических исследований скважин.

**Тезисы.** В связи с началом масштабного освоения крупных газовых гелийсодержащих месторождений Восточной Сибири возрос интерес к вопросам извлечения и средне-долгосрочного хранения гелия в форме метан-гелиевого концентрата. Высокой концентрацией гелия характеризуется продуктивный венд-кембрийский комплекс Восточной Сибири. Колоссальные запасы гелия, законодательное требование его обязательного извлечения и коммерческие задачи рентабельного сбыта в условиях ограниченного потребительского рынка предопределяют острую потребность в создании надёжных подземных хранилищ гелиевого концентрата. Осложняет задачу высокая проникающая способность этого инертного газа, сопоставимая лишь с водородом: подавляющее большинство покрышек залежей углеводородов способно удержать гелий лишь в течение нескольких лет или даже месяцев.

В статье приведены результаты практических научно-исследовательских работ авторов по определению геолого-петрофизической надёжности изолирующих толщ для обоснования выбора локальных структур и обустройства в них долговременных подземных хранилищ гелиевого концентрата. В ходе работ были использованы данные геофизических исследований и испытаний скважин, результаты гелиевых съёмок, петрофизических исследований ядра, фондовые и опубликованные материалы. В результате исследований выявлены некоторые интересные особенности природных гелийсодержащих углеводородных систем и получены новые данные, обсуждение которых предлагается в статье.

В настоящее время в России в связи с началом масштабного освоения крупных газовых месторождений Восточной Сибири возрос интерес к вопросам извлечения и средне-долгосрочного хранения гелия в форме метан-гелиевого концентрата. Продуктивный венд-кембрийский комплекс Восточной Сибири, характеризующийся высокой концентрацией (до 0,7 %) этого уникального газа, представляет своего рода «гелиевое эльдорадо» для нашей страны. Одновременно это создает дополнительные научно-технические и финансовые проблемы газодобывающим компаниям. Колоссальные запасы, законодательное требование обязательного извлечения, хранения и коммерческие задачи рентабельного сбыта гелия в условиях ограниченного потребительского рынка предопределяют острую потребность в создании надёжных подземных хранилищ гелиевого концентрата. Самую большую сложность в решении указанной задачи составляет уникальная проникающая способность этого инертного газа, сопоставимая лишь с проницаемостью водорода. Подавляющее большинство природных покрышек залежей углеводородов способно удержать гелиевый концентрат лишь в течение нескольких лет или даже месяцев.

Далее в статье изложены результаты исследований, выполненных авторами в области определения геолого-геофизических характеристик гелиевых флюидоупоров. В ходе работ были использованы данные геофизических исследований и испытаний скважин, результаты гелиевых съёмок и петрофизических исследований ядра, фондовые и опубликованные материалы. Выявлены некоторые интересные особенности природных гелийсодержащих углеводородных систем, но вместе с тем появились новые вопросы, которые в конце статьи предложены к обсуждению.

Как известно, гелий является бесцветным инертным одноатомным газом. Он не имеет запаха, вкуса и не вступает в химические реакции ни с одним химическим

элементом. Инертность гелия обусловлена насыщенностью внешней электронной оболочки, предельно замкнутой и максимально прочной [1]. Лишь только спектральными методами доказана возможность образования соединений гелия с атомами ртути, также есть информация о недавнем успешном синтезе водородных гидратов, что дает основание предполагать теоретическую возможность синтеза гелиевого гидрата в лабораторных условиях.

Гелий входит в нулевую группу периодической системы элементов Д.И. Менделеева вместе с неонами, аргоном, криптоном, ксеноном и радоном. Эти газы имеют много названий – инертные, безвалентные, редкие, благородные. Силы межмолекулярного взаимодействия между молекулами гелия крайне малы – меньше, чем в любом другом веществе. Поэтому гелий характеризуется самыми низкими значениями следующих величин: температуры кипения ( $-268,9$  °С), теплоты испарения и плавления. Гелий очень слабо растворим в жидкостях: его растворимость в 1 л воды при температуре  $20$  °С и давлении 1 бар составляет  $0,0089$  л, в этаноле –  $0,0028$  л при температуре  $15$  °С. Гелий также мало склонен к адсорбции. Среди газов гелий – наилучший, после водорода, проводник тепла.

Благодаря уникальным свойствам это вещество широко используется в различных областях науки и техники. Хотя по распространенности гелий – второй после водорода элемент Вселенной, на Земле этого вещества относительно немного. Здесь оно содержится в атмосфере, гидросфере и литосфере. В литосфере гелий присутствует в природных и вулканических газах, в газах минеральных источников и в некоторых минералах.

