

УДК 546.291

С.К. Мустафин¹, А.Н. Трифонов², К.К. Стручков³

¹Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа;

²Ленинградский государственный университет
им. А.С. Пушкина, г. Санкт-Петербург;

³Северо-Восточный федеральный университет
им.М.К. Аммосова, г. Якутск.

СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ОСВОЕНИЯ ГЕОЛИЕНОСНЫХ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ РЕГИОНОВ

Проблема гелиеносности объектов углеводородного сырья (УВ) нефтегазоносных провинций Российской Федерации рассмотрена на основании сопоставления комплекса базовых геологических параметров. Результаты анализа предлагаются для проведения прогнозирования и оценки промышленной гелиеносности.

Ключевые слова: гелий, углеводородное сырьё, нефтегазоносные провинции, породы-коллекторы, геологический возраст, залежи УВ.

DOI: 10.17072/chirvinsky.2023.161

Гелий сегодня является одним из наиболее востребованных на мировом рынке минерального сырья видом полезных ископаемых. Уникальные свойства гелия марок «А» (содержание гелия не менее 99,995 %) и «Б» (не менее 99,990 %) используются в криогенной технике, для создания инертной и регулируемой воздушной среды, при плавке, резке и сварке металлов, в газовой хроматографии, для охлаждения ядерных реакторов, в научных экспериментах, в космических и военных технологиях, в теченоскаталях и др.

Экспертная оценка уровня добычи гелия и состояния его ресурсной базы в группе основных стран-производителей по состоянию на 2022 г дала следующие результаты (ежегодная добыча в млн м³/общие ресурсы в млн м³): США - 71/8500; Катар – 51/н. д; Алжир – 14/1800; Россия – 9/1700; Австралия 4/н. д.; Польша – 1/24; Китай – 1/н. д. [12].

Современная добыча гелия осуществляется в основном на нефтегазоконденсатных (НГКМ) и газоконденсатных (ГКМ) месторождениях из природного и попутного углеводородных газов.

УВ месторождений условно делится на бедное (0,02% - 0,05% от общего объема природного газа), богатое (0,05% - 0,3%), весьма богатое

(0,3% - 1%), уникально богатое (более 1%) [3]. При этом рекомендуемые минимальные промышленные концентрации гелия как попутного компонента в свободном газе и газе газовых шапок не ниже 0,05 об. %, а в растворённом газе – 0,035% (Таблица 1) [4].

Таблица 1

Рекомендуемые минимальные промышленные концентрации гелия и других попутных компонентов в свободном и растворённом газах месторождений УВ [4]

Основное или попутное полезное ископаемое	Попутные компоненты	Промышленная концентрация
Свободный газ и газ газовых шапок	Гелий	0,05 %
	Этан	3 %
	Сероводород	0,5 %
	Диоксид углерода	15%
Растворенный газ	Гелий	0,035 %
	Этан	3 %
	Пропан-бутаны	0,9 %
	Сероводород	0,5 %

На территории РФ известны 176 месторождений гелийсодержащего природного газа. Исследования геологии и геохимии гелия позволили составить Схему гелиеносности природных газов нефтегазоносных бассейнов РФ (рис.1) [11].

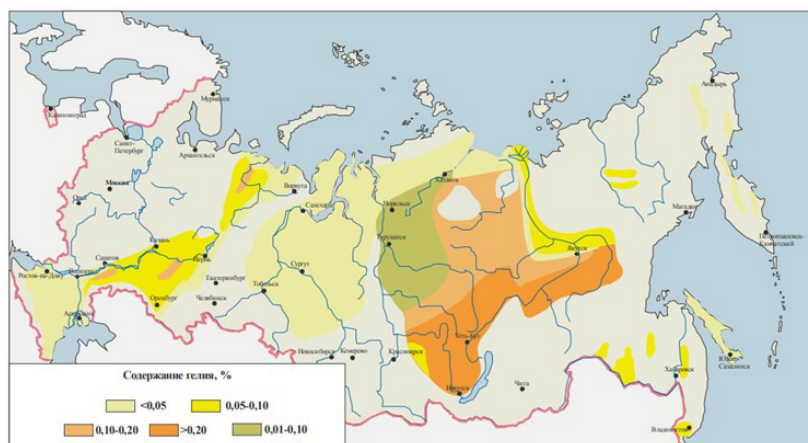


Рис. 1. Схема гелиеносности природных газов нефтегазоносных бассейнов РФ [11]

Традиционными регионами гелийсодержащего углеводородного сырья РФ являлись Оренбургская область с Оренбургским нефтегазоконденсатным месторождением (ОНГКМ) и единственным в РФ гелиевым заводом действовавшим до 2020 г., а также Астраханская область (Астраханское газоконденсатное месторождение (ГКМ)).

