

УДК 546.291:553.981.2.042(100)

Якуцени В.П.ФГУП «Всероссийский нефтяной научно-исследовательский геологоразведочный институт (ВНИГРИ)», Санкт-Петербург, Россия ins@vnigri.spb.su

СЫРЬЕВАЯ БАЗА ГЕЛИЯ В МИРЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГЕЛИЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В статье приводятся основные сведения о производстве гелия в мире, его масштабах и основных странах-производителях гелия. Обращается внимание на качественный состав гелиесодержащих природных газов и основы его прогноза. Оценены мировые запасы гелия по состоянию на начало 2009 г. с их дифференциацией по качеству сырья. Показано, что основные запасы (ресурсы) гелия сосредоточены в природных газах Сибирской платформы в России и в газах Мидконтинента и Скалистых гор США. В незначительных масштабах они имеются и в других странах. Особо отмечается необходимость принятия мер по защите высококачественного газогелиевого сырья от его потерь при топливной утилизации или экспорте природных газов Восточной Сибири, в составе которых он присутствует в виде компонента-примеси (<1%).

***Ключевые слова:** гелий, высокогелиеносные газы, источники гелия, объемы потребления, ресурсы гелия, гелиезаохранилища.*

1. Основные геолого-геохимические закономерности накопления гелия в недрах

В основе продуктивного гелиенакопления в природных газах лежат процессы его концентрирования и рассеяния, определяемые как его генезисом, так и уникальными физико-химическими свойствами этого элемента – легкостью, проницаемостью и полной инертностью. Процессы гелиенакопления в недрах изучены сравнительно хорошо, начиная с классической работы Д.Ш. Роджерса – «Гелиеносные природные газы», вышедшей в США еще в 1921 г. (Роджерс, 1935), а так же более поздних исследований отечественных авторов – В.В. Белоусова, В.П. Савченко, В.А. Соколова, А.Л. Козлова, В.П. Якуцени, В.В. Тихомирова и др.

Генетически основная составляющая баланса гелия в литосфере, её осадочном чехле и в природных газах, включая атмосферу, представлена его тяжелым изотопом ^4He радиогенного происхождения. Он непрерывно образуется в ходе радиоактивного α -излучения тяжелыми элементами, в основном урано-ториевого ряда. Излучаемая ими α -частица – это ядро атома гелия с двойным положительным зарядом. Проходя через вещество, она взаимодействует с ним и, присоединив к себе два электрона, становится нейтральным атомом гелия - его тяжелым изотопом ^4He . В соответствие с законом радиоактивного распада – чем больше элементов α -излучателей в породах и старше их возраст, т.е. чем больше

длительность и интенсивность процесса радиораспада, тем больше генерируется в породах тяжелого изотопа гелия. В литосфере в наибольшей мере этим условиям отвечают древнейшие породы преимущественно кислого состава - граниты архея, широко распространенные в фундаменте и, соответственно, в газах осадочного чехла древних платформ.

Легкий изотоп гелия - ^3He , широко распространен в космическом пространстве. В породах и газах литосферы он резко – на 6-7 порядков – уступает по распространенности ^4He и только в газах, поступающих вместе с мантийными эксгаляциями, то есть из глубинных геосфер планеты, его отношение несколько возрастает: $^3\text{He}/^4\text{He} \sim n \cdot 10^{-5}$, все же оставаясь значительно ниже космического в околосолнечном пространстве – 10^{-2} - 10^{-1} (рис. 1).