Американский геолог Дж. Шерборн Роджерс, изучив ареал распространения месторождений гелия, назвал наиболее вероятными две гипотезы происхождения гелия как подтвержденные наибольшим количеством фактических данных [2]. Согласно первой гипотезе гелий появляется благодаря наличию запасов урана и тория в пластах неподалеку от горизонтов, в которых заключены гелиеносные газы. (По подсчетам Роджерса, каждый кубический километр горных пород выделяет 3 л гелия в год.) Вторая гипотеза заключается в том, что источники гелия залегают на больших глубинах в земной коре, где он накопился на ранних стадиях жизни нашей планеты.

Роджерс формулирует аргументы за и против обеих упомянутых теорий, однако, несмотря на наличие последних, отдает предпочтение именно теории происхождения гелия из радиоактивных запасов урана и тория. К.Э. Доббин также придерживается точки зрения, что присутствие богатых гелием газов в резервуарах, расположенных в непосредственной близости от кристаллических пород, подтверждает теорию появления гелия в природных газах вследствие распада радиоактивных элементов в основных породах [3].

Поскольку убедительных доказательств в пользу какой-либо одной из гипотез до сих пор нет, вопрос о происхождении гелия в природных газах до конца не решен [2]. Тем не менее сейчас ученые склоняются к идее образования гелия в результате процесса радиоактивного распада элементов ураноториевого ряда в основных породах [1]. В действительности, большое количество гелия в гелийсодержащих минералах встречается сравнительно редко [2]. Иначе обстоит дело с такими распространенными минералами как циркон, титанит, апатит, содержащими радиоактивные элементы. Эти минералы образовывались в магматических породах, например в гранитах, а затем попадали в осадочные породы. Из отдельных зерен минерала, содержащего радиоактивные элементы в виде примесей, высвобождались ничтожные количества гелия. Гелий мигрировал к поверхности Земли и собирался в течение геологических эпох в подходящих по петрографическим свойствам пластах. Размеры таких пластов и содержание гелия в них зависят от интенсивности образования и притока гелия из подстилающих пород, способности пластов насыщаться гелием, а также непроницаемости для гелия перекрывающих гелиеносных пластов пород.

Молекула гелия имеет весьма малый диаметр, за счет чего обладает поразительной способностью быстро проникать в мельчайшие поры и трещины, сквозь тонкие перегородки из некоторых органических полимеров, фарфора, кварцевого и боросиликатного стекла. Гелий способен проникать даже через металлы. Полностью непроницаемы для него лишь некоторые металлы платиновой группы [4]. В связи с этим его свойством в природе скопления чистого гелия в недрах не образуются. Крайне высокая проницаемость и полная химическая инертность гелия в естественных условиях недр исключают возможность значительных

скоплений на локальных участках. Фактически наблюдаемые парциальные упругости гелия в пластовых флюидах в основном не превышают 0,1 МПа, т.е. они, как правило, существенно ниже величин пластовых давлений, поэтому гелий в свободную фазу выделяется только вместе с другим газом-носителем. Гелий концентрируется в природных газах и в меньшем количестве в нефтях [1].

Восточно-Сибирские регионы газодобычи, расположенные в Красноярском крае, Иркутской области и юго-западной части Республики Саха (Якутия), являются богатейшими в России и мире по содержанию гелия в природном газе. Здесь на сегодняшний день существует 31 гелийсодержащее месторождение. Часть из них с крупнейшими ( $> 200$  млн  $\text{м}^3$ ) и даже уникальными ( $> 2$  млрд  $\text{м}^3$ ) балансовыми запасами гелия (кат. А + В +  $C_1$  +  $C_2$ ) с содержанием гелия 0,11–0,67 %. Общие разведанные запасы гелия в данном регионе составляют более 11 млрд  $\text{м}^3$ . Основными гелийсодержащими месторождениями Восточной Сибири являются: в Красноярском крае – Юрубчено-Тохомское, Собинское; в Иркутской области – Ковыктинское, Дулиньминское; в Республике Саха (Якутия) – Чаяндинское, Среднеботуобинское, Тас-Юряхское, Верхневилючанское.

Общее районирование месторождений Восточной Сибири по содержанию гелия, а также границы нефтегазоносных районов представлены на рис. 1. В пределах юга Сибирской платформы по подготовленным к освоению запасам и прогнозным ресурсам выявлена крупнейшая газогелиевая провинция. Ей нет аналога в пределах всего Евро-Азиатского континента [5]. Важно отметить, что в отличие от американских и европейских гелийсодержащих месторождений, в значительной мере исчерпанных, восточносибирские практически не начали осваиваться и их промышленные запасы продолжают наращиваться.