Современные стратегические перспективы гелиевой промышленности РФ связаны с новыми объектами Непско-Ботуобинской нефтегазоносной области (НГО) Лено-Тунгусско-нефтегазоносной провинции (НГП) - нефтегазоконденсатным Талаканским и газоконденсатными Чаюдинским, Тас-Юряхским, Верхневилучанским и др. месторождениями Республики Саха (Якутия) (далее РС(Я)), Ковыктинским газоконденсатным месторождением (Иркутская область) и строящимся Амурским газоперерабатывающим заводом (АГПЗ).

Все известные месторождения углеводородного сырья (УВ) Оренбургской области, включая уникальное ОНГКМ относятся к Волго-Уральской нефтегазоносной провинции (ВУНГП) Российской Федерации (РФ).

Начальные суммарные ресурсы (далее НСР) нефти территории оцениваются в 2,3 млрд т, свободного газа – 3 273 млрд м³.

Промышленная нефтегазоносность установлена в отложениях D, C и P1 комплексов. Типы ловушек УВ разнообразны от структурных, литологически и стратиграфически экранированных до рифовых.

В недрах региона учтены 8 газовых, 7 газоконденсатных, 2 нефтегазовых, 21 газонефтяных, 18 нефтегазоконденсатных месторождений с запасами свободного газа по категориям А+В1+С1 – 517,089 млрд м³. Газ различается по составу и содержанию попутных компонентов. Извлекаемые запасы свободного газа ОНГКМ категорий А+В1 составляют 435,587 млрд м³; в 2020 г. добыто 13,438 млрд м³ (Рисунок 2).

На 25 месторождениях учтены запасы конденсата; на 14 запасы этана, пропана и бутанов; на 18 - запасы гелия и на 38 - сероводородсодержащего газа. В 7 газоконденсатных и 18 нефтегазоконденсатных месторождениях общие запасы конденсата категорий А+В1+С1 оценены в 21,714 млн т; а добыча 2020 г составила 0,152 млн т.

Текущие извлекаемые запасы гелия категорий А+В1 учтены на ОНГКМ в объеме 337,905 млн м³ (2,57% от РФ). Кроме Оренбургского гелиевого завода в мире нет примеров промышленного производства гелия со столь малым его содержанием (0,04 об.%) в сырье. В УВ газах объектов Республик Башкортостан и Удмуртия содержится 0,1–0,2 об. % гелия [9].

П Р И В О Л Ж С К И Й Ф Е Д Е Р А Л Ь Н Ы Й О К Р У Г
О Р Е Н Б У Р Г С К А Я О Б Л А С Т Ъ
КАРТА ОСНОВНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ,

увязанная с Государственным кадастром месторождений и проявлений полезных ископаемых и Государственным балансом запасов РФ. Горючие ПИ

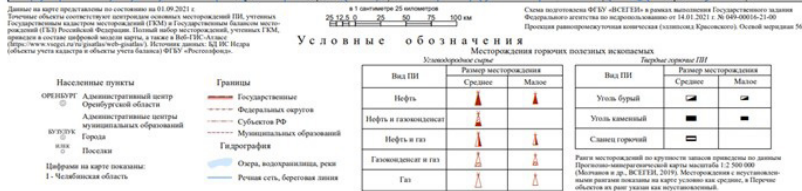
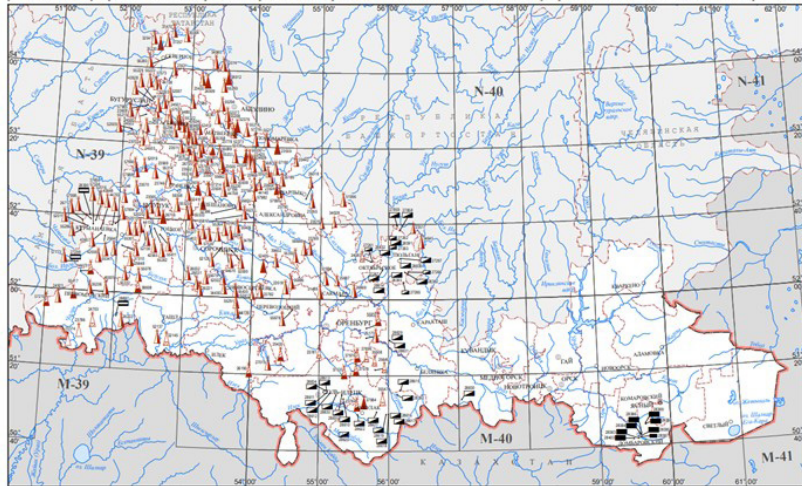