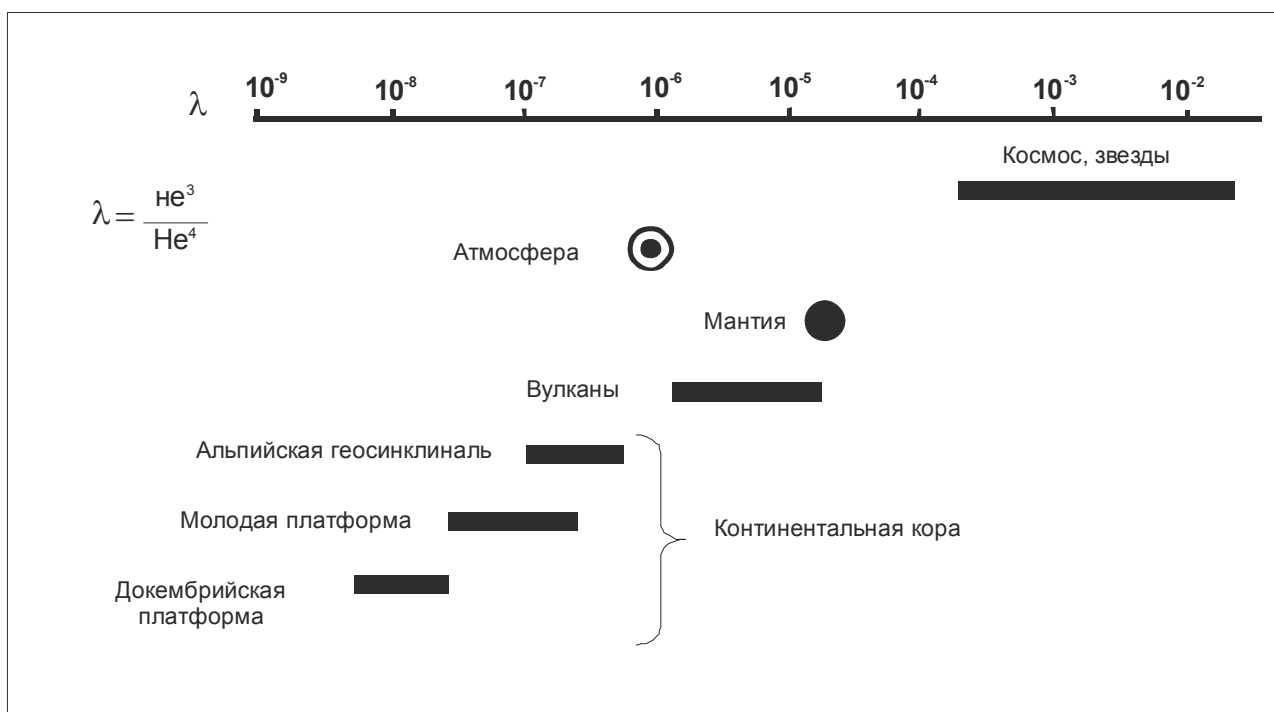


Рис. 1. Изменение изотопного состава гелия в различных природных объектах

Таким образом, генетической основой для прогноза масштабов генерации гелия в литосфере служит, прежде всего, обогащенность пород литосферы элементами U-Th ряда и их возраст - интенсивность и длительность процесса генерации радиогенного гелия (^4He).

Учет только генетического параметра для прогноза гелиеносности природных газов в осадочном чехле недостаточен, поскольку гелий должен не только образоваться в достаточных объемах в породах генераторах, но и мигрируя в осадочном чехле, сохраниться, то есть накопиться в нём и, прежде всего, в природных газах. Но, в силу своих уникальных физических и химических свойств, гелий стремится к рассеянию, а не концентрированию.

По легкости и проницаемости среди других элементов он уступает только водороду, но в отличие от последнего, он совершенно инертен в естественных земных условиях, не вступает в недрах ни в какие реакции и соединения и не аккумулируется, что в совокупности с высокой проницаемостью способствует его рассеянию. Поэтому в свободных скоплениях гелий в природе не встречается. Собственно эти свойства гелия привели к тому, что он единственный среди инертных газов (Ne, Ar, Xe, Kr) не накапливается в атмосфере и теряется ею, диссипируя в околопланетное пространство Земли вместе с водородом, формируя гелиево-водородный шлейф по А.И. Вернадскому, предсказанный им еще в 1911 г. и впоследствии подтвержденный при космических исследованиях.

Есть и еще факторы, нарушающие процессы накопления гелия в осадочном чехле и природных газах, но уже не связанные с его генезисом и свойствами, а с независимыми от него процессами – масштабами газогенерации, а также тектоно-магматической активностью недр. Последняя способствует пульсационному высвобождению гелия накопленного в древних кристаллических породах фундамента и его миграции в осадочный чехол, повышая его содержание в природных газах. Интенсивная газогенерация, особенно метана, недавняя по времени, напротив снижает относительное содержание гелия в формирующихся свободных газовых скоплениях. Есть и ещё много дополнительных факторов искажающих первичное гелиесодержание в них. В частности, повторная газогенерация, сопровождающая погружение газопродуктивных толщ на большую глубину (> 5 км), приводит к разубоживанию исходного содержания гелия в них. Именно поэтому в областях глубокого прогибания фундамента гелиесодержание как правило резко снижается даже в отложениях палеозоя.