Осадочный чехол в нефтегазоносных областях Восточно-Сибирского региона представлен терригенно-карбонатными средневерхнерифейскими, вендскими, а также терригенно-карбонатно-соленосными кембрийскими породами. Также присутствуют карбонатно-терригенные ордовикские, терригенные силурийские, карбонатно-терригенные, местами галогенные девонские, терригенные (с прослоями углей) каменноугольно-пермские,

туфогенные и туфогенно-осадочные триасовые, терригенные (с прослоями углей) юрские отложения и породы четвертичного возраста [6]. Основными стратиграфическими подразделениями указанных систем являются местные свиты, часто имеющие разные наименования, но коррелируемые между собой соответственно возрасту [7]. Промышленная нефтегазоносность на Сибирской платформе связана с отложениями рифей-венд-кембрийского комплекса.

Вендская система представлена двумя отделами – нижним и верхним, породы которых характеризуются значительными фациальными вариациями как по площади, так и по разрезу [7]. Нижний венд включает ряд свит, приуроченных к различным структурно-фациальным зонам. Они слагаются в основном терригенными отложениями: конгломератами, песчаниками, алевролитами, аргиллитами и известняками. Мощность свит изменяется от 0 до 1300 м. Верхний венд повсеместно распространен на юге Сибирской платформы в полном или частичном объеме в составе свит, распространенных в разных структурно-фациальных зонах. Нижняя часть верхневендских отложений сложена преимущественно терригенными образованиями: разнозернистыми песчаниками, конгломератами, алевролитами и аргиллитами. Выше залегают доломиты, ангидритодоломиты, мергели с прослоями аргиллитов, алевролитов, реже песчаников. Мощность отдела колеблется от 165 до 870 м.

Кембрийская система представлена нижним и средним отделами [6, 7]. Нижний кембрий слагается свитами и сериями, отличающимися значительной литолого-фациальной изменчивостью: усольской, бельской, булайской, ангарской, литвинцевской (нижняя часть) и их аналогами. Средний кембрий включает верхнюю часть литвинцевской серии, верхоленскую свиту и их аналоги. Разрез кембрия представляет собой циклическое переслаивание каменной соли, карбонатных пород с прослоями ангидритов и ангидритодоломитов с включениями глин. Мощность системы колеблется в широких пределах от 1500 до 3000 м.

Общезвестно, что в процессах формирования и сохранения скоплений природного газа существенную роль играют экранящие породы-покрышки. Вместе с тем это утверждение считается настолько аксиоматичным, что в ходе поисков, разведки и доразведки