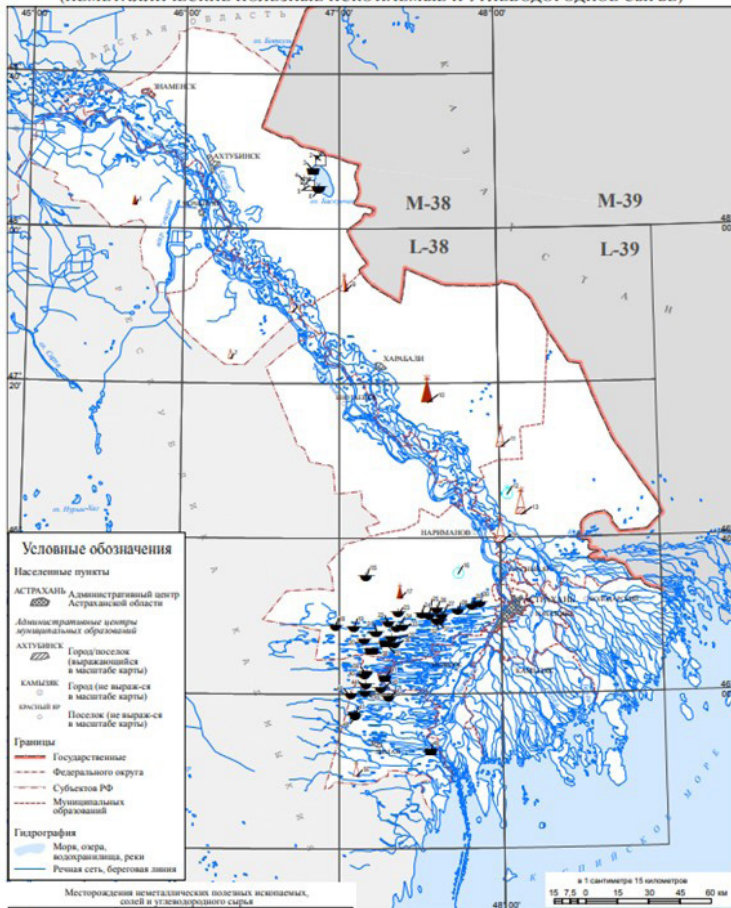
Рис. 2. Карта размещения месторождений горючих полезных ископаемых Оренбургской области, включая гелийсодержащие объекты углеводородного сырья [9]

НСР свободного газа в недрах Астраханской области (российский сектор Прикаспийской НПП) составляют 7088,7 млрд м³ (5% разведанных запасов свободного газа и 20% конденсата РФ) (рис.3). Выделяются три литолого-стратиграфических мегакомплекса: подсолевой, надсолевой (MZ-KZ-и P₂) и, разделяющий их, соленосный (P₁ кунгурский ярус). Газоносны карбонатные и терригенные толщи С, Т и J отложений на глубинах 1,5 - 4 км и более; нефтеносны – терригенные толщи J₂ и K₂, на глубинах 850-1650 м [7].

Месторождения характеризуются сложным геологическим строением; перспективы УВ прогнозируются в подсолевых рифогенных структурах отложений D и С. УВ сырьё перерабатывается на Астраханский ГПЗ мощностью 12 млрд м³/год; гелий не извлекался.