Но, несмотря на некоторую неопределенность прямого прогноза гелиеносности природных газов на основе генетических параметров и свойств гелия, высокая степень изученности его содержания в составе природных газов большей части НГБ мира (более 200 тыс. анализов) позволяет достаточно корректно прогнозировать гелиесодержание в отдельных НГБ и НГП, в зависимости от их геотектонической принадлежности и минералогического состава, а также возраста фундамента и осадочного чехла и, соответственно, оценивать его ресурсную базу.

Основной объем планетарных геологических ресурсов гелия находится в древнейших породах фундамента и перекрывающих его газопродуктивных платформенных отложениях позднего протерозоя и палеозоя. В свободных скоплениях углеводородных газов они сосредоточены преимущественно на глубинах менее 3,5 км в континентальных структурах

древних платформ с мощным гранитным фундаментом в основном допротерозойского возраста.

Гелиеносность природных газов акваторий обычно ниже сравнительно с континентом, даже в отложениях палеозоя на шельфе, что связано, видимо, с влиянием более молодого возраста океанической коры и её базальтовым составом, обедненным α -излучателями U-Th ряда.

В отложениях Mz-Kz молодых платформ, а так же областей глубокого прогибания фундамента гелиесодержание в природных газах, как правило, резко снижается, составляя в среднем на эпигерцинских платформах 0,01-0,02%, а в зонах современного глубокого прогибания 0,001-0,005% (табл. 1). Имеющиеся исключения из этого правила, вплоть до ураганных содержаний гелия (> 1%) связаны обычно с газопроявлениями в межгорных впадинах, сформировавшихся в зонах недавней (Mz-Kz) тектоно-магматической активности в пределах останцов пород древнего фундамента (Скалистые горы, США; возможно Таримский НГБ, Китай), особенно в азотных и углекислых газах.

Таблица 1

Классификация природных газов по гелиеносности

Преобладающие интервалы концентрации гелия, %	Гелиесодержание в газах*	Преимущественный возраст продуктивных отложений	$^3\text{He}/^4\text{He}$	Основная геоструктурная приуроченность НГБ
<0,005	Весьма низкое	Кайнозой	10^{-7} - 10^{-6}	Современные мобильные пояса; разные структурные элементы альпийского пояса и переходных зон, глубокие (>5км) прогибы
0,005-0,009	Низкое			
0,010-0,049	Пониженное	Мезозой	10^{-7}	Эпигерцинские плиты, реже пограничные зоны древних платформ с областями глубокого прогибания. Шельфовые зоны
0,050-0,099	Повышенное	Палеозой и протерозой	10^{-8}	Древние платформы стабильные и умеренно активизированные в ранние эпохи тектогенеза
0,100-1,000	Высокое			
>1,000*	Очень высокое	Палеозой реже мезозой	10^{-6} - 10^{-8}	Резко активизированные участки древних платформ с мезокайнозойской тектоно-магматической деятельностью

*- В преимущественно азотных и углекислых по составу газах, чаще встречаются ураганные его концентрации вплоть до 10 %, иногда больше. В углеводородных газах они редки.

2. Сырьевая база гелия в мире

В основе оценки сырьевой базы гелия лежат два независимых параметра – ресурсы (запасы) природных газов (свободных), дифференцированных по возрастным категориям и глубинам, и средневзвешенное гелиесодержание в них.

Общепринятых кондиций по содержанию гелия в газах, используемых для его промышленного получения в разных странах мира, не существует, поскольку широкое разнообразие его концентраций в газах газонефтеносных провинций вынуждает отдельные страны извлекать его из тех газов, которыми они располагают. Так во Франции уже длительный период времени (~ с 1960 г.) действует гелиевый завод на сырьевой базе газов с повышенным содержанием азота (12-14%) и гелиесодержанием 0,045%, импортируемых с месторождения Гронинген (Нидерланды), в России – Оренбургский – 0,056%. Но все же, основная добыча гелия ведется ныне в США (70% от мировой) из газов с его содержанием более 0,4%.