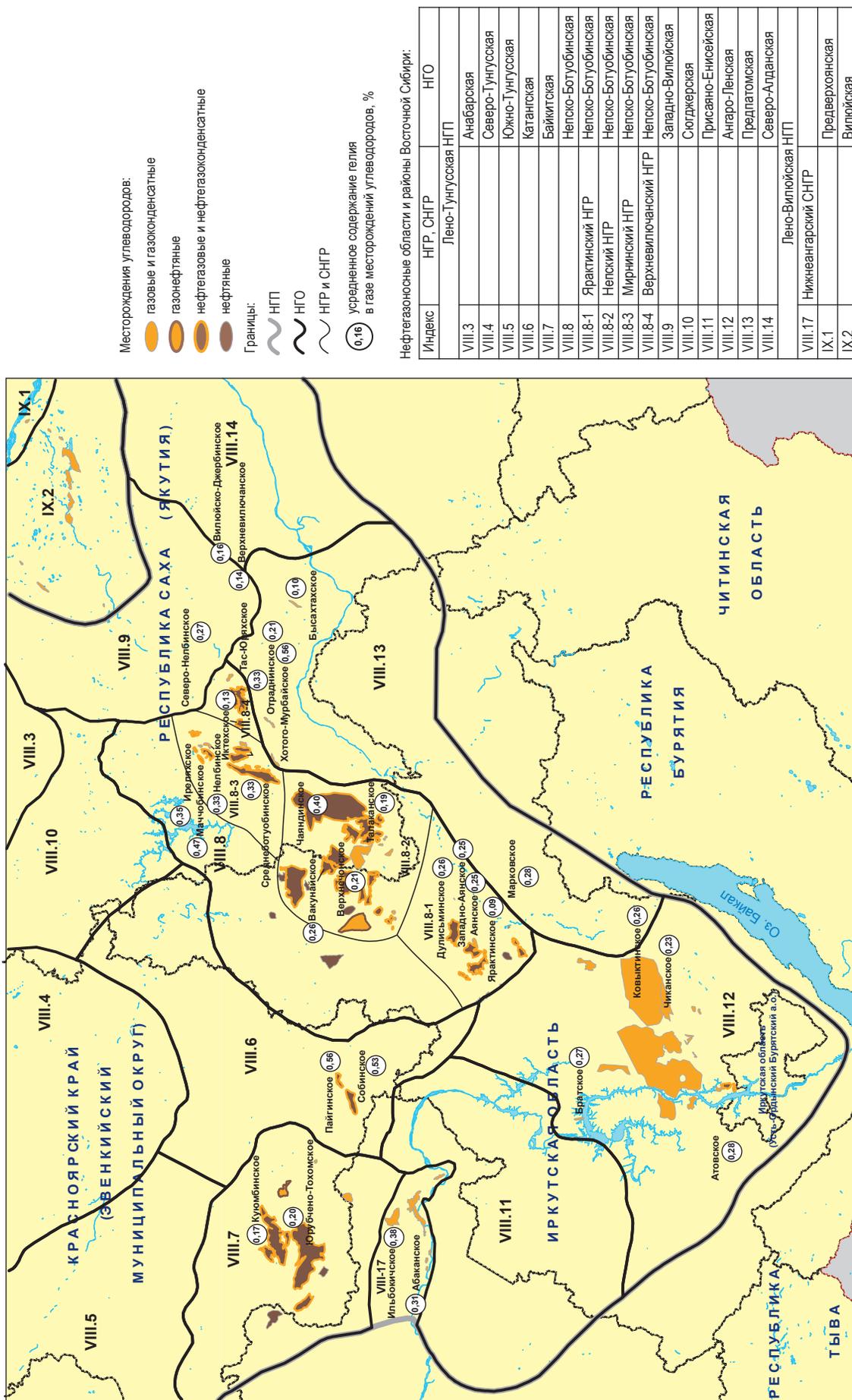


Рис. 1. Схема размещения месторождений углеводородов Восточной Сибири с разным содержанием гелия в газе (с использованием материалов ФБУ «ВНИГНИ»); НПГ – нефтегазоносная провинция; НПГ – нефтегазоносный район; СНГР – самостоятельный район; НГО – нефтегазоносная область

газовых и еще в большей степени нефтяных залежей исследования петрофизических, геофизических и геолого-структурных свойств флюидоупорных толщ практически не проводятся. Специальные геофизические исследования или методы испытания скважин, ориентированные на изучение строения субгоризонтальных флюидоупоров непосредственно в пласте, авторам неизвестны. Если же газ гелиенасыщен, то в связи с уникальной проникающей способностью гелия, отмеченной ранее, к герметичности покрышек необходимо проявлять серьезный интерес. Для геолого-технологической оценки залежи на предмет возможности создания в ней долгосрочного хранилища гелия необходимо определять количественные и качественные критерии ее герметичности.

В пределах изучаемой территории экраннующие формации нефтегазовых залежей имеют глинистый (вилючанский, нижненепский и верхненепский резервуары), глинисто-карбонатный (нижненепский, тирский, нижнеданиловский, среднеданиловский и верхнеданиловский резервуары), галогенно-карбонатный (тирский и верхнеданиловский резервуары), карбонатно-галогенный (усольский, толбачанский, олекминский и наманский резервуары) и терригенно-сульфатно-карбонатный (тирский резервуар) литологический состав [8]. Наибольший практический интерес представляют галогенно-карбонатные и карбонатно-галогенные экраннующие горизонты. Каменная соль является слабопроницаемой породой для гелия. Об этом свидетельствуют многие ее свойства, такие как пластичность, высокая плотность, низкая гидравлическая проводимость, очень малая пористость, а также низкий коэффициент диффузии гелия. Вопрос диффузии гелия в каменной соли и транспорте гелия в соляных пластах рассмотрен подробно в статьях С.А. Хана, В.Ю. Траскина, З.Н. Скворцовой и др. (2010 г., 2011 г.).

Глинистые (точнее аргиллитовые) экраны, достаточно эффективные для гораздо более тяжелых углеводородных газов и нефти, вряд ли могут служить надежными гелиевыми флюидоупорами, несмотря на положительные результаты петрофизических исследований на небольших образцах, прежде всего, из-за низкой пластичности в данном регионе и множества субвертикальных тектонических и «интрузивных» нарушений.