Учтены 3 газовых, 3 газоконденсатных и 1 газонефтяное месторождения с запасами свободного газа, включая газ газовых шапок всего

ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ
АСТРАХАНСКАЯ ОБЛАСТЬ
КАРТА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ
(НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ И УГЛЕВОДОРОДНОЕ СЫРЬЕ)



Месторождения неметаллических полезных ископаемых, осей и углеводородного сырья

Вид полезного ископаемого	Размер месторождения				
	Уникальное	Крупное	Среднее	Мелкое	Очень мелкое
Гипс и ангидрид					
Песок стеатитовый					
Соли натриевые (исп. соль)					
Грязи лечебные					
Воды					
Нефть	▲	▲	▲	▲	▲
Газ горючий			▲	▲	▲
Газ и нефть			▲		
Газоконденсат	▲	▲			

Карта подготовлена ФГУП "ВСГГЭИ" в рамках выполнения Государственного задания Федерального агентства по недропользованию от 26.12.2019 г. № 049-06017-20-04 (с ред. 13.10.2020 г. № 049-06017-20-04)
 На карте представлены месторождения полезных ископаемых, учтенные в БЗ на основании от 01.01.2020 г. (по данным, опубликованным на сайте ФГУП "Росгеофонд" № 13.12.2020 г.)
 Проекция равноугольная коническая (эллипсоид Красовского). Осевой меридиан 47°

Рис. 3. Карта размещения месторождений горючих полезных ископаемых Астраханской области, включая гелийсодержащие объекты углеводородного сырья [8]

по категориям А+В₁+С₁ - 3097,844 млрд м³. В 2020 г. добыто 11,406 млрд м³ газа, потери составили – 0,001 млрд м³.

Промышленная газоносность установлена в комплексах отложений D, C, T, J, K. Запасы растворенного газа по категориям А+В₁+С₁ учтены в объеме 1,133 млрд м³ и категориям В₂+С₂ – 98,374 млрд м³. Добыча в 2020 г. составила менее 0,001 млрд м³.

Свободный газ месторождений области различен по составу и содержанию попутных компонентов. Запасы конденсата учтены на 3 месторождениях; этана, пропана, бутанов – на 3, гелия – на 1, сероводородсодержащего газа – на 4.

Извлекаемые запасы гелия категорий А+В₁ на Астраханском месторождении составляют 20,851 млн м³; а категории В₂ - 31,040 млн м³; добыча гелия не ведётся [8].

Месторождения УВ Республики Саха (Якутия) (далее РС(Я)) в составе Непско-Ботуобинской нефтегазоносной области входят в состав Лено-Тунгусской НПП, - одной из наиболее перспективных в отношении нефтегазоносности континентальных территорий РФ. Здесь, по состоянию на 01.01.2021г., учтены 2 нефтяных, 17 нефтегазоконденсатных, 2 газонефтяных, 13 газоконденсатных, 6 газовых месторождения (рис.4). Общие запасы нефти РС(Я) оцениваются в 647,73 млн т ; в 2020 г. добыча составила 15,957 млн. В недрах РС(Я) учтено 42 месторождения горючих газов (в т. ч. 18 нефтегазоконденсатных, 15 газоконденсатных, 6 газовых, 3 газонефтяных) с общими запасами – 3 069,962 млрд м³ [7].

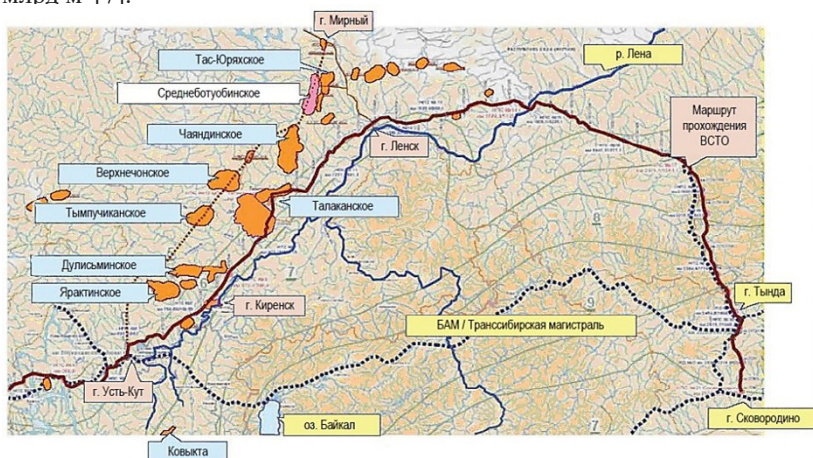


Рис. 4. Карта размещения гелийсодержащих газовых и газоконденсатных месторождений Непско-Ботуобинской нефтегазоносной области в пределах РС(Я) [7]

В республике учтены 13 газоконденсатных и 17 нефтегазоконденсатных месторождения с общими извлекаемыми запасами конденсата 68,225 млн т, добыча конденсата в 2020 г. составила 0,228 млн т.