Такое различие в подходах к выбору сырьевой базы гелия для его извлечения вынуждает при оценке ресурсов гелия в мире учитывать его в природных газах при разных гелиесодержаниях, что до некоторой степени оправдывается тем, что качественный газогелиевый ресурсный потенциал неизбежно исчерпывается вместе с нарастающей газодобычей в мире для энергетических целей, причем в первую очередь на суше, в пределах хорошо разведанных и освоенных древних платформ.

Запасы гелия оцениваются в газах любого химического состава, преимущественно в свободных по фазовому состоянию. При необходимости могут учитываться также и ресурсы (запасы) гелия растворенного в нефтях (попутных газах), но их объемы крайне незначительны – менее 0,5-0,8% от суммарных объёмов гелия в свободных газах, поэтому не меняют общих оценок в пределах той точности расчетов, которая возможна.

Учет запасов любых видов полезных ископаемых, в том числе и гелия, производится при условии наличия технологий его извлечения из недр (сырья) с экономически рентабельными показателями промышленного производства на основе учета прогресса в технологиях. Извлечение гелия из газов технологически реально не только при его содержании 0,005%, но даже и из воздуха – 0,000527% (на воздухоразделительных установках). Но себестоимость извлекаемого гелия при этом возрастает практически прямо пропорционально его содержанию.

В настоящее время около 85% всей промышленной мировой добычи гелия производится из газов с гелиесодержанием превышающим 0,3% по себестоимости 0,5-0,7

долл. США/м³ (франко-завод). Еще 14% из газов с гелиесодержанием 0,09-0,17%, примерно с той же себестоимостью, благодаря попутному характеру производства на заводах СПГ (табл. 2). Ранее проводившиеся расчеты (1995 г.) показали, что себестоимость промышленного извлечения 1 м³ гелия из газов с гелиесодержанием 0,020% может составить 20 долл. США, при учете дополнительной товарной продукции, с 0,005% не менее 80-100 долл. США на тех же условиях. Цена гелия на мировом рынке за последние 20 лет изменилась от 1,8 долл. США/м³ до 2,5-3,0 долл.США/м³ (франко-завод). Примерно в тех же масштабах, с небольшим увеличением, цена прогнозируется и на будущее, еще на 15-20 лет как минимум, учитывая современное наличие качественной сырьевой базы (He > 0,15%), ее рациональное освоение и ожидаемые объемы потребления в мире.

Таблица 2

**Ориентировочная себестоимость производства гелия
(без учета процесса NGL)**

Содержание гелия в газе-сырце, %	Себестоимость извлечения гелия, долл. США/м ³ (в ценах 1995 г.)	Примеры источников газового сырья с учетом стоимости попутного товарного продукта
0,0005	> 100	Атмосферный воздух на воздухоразделительных установках. Ar, Ne, Kr, Xe, жидкие азот и кислород
0,010-0,030	20-40	Газы Западной Сибири, Аляски, Баренцева моря: ШФЛУ*, этан, сжиженные пропан-бутан.
0,050-0,060	10-15	Оренбургское месторождение: ШФЛУ, сера, сжиженные пропан-бутан. Гронинген: ШФЛУ, этан, сжиженные пропан-бутан и азот.
0,10-0,30	0,8-2,0	Месторождения Хасси-р-Мель и провинции Ин-Салах (Алжир), а также Ковыткинское (Россия). ШФЛУ, этан, сжиженные пропан-бутан и азот.
0,30-0,50	0,5-1,2	Месторождения Мидконтинента (США), Одоляново (Польша), и юга Восточной Сибири (Россия). ШФЛУ, этан, сжиженные пропан-бутан и азот.
> 0.50	0,3-0,8	Месторождения Мидконтинента (США), а также Райли-Ридж (шт. Вайоминг, США). Весь комплекс углеводородных продуктов, жидкий азот, а для последнего также сера и твёрдая углекислота.

*ШФЛУ – широкая фракция лёгких углеводородов

На начало 2009 г. мировые запасы углеводородных газов составили 175,50 трлн.м³ [Oil and Gas, 2008]. Их ориентировочное распределение по возрастным категориям, а так же средневзвешенное гелиесодержание в них приведено в табл. 3.

Как видно из нее, суммарные запасы гелия на 01.01.2009 г. по категории изученности, близкой к принятой в России ABC₁, составили в углеводородных газах мира 66,78 млрд.м³. Они значительно увеличились сравнительно с 2006 г. за счет учета дополнительных

открытий запасов газов в Персидском заливе (Катар, Северный свод, формация Хуфф) и внедрения технологий их попутного получения на установках СПГ.