Для анализа информации и составления общей картины распространения пластов каменной соли на территории Восточно-Сибирского региона собран фактический материал – результаты геофизических исследований скважин (ГИС) по основным гелийсодержащим месторождениям района, принадлежащим Группе Газпром. При интерпретации данных ГИС соль выделялась во всем интервале глубин, охваченных геофизическими исследованиями. На каротажных кривых отмечено повсеместное сильное расчленение соленосного интервала на отдельные пропластки соли, чередующиеся с карбонатными и аргиллитными прослоями. Следует отметить, что данные испытаний межсолевых интервалов характеризуют карбонатные прослои с чрезвычайно высокой концентрацией рапных растворов – более 600 г/л. Для упрощения модели пласты и пропластки каменной соли объединялись в крупные пачки. По каждому изучаемому месторождению были выделены по две-три пачки (рис. 2). Для каждой пачки определялись количественные характеристики: мощность, количество соляных пропластков, суммарная мощность каменной соли, коэффициент эффективности (рис. 3). Эти характеристики в дальнейшем использовались для определения степени герметичности покрышки в случае использования залегающих ниже пластов для закачки и хранения гелиевого концентрата.

Тщательный анализ полученных результатов показал, что самым перспективным соленосным горизонтом в качестве возможного экрана для создания подземного хранилища гелиевого концентрата в Восточно-Сибирском регионе являются соленосные формации усольской свиты кембрийской системы и ее аналога – юрегинской свиты.

Вся кембрийская соленосная формация состоит из чередования пачек каменной соли и пластов, сложенных несолевыми, в основном карбонатными и сульфатными, породами, закономерности изменения состава которых различны. Соленосная пачка усольской свиты и ее аналогов охватывает почти всю территорию Восточной Сибири. Наибольшая мощность пачки приурочена к району Красноярского края (до 1000 м в Абаканском газовом месторождении). На остальной территории Восточной Сибири мощность соляной пачки варьируется в среднем от 193,6 м (Тас-Юряхское нефтегазоконденсатное месторождение) до 656,3 м