В пределах Непско-Ботуобинской НГО выявлено порядка 40 месторождений УВ залежи которых локализованы в продуктивных горизонтах V, V-С и С₁; выделяют залежи, приуроченные к породам коры выветривания фундамента. Для 40 % залежей антиклинального типа установлен литологический и стратиграфический контроль размещения. К моноклинальным склонам южной и центральной частей Непско-Ботуобинской антеклизы приурочены залежи неантиклинального типа.

В северо-восточных участках НГО проявлено дизъюнктивное скранирование залежей УВ.

На территории РС(Я) учтены 19 месторождений этансодержащего газа; в свободном газе запасы этана составляют 149,216 млн т, пропана – 70,887 млн т, бутана – 35,128 млн т. В 2020 году при добыче газа добыто этана – 0,001 млн т, пропана – 0,014 млн т, бутанов – 0,010 млн т, при этом объёмы потерь кратны показателям добычи [7].

В 17 месторождениях природного газа Республики Саха (Якутия) учтены запасы гелия, составляющие 49,36% этого полезного ископаемого от запасов РФ (8 715,07 млн м³). В 2020 г. Добыча гелия в РС(Я) составила 0,196 млн м³ или 100 % от добычи РФ. В недрах уникального Чаандинского ГКМ запасы гелия 6 783,424 млн м³ или 37,66% от запасов РФ [7].

Открытие группы крупных гелийсодержащих ГКМ Лено-Тунгусской НПП, в первую очередь объектов РС(Я) в пределах Непско-Ботуобинской НГО и начало работы АГПЗ упрочат позиции РФ как одной из ведущего страны-производителя гелия в мире (Таблица 2).

Для целей устойчивого обеспечения гелийсодержащим сырьём АГПЗ, который, согласно проектным показателям, будет получать (извлекать) гелия актуальна проблема строительства подземных хранилищ газа (гелия).

У газовиков Республики Башкортостан [6] и Оренбургской области [9] имеется опыт строительства подземных хранилищ газа в различных, в том числе сложных, геологических условиях (Таблица 3).

Крупномасштабное производство гелия в мире по состоянию на 2007 г. в основном было сосредоточено на 16 заводах, в том числе: на территории США — 13, в Алжире (Арзев) — 1, в Польше (Одолянов) — 1, в Российской Федерации (Оренбург) — 1 [3].

Эксперты в 2022 году оценивали мировой рынок гелия в 2094 млн долларов США, а к 2028 году прогнозируют его скорректированный

размер в 2920,2 млн долларов США. Этот динамичный рост рынка может быть обеспечен среднегодовой динамикой на уровне 5,7%, что должно привести к дальнейшему развитию гелиевой промышленности мира.

Таблица 2

Месторождения гелия РФ [1, 7, 8, 9]

Месторождение	Запасы гелия по категориям АВС1+С2, млн м3	Состав газа, об%			
		Метан	С2+	Азот	Гелий
Лено-Тунгусская НГП, Иркутская область					
Ковыктинское ГКМ	5062	92,3	5,7	1,5	0,26-0,28
Непско-Ботубинская НГО, Республика Саха (Якутия)					
Чаяндинское НГКМ	Газовая шапка 1400	85,6	6,9	8,2	0,43
	Основная залежь 790	н.д.	н.д.	н.д.	0,65
Тас-Юряхское НГКМ	459	84,4	7,0	8,1	0,38
Среднеботубинское НГКМ	664	83,8	6,9	8,0	0,2-0,67
Верхневилочанское НГК	280	84,5	7,5	7,5	0,13-0,17
Волго-Уральская НГП					
Оренбургское НГКМ	337,9	86,62	6,08	н.д.	0,04
Астраханское ГКМ	20,851	51,01	7,86	0,71	0,02

В этих экономических условиях стратегические перспективы развития добычи гелия на месторождениях Лено-Тургусской НГП, в первую очередь на объектах РС(Я) Непско-Ботубинской НГО и его товарного производства на АГПЗ весьма оптимистичными.