Таблица 3

Оценка мировых запасов гелия в углеводородных газах по состоянию разведанности на 01.01.2009 г.

Возраст газопродуктивных отложений	Запасы газа		He _{ср.} , %	Запасы гелия	
	трлн. м ³	% от суммарных запасов		млрд. м ³	% от суммарных запасов
Kz	28,10	16	0,003	0,84	1,2
Mz	108,79	62	0,018	19,58	29,3
Pz+PR	38,60	22	0,12	46,32	69,5
Всего	175,50	100	~ 0,038	66,74	100

Суммарные запасы гелия в газах с гелиесодержанием от и более 0,15% составляют, примерно, 36 млрд. м³. Для последних возможно увеличение за счет новых открытий запасов высокогелиеносных газов в Восточной Сибири России и в Скалистых горах США.

Основная часть запасов углеводородных газов мира – 78%, содержит меньше 0,05% гелия в своем составе (рис. 2).

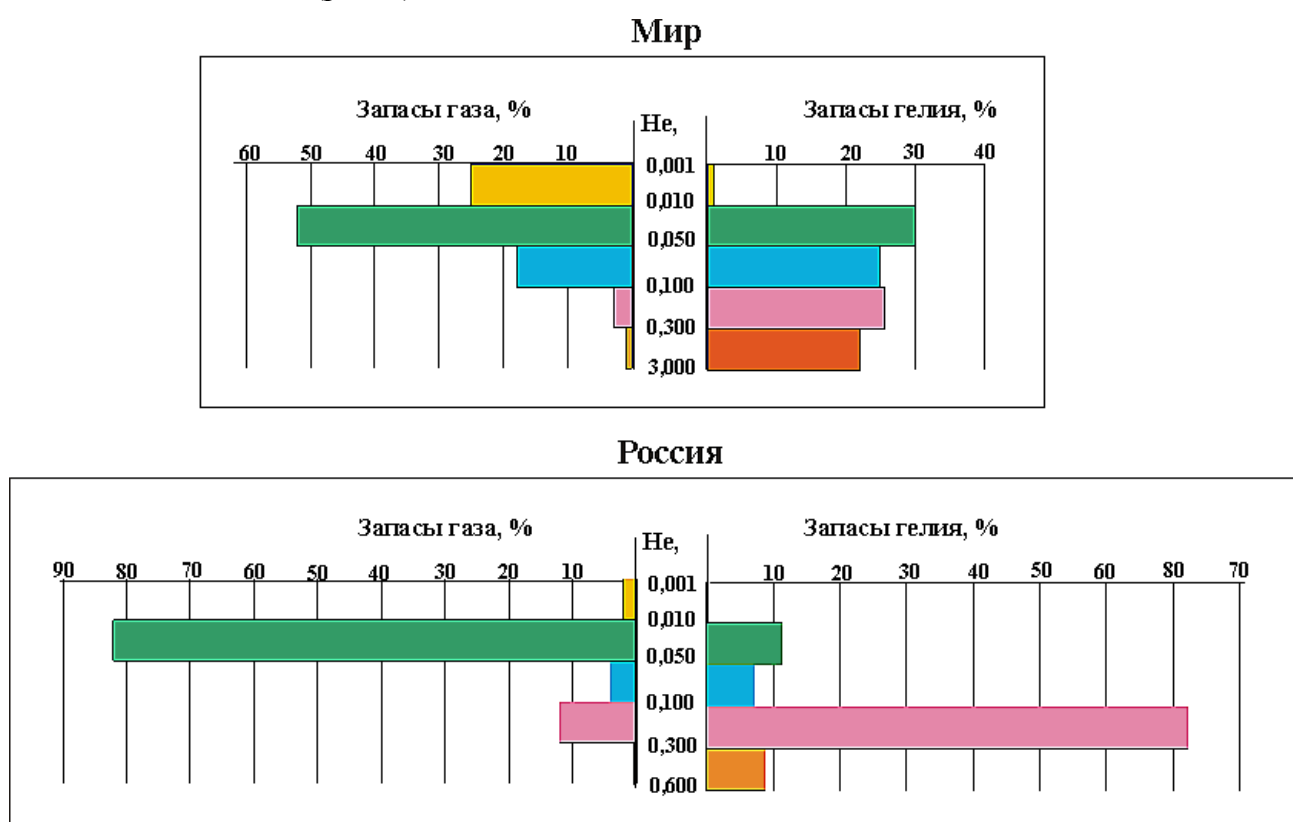


Рис. 2. Распределение запасов углеводородных газов и гелия в мире и России по гелиесодержанию в газе