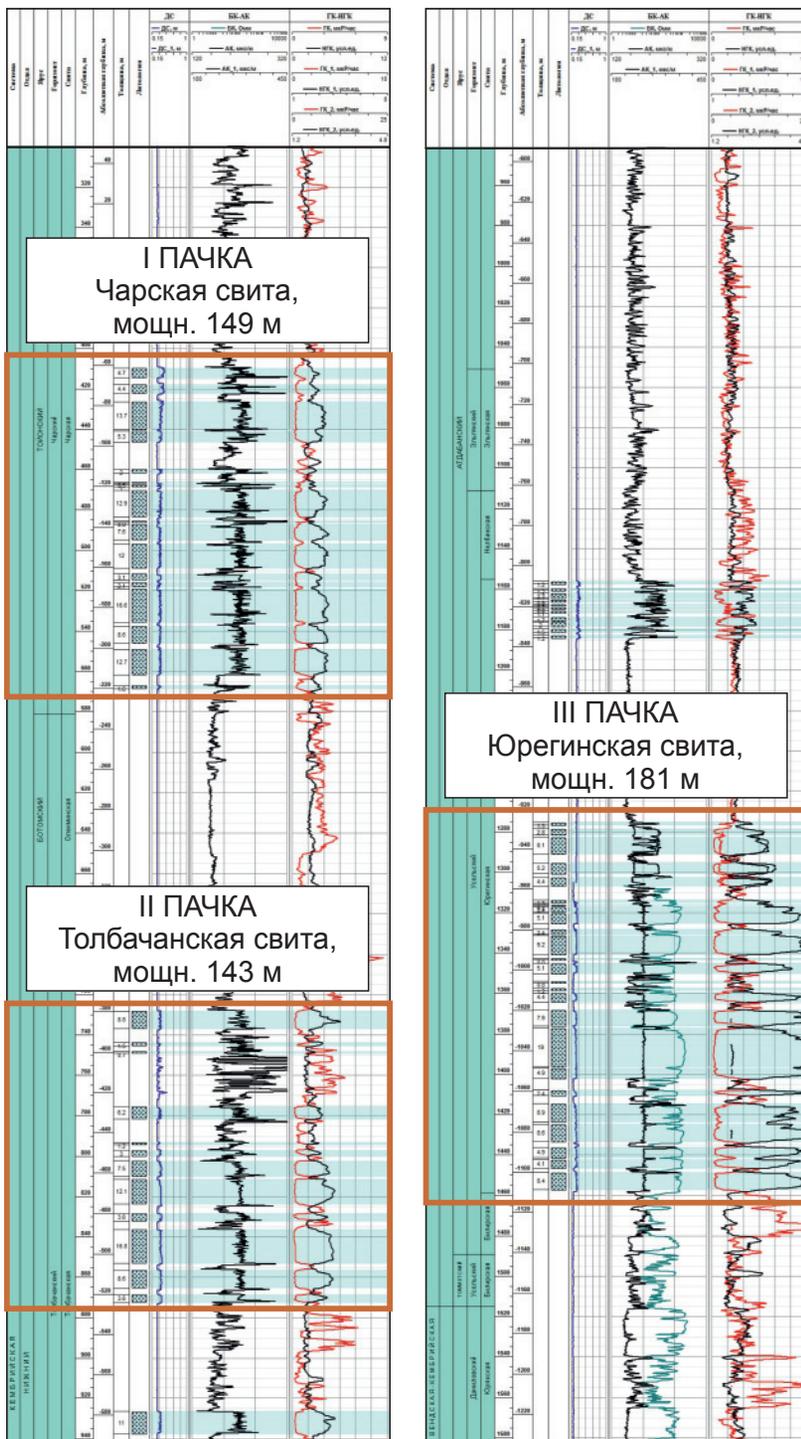


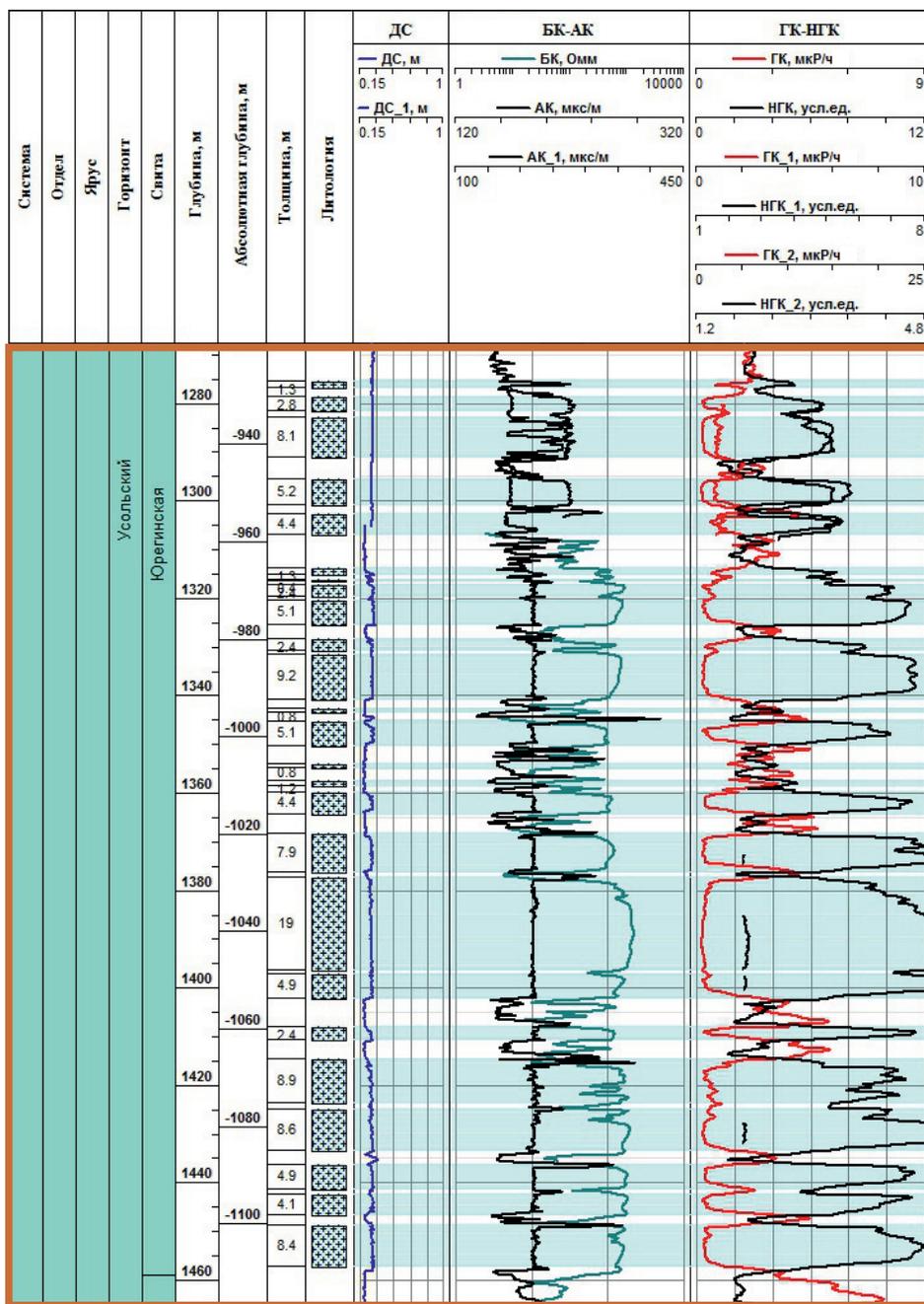
Рис. 2. Выделение соленосных пачек в разрезе скв. 141-10 Тас-Юряхского месторождения.