В сложившихся в настоящее время экономических условиях представляется целесообразным внимательно рассмотреть и проанализировать с позиции оценки возможных перспектив промышленного получения гелия, результаты исследований гелиеносности УВ месторождений Припятского прогиба (Республика Беларусь) [2].

За 55 лет добычи нефти из недр Беларуси было извлечено более более 136 млн т чёрного золота. В 2020 году на месторождениях УВ Республики Беларусь было добыто 1,710 млн тонн сырой нефти, 219 млн м³ природного газа, 1,578 млн тонн топливного торфа.

Основу сырьевой базы нефти и газа Республики Беларусь составляют, находящиеся в разработке месторождения Припятской нефтегазосносной впадины.

Таблица 3

Общая характеристика подземных хранилищ газа [9]

Подземное хранилище (тип соляной толщи)	Страна, (Год начала эксплуатации подземного хранилища)	Число подземных резервуаров	Объем хранилища, млн м ³ (общ.)	Интервал заложения, м	Продукт хранения
Яр-Бишка дакское (соляные купола)	РФ, Республика Башкортостан, (1961)	6	0,300	550–750	Светлые нефтепродукты
Камеры Яр-Бишкадакского рассолопромысла	РФ, Республика Башкортостан, (1980)	3	0,350	750–800	Светлые нефтепродукты
Кашкарское (соляные купола)	РФ, Республика Башкортостан, (1974)	8	1,0	540–750	Сжиженные газы
Кашкарское II (соляные купола)	РФ, Республика Башкортостан, (1981)	2	0,100	540–750	Этилен
Казаякское (соляные купола)	РФ, Республика Башкортостан, (1988)	3	0,450	410–540	Светлые нефтепродукты
Зиминское	РФ (1984)	4	0,080	1300–1350	Этилен
Оренбургское (соляные купола)	РФ (1985)	9	0,320	1050–14703	Гелиевый концентрат
Астраханское (соляные купола)	РФ (1992)	11	0,350	690–1160	Газовый конденсат, продукт промывки скважин

Таблица 4

Статистические параметры содержания гелия в рассолах и нефти месторождений Припятского прогиба [2]

Объект измерений	Объем выборки	Среднее	Медиана	Минимум	Максимум	Размах	Дисперсия	Стандартное отклонение	Нижняя квантиль	Верхняя квантиль
Рассолы	74	0,78	0,3	0,01	10,47	10,46	2,57	1,6	0,12	0,69
Нефть	214	0,041	0,032	0,0005	0,53	0,53	0,0025	0,05	0,015	0,047

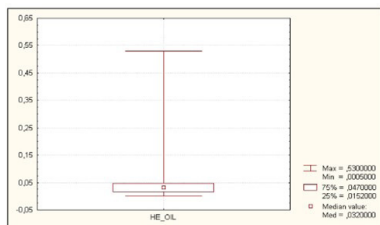


Рис. 5. Бокс-диаграмма распределения содержания гелия в нефтяных газах Припятского прогиба (Республика Беларусь) [2]

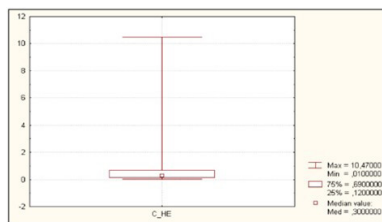


Рис. 6. Бокс-диаграмма распределения содержания гелия в газах рассолов [2]

Здесь по состоянию на 2000 г. промышленные запасы нефти оцениваются в размере 63 млн т, попутного газа 35 млрд м³, неразведанные — 190 млн т и 90 млрд м³ соответственно.

Особый интерес представляют данные о гелиеносности рассолов и нефти месторождений УВ Припятского прогиба (Республика Беларусь) (таблица 4), а также результаты исследования содержания и распределения гелия в нефтяных газах (рисунок 5) и газах рассолов (рисунок 6) [2].

Отмечается, что на основании данных опробования вод из протерозойских образований можно ожидать концентрацию гелия в проницаемых структурах кристаллического фундамента.

Прогнозируется возможный уровень гелиеносности пород кристаллического основания в первых десятки мл/л. Распределение концентраций гелия в нефтяном газе варьирует в пределах $n \cdot 10^{-1} - 10^{-4}$ % об. (рис. 5). Объёмной концентрации гелия у подсолевых нефтей по сравнению с межсолевыми несколько, что отвечает общей тенденции увеличения концентрации гелия с глубиной. В рассолорастворенных газах объёмные концентрации гелия значительно выше и варьируют в пределах первых единиц объёмных процентов в протерозойских и подсолевых девонских рассолах, долей единиц – первых единиц об. % в межсолевых рассолах и сотых-десятых долей об. % для верхнесолевого комплекса [2].