Гелиесодержание в углеводородных газах больших глубин (>4,5-5,0 км) даже в отложениях палеозоя, а так же в газах практически всех газовых гигантов арктической суши России и Северной Америки вместе с шельфами Северного, Баренцева, Карского, Берингова, Бофорта и прочих арктических морей меняется преимущественно в интервале 0,012-0,035%. Именно это преобладание в выявленных запасах газов поздней генерации (Kz, Mz, омоложенный Pz) и предопределило низкую среднюю гелиеносность природных газов мира ~ 0,038% (см. табл. 3).

За все годы нефтегазопроисковых работ в мире выявлено всего четыре региона, геологические условия, в пределах которых, уверенно соответствовали возможности продуктивного гелиенакопления в природных газах (He>0,15%). Все они приурочены к древним платформам – Восточно-Европейской, Сибирской, Северо-Американской и Африканской.

Зарубежные страны. Наиболее значительные запасы высококачественного (>0,5%) газогелиевого сырья за рубежом выявлены в нефтегазоносных бассейнах Мидконтинента и Скалистых гор (США). В последних, в отдельных НГБ (Сан-Хуан и др.), связанных с останцами древних пород Северо-Американской платформы, переработанной в ходе тектоно-магматической активизации в ларамийскую эпоху (поздний мел – ранний палеоцен), были выявлены самые богатые в мире по гелиесодержанию газовые месторождения – 5-10% с промышленными запасами в основном азотного газа (табл. 4). Ныне все они практически выработаны, но здесь же разведано и освоено одно из крупнейших по запасам гелия месторождение углекислых газов в США – Райли-Ридж с He – 0,55% и запасами гелия ~ 2,5 млрд.м³ и примерно такое же – Риджуей, ныне разведывается.

Богатейшие по запасам и гелиесодержанию месторождения Мидконтинента постепенно истощаются в связи с интенсивной многолетней газодобычей, но всё ещё сохраняют значительные остаточные запасы для обеспечения основного действующего здесь гелиевого завода (Кейес).

Крупнейшее газогелиевое месторождение в Сахаро-Ливийском НГП – Хасси-Р-Мель содержит 0,17% гелия с начальными запасами газа 1,5 трлн м³ тоже значительно выработано. Ныне выявлены его аналоги по гелиесодержанию, но не по запасам в провинции Ин-Салах, впадина Ахнет (Алжир).

В пределах зарубежной части Восточно-Европейской платформы уже практически выработано гелиевое месторождение с высоким содержанием азота (30-40%) Остров-Великопольский (Одольянове) в Предсудетской моноклинали (Польша).

Таблица 4

**Примеры отдельных газогелиевых месторождений зарубежья
(включая месторождения с «ураганным» гелиесодержанием в НГП Скалистых гор в США)**

Страна	НГБ	Месторождение	Геол. индекск	Глубина, м	Основной состав газа, % (об)					
					CH ₄	ΣТ.У.	N ₂	CO ₂	H ₂ S	He
США	Скалистые горы, шт. Нью-Мексика	Хогбек	C ₂	1879	29.1	6.1	54.6	2.0	-	7.17
		Битлебито	T	297	14.4	6.4	78.9	0.3	-	8.9
		Тейбл Меза	C ₁	2287	5.9	1.6	83.8	1.4	-	5.7
		Раттлснейк	C ₁ +D	2119	14.2	2.8	86.2	2.8	-	7.81
		Тосито	C ₁	2036	2.6	0.8	96.3	0.3	-	7.27
		Райли-Ридж	J	1900-2100	19-20	-	7.8	68.69	3.7-4.2	0.55
	то же, шт. Аризона	Навайо-Чемберс	P-T	~300	0.1	-	90	0.8	-	8-10
		Пинта-Доум	P	~350	-	-	85	1.5	-	8
		Баундери Бьютте	C ₁	1695	43.7	4	36.9	9.6	-	3.79
		Харлей Доум	J ₃	262	5.1	2.3	91.5	1.1	-	7.02
	Зап. Внутренний, шт. Техас-Оклахома	Хьюгтон-Пенхендл	C ₂ -P	430-1670	50-77	7-14	10-41	0.1	-	ср 0.47
		Кейес	C	1431	64.3	6.2	26.6	0.7	-	2,2
		Клиффсайд	P	1011	65.5	7.2	25.1	0.4	-	1,8
Алжир	Сахаро-Ливийский	Хасси-Р-Мель	T ₂	2150	82.2	12	5.6	0.2	-	0,17-0,19
Польша	Предсудетская моноклиналь	Одоляново	P ₂	1400-1720	60-68	1.5	30-40	0.2	-	0,32-0,4
Нидерланды	Центрально-Европейский	Гронинген	P ₁	2800-2975	82	4	12-14	0.9	-	0,037-0,055