Каротаж: АК – акустический; БК – боковой; ГК – гамма; НГК – нейтронный гамма; ДС – кавернометрия

(Ковыктинское и Чиканское газоконденсатные месторождения). Состав пачки характеризуется преимущественно развитием каменной соли с множеством пластов несоляных, в основном карбонатных, пород.

По всем рассматриваемым месторождениям составлены корреляционные схемы

усольской (юрегинской) свиты (рис. 4), чтобы проследить распределение пластов каменной соли в пределах месторождения. На основании проведенных исследований региональных и локальных флюидоупоров сделан вывод о достаточной надежности соленосных пачек, перекрывающих пласты-коллекторы.



**Рис. 3. Количественные характеристики юрегинской соленосной пачки в разрезе скважины Тас-Юряхского месторождения: мощность – 181 м; количество соляных пластов – 25 (суммарная мощность – 124 м); максимальная мощность соляного пласта – 19 м; коэффициент эффективности соли – 69 %**

Вместе с тем остается ряд вопросов, ответы на которые не были найдены авторами в научных публикациях. Так, открытым остается вопрос глубинной миграции и аккумуляции гелия в газовой среде углеводородных залежей. Учитывая большую разницу молекулярного веса гелия (4,002602(2) г/моль) и метана (16,04 г/моль), непонятно, почему в геологическом периоде времени (десяtkи-сотни тысяч лет) не происходит сепарации гелия

и не формируется метаногелиевый контакт (МГК). Концентрация гелия в углеводородных газах в пределах конкретного месторождения по всему вертикальному интервалу коллектора примерно одинакова (по опубликованным данным).

Следующий неясный момент – надежность выявленных флюидоупоров не для гелийсо-держущих газов, а для гелиевого концентрата (с содержанием гелия до 20–40 %). Несмотря



на то что исследованные образцы керна оказались достаточно надежными изоляторами, пачка пластов соли может оказаться недостаточно надежным локальным флюидоупором для обогащенной смеси. Также открытым остается вопрос о месте обогащения углеводородных газов гелием: непосредственно в ловушке, в процессе вертикальной миграции или в зонах образования?

Необходимо отметить, что до сих пор в ходе геологоразведочных работ не применяется специальный комплекс исследований (сейсмика, ГИС и пр.), нацеленные на детальное исследование строения флюидоупоров Восточной

Сибири. Существующие фундаментальные труды датируются, как правило, 1970–1980 гг.

Создание крупных подземных хранилищ метаногелиевого концентрата является на сегодняшний день одной из важнейших задач освоения Группой Газпром уникальных гелийсодержащих месторождений Сибирского и Дальневосточного федеральных округов. Рациональное же освоение восточносибирских недр потребует в ближайшие годы осуществления работ по созданию и внедрению новых методик и технологий исследования пород-покрышек на герметичность.

### Список литературы

1. Якуцени В.П. Геология гелия / В.П. Якуцени. – Л.: Недра, 1968. – 232 с.
2. Кеезом В.Х. Гелий / В.Х. Кеезом. – М.: Иностранная литература, 1949. – 542 с.
3. *Geology of natural gas* / edited by Henry A. Ley. – London: American Association of Petroleum Geologists, 1935. – DOI: 10.1306/SV7335.
4. Якуцени В.П. Традиционные и перспективные области применения гелия / В.П. Якуцени // Нефтегазовая геология. Теория и практика / ВНИГРИ. – [http://www.ngtp.ru/rub/3/5\\_2009.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/3/5_2009.pdf)
5. Конторович А.Э. Сырьевая база и перспективы развития гелиевой промышленности России и мира / А.Э. Конторович, А.Г. Коржубаев, Л.В. Эдер // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2006. – № 2. – С. 17–24.
6. Конторович А.Э. Геология нефти и газа Сибирской платформы / под ред. А.Э. Конторовича, В.С. Суркова, А.А. Трофимука. – М.: Недра, 1981. – 561 с.
7. Бутковский Ю.М. Районирование территории Восточно-Сибирского соленосного бассейна по условиям создания подземных хранилищ природного газа, гелия и жидких углеводородов в каменной соли / Ю.М. Бутковский, М.А. Жарков, В.Б. Сохранский и др. // Наука и техника в газовой промышленности. – 2004. – № 3. – С. 56–61.
8. Конторович А.Э. Иркутский бассейн / А.Э. Конторович, Н.В. Мельников, Л.Л. Кузнецов и др. // Нефтегазовые бассейны и регионы Сибири. – Новосибирск, 1995. – Вып. 8. – 60 с.