Природа гелия в объектах Припятского прогиба пока не установлена. Вполне возможно, что здесь гелий не связан генетически с формированием месторождений УВ.

Запасы гелия в составе сырья углеводородных месторождений Пермского края в 2022 г. учтены на 15 объектах, в 2020 на 8 [10].

Исследователями из Оксфордского и Даремского университетов (Великобритании), работающими с Helium One, компанией по разведке гелия со штаб-квартирой в Норвегии в пределах Восточно-Африканской рифтовой зоны выявлена промышленная гелиеносность объектов углеводородной природы, содержащих максимально до об.10% He. По предварительным оценкам запасы гелия здесь огромны только в одной части рифтовой долины (Руква) они составляют порядка 54 миллиарда кубических футов (1,5 миллиарда кубических метров).

Наличие «огромного» газового месторождения в Рукве может решить глобальную нехватку ценного газообразного гелия [12].

Учитывая динамично растущую потребность современных технологий в гелии, проблема геологического исследования его концентрации как в углеводородном сырье, так и в виде других природных состояниях является весьма актуальной [5].

Библиографический список.

1. Горбунов В.В., Перфилов В.А. Мембранное выделение гелия из природного газа. Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2021. – С. 1-13.
2. Гумен А.М. О закономерностях распределения гелия в осадочном чехле юго-востока Беларуси. Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. № 2. 2003. – С. 39-44.
3. Конторович А.Э., Коржубаев А.Г., Эдер Л.В. Сырьевая база и перспективы развития гелиевой промышленности России и мира. Серийное издание: Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. Выпуск: 2, Год издания: 2006. - С. 17-24.
4. Методические рекомендации по применению классификации запасов и ресурсов нефти и горючих газов. Утверждено распоряжением Минприроды России от 01.02.2016г. № 3-р. М.: МПР, 2016. – 33 с.
5. Мустафин С.К., Трифионов А.Н., Стручков К.К. Гелиеносность углеводородного сырья нефтегазоносных регионов: изученность и перспективы промышленного освоения. «Тенденции и проблемы развития наук о Земле в современном мире»: Сб.: Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2022. С. 56-65..
6. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Республики Башкортостан на 15.03.2022 г. СПб.: ФГБУ ВСЕГЕИ, 2022. – 23 с.
7. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Республики Саха (Якутия) на 15.03.2022 г. СПб.: ФГБУ ВСЕГЕИ, 2022. – 18 с.
8. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Астраханской области на 15.12.2021 г. СПб.: ФГБУ ВСЕГЕИ, 2022. – 13 с.
9. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Оренбургской области на 15.03.2022 г. СПб.: ФГБУ ВСЕГЕИ, 2022. – 19 с.
10. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Пермского края на 15.06.2022 г. СПб.: ФГБУ ВСЕГЕИ, 2022. – 20 с.
11. Якуцени В.П. Сырьевая база гелия в мире и перспективы развития гелиевой промышленности. Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2009. Т.4. №2. –С.1-24.
12. Ernest Mulaya, Jon Gluyas, Ken McCaffrey, Thomas Phillips, Chris Ballentine. Structural geometry and evolution of the Rukwa Rift Basin, Tanzania: Implications for helium potential. Basin Research, Volume 34, Issue 2, Mar 2022, p. 938 – 960.

13. HELIUM. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2022. PP. 78-79.

STATUS OF STUDY AND PROSPECTS OF INDUSTRIAL
DEVELOPMENT OF GEOLIEN-BEARING OBJECTS OF OIL AND
GAS BEARING REGIONS

S.K. Mustafin, A.N. Trifonov, K.K. Struchkov

sabir.mustafin@yandex.ru

The problem of helium content of hydrocarbon raw materials (HC) objects of the oil and gas provinces of the Russian Federation is considered on the basis of a comparison of a set of basic geological parameters. The results of the analysis are offered for forecasting and evaluating industrial helium content.

Keywords: helium, hydrocarbon raw materials, oil and gas provinces, reservoir rocks, geological age, hydrocarbon deposits.