## Geological-geophysical characteristics of the salt-bearing fluid traps at Siberian Platform

A.A. Franchuk<sup>1</sup>, S.B. Korotkov<sup>1\*</sup>, Ye.V. Semenova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Gazprom VNIIGAZ LLC, Bld. 1, Estate 15, Projektiruemyy proezd # 5537, Razvilka village, Leninsky district, Moscow Region, 142717, Russian Federation

\* E-mail: S\_Korotkov@vniigaz.gazprom.ru

**Abstract.** Nowadays, due to the start of large-scale development of the big helium-containing gas fields in Eastern Siberia, an interest grows in Russia to the issues of recovery, and middle- and long-term storage of helium in a form of methane-helium concentrate. A productive Eastern Siberia complex of Vendian-Cambrian sediments being characterized with high concentration of this unique gas is somewhat like domestic helium Eldorado. It is important that unlike the American and European helium-bearing fields, which are rather exhausted now, development of the helium-bearing fields in Eastern Siberia is at an initial stage. Simultaneously it creates the additional scientific and engineering problems for gas producers. The huge helium reserves, a statutory requirement for its obligatory recovery, and commercial tasks of its profitable sales in conditions of limited consumer market predetermine critical necessity for creation of reliable underground storages for helium concentrate. Realization of this task is greatly complicated by the high penetrability of this inertial gas, which could be compared only with the penetrability of hydrogen. The most covers of hydrocarbon deposits are able to hold helium only for few years or even months.

The article reveals results of authors' practical scientific studies aimed at determination of geological and petrophysical reliability of sealing thicknesses in order to substantiate selection of local structures for arrangement of underground helium concentrate storages. In course of works the well logs and well test data, results of helium

surveys and petrophysical core tests, as well as archive and published materials were used. Finally, some interesting peculiarities of natural helium-bearing hydrocarbon systems were discovered. Also new data were obtained. At the end of the article these results are suggested for discussion.

**Keywords:** helium, permeability, rock salt, salt-bearing unit, salt-bearing horizon, Ussolye suite, Yureginskaya suite, Eastern Siberia, fluid trap, interpretation of well logs.

#### References

1. YAKUTSENI, V.P. *Helium geology* [Geologiya geliya]. Leningrad: Nedra, 1968. (Russ.).
2. KEESOM, W.H. *Helium*. Transl. from English. Moscow: Inostrannaya literatura, 1949. (Russ.).
3. LEY, Henry A. (Ed.). *Geology of natural gas*. London: American Association of Petroleum Geologists, 1935. Available from: DOI: 10.1306/SV7335.
4. YAKUTSENI, V.P. Traditional and promising applications of helium [Traditsionnyye i perspektivnyye oblasti primeneniya geliya]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika* [online]. ISSN 2070-5379. (Russ.). Available from: [http://www.ngtp.ru/rub/3/5\\_2009.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/3/5_2009.pdf)
5. KONTOROVICH, A.E., A.G. KORZHUBAYEV and L.V. EDER. Raw helium sources and outlooks for development of the helium industry in Russia and in the World [Syryevaya basa i perspektivy razvitiya geliyevoy promyshlennosti Rossi i mira]. *Mineralnyye resursy Rossii. Ekonomika i upravleniye*. 2006, no. 2, pp. 17–24. ISSN 0819-3188. (Russ.).
6. KONTOROVICH, A.E., V.S. SURKOV, A.A. TROFIMUK (Eds.). *Oil and gas geology of Siberian Platform* [Geologiya nefti i gaza Sibirskoy platformy. Moscow: Nedra, 1981. (Russ.).
7. BUTKOVSKIY, Yu.M., M.A. ZHARKOV, V.B. SOKHRANSKIY et al. Terrain zoning of Eastern-Siberian salt-bearing basin according to conditions for creation of rock-salt underground storages for natural gas, helium and liquid hydrocarbons [Rayonirovaniye territorii Vostochno-Sibirskogo solenosnogo basseyna po usloviyam sozdaniya podzemnykh khranilish prirodnogo gaza, geliya i zhidkikh uglevodorodov v kamennoy soli]. *Nauka i tekhnika v gazovoy promyshlennosti*. 2004, no. 3, pp. 56–61. ISSN 2070-6820. (Russ.).
8. KONTOROVICH, A.E., N.V. MELNIKOV, L.L. KUZNETSOV et al. Irkutsk basin [Irkutskiy basseyn]. *Neftegazonosnyye basseyny i region Sibiri*. Novosibirsk, 1995, iss. 8. (Russ.).