В Казахстане, в пределах Туранской плиты еще в 1970-х гг. разведана группа месторождений азотных газов с незначительными запасами, но высоким гелиесодержанием – 0,5-0,6% (Уч-Арал, Азнагул, Кемпир-Тюбе и др.).

В Китае по геологотектоническим условиям наиболее вероятно выявление гелиеносных газов в Таримском бассейне, но информации о них в публикациях не встречено.

Запасы природных газов Тихоокеанской Азии, зарубежной Европы, Ближнего Востока, Юго-Западной Африки и Южной Америки, сосредоточенные в основном в продуктивных отложениях мезозоя и кайнозоя на суше и шельфе, как правило, малогелиеносны (0,001-0,020%). Основные приросты запасов гелия в зарубежной Азии в последние годы связаны с разведкой пермских отложений преимущественно в зоне акватории Персидского залива (Катар, Северный свод).

В табл. 5 приведены сведения о динамике запасов гелия по основным зарубежным странам.

Таблица 5

**Динамика запасов гелия (млрд.м³) учтенных в отдельных зарубежных странах
[Феттах, 2006, с дополнением]**

Страна	1997 г.	2001 г.	2005 г.	He _{ср.} ,%
США	11,0	8,9	8,9	0,4
Канада	2,1	2,0	2,0	0,15
Алжир	2,1	3,0	3,0	0,18
Катар	1,0	2,0	2,0* (10)	0,09 (0,09-0,2)
Китай	1,1	1,1	1,01	0,15
Польша	0,28	0,28	0,28	0,4
Всего по учтенным странам	17,58	17,28	17,28 (27,28)	-

* - по последним данным запасы гелия в Катаре возросли к 2005 г. до 10 млрд.м³ при гелиесодержании 0,09-0,2%.

Источник: US Geological Survey, Mineral Commodity Summaries

В ряде работ обсуждаются нетрадиционные источники гелия. Среди них – угольные и рудничные газы, водорастворенные газы, а также газонасыщенные трещинные породы древних фундаментов. Это, безусловно, реальные источники, но по экономике освоения и, главное, по возможным объемам добычи – несопоставимы со свободными газами.

Россия. В середине XX века гелиевая промышленность бывшего СССР испытывала острый дефицит в качественном газогелиевом сырье, поэтому для извлечения гелия использовались даже газы, растворенные в нефтях Ромашкинского и Мухановского

месторождений (He – 0,04-0,07%), которые после ожижения гомологов метана почти удваивали гелиесодержание.

В месторождениях европейской части России ныне преимущественно распространены свободные газы только с незначительно повышенной гелиеносностью – 0,05-0,06%. Ранее имевшаяся в западных месторождениях РФ небольшая часть запасов газа с гелиеносностью 0,10-0,25% к настоящему времени уже практически выработана (Саратовская обл. Республика Коми и др.).

Основная часть запасов природных газов, выявленных в России, характеризуется пониженными концентрациями гелия. В их числе все продуктивные отложения мезозоя в Предкавказье, Прикаспии, Западной Сибири, территории арктических широт, включая северный шельф, а также на севере и востоке Восточной Сибири и на Дальнем Востоке (рис. 3). Гелиеносность природных газов в них, меняется в основном в интервале 0,008-0,025%. В продуктивных отложениях кайнозоя Предкавказья, Сахалина и Тихоокеанского шельфа гелиеносность газов низкая, в основном 0,001-0,006%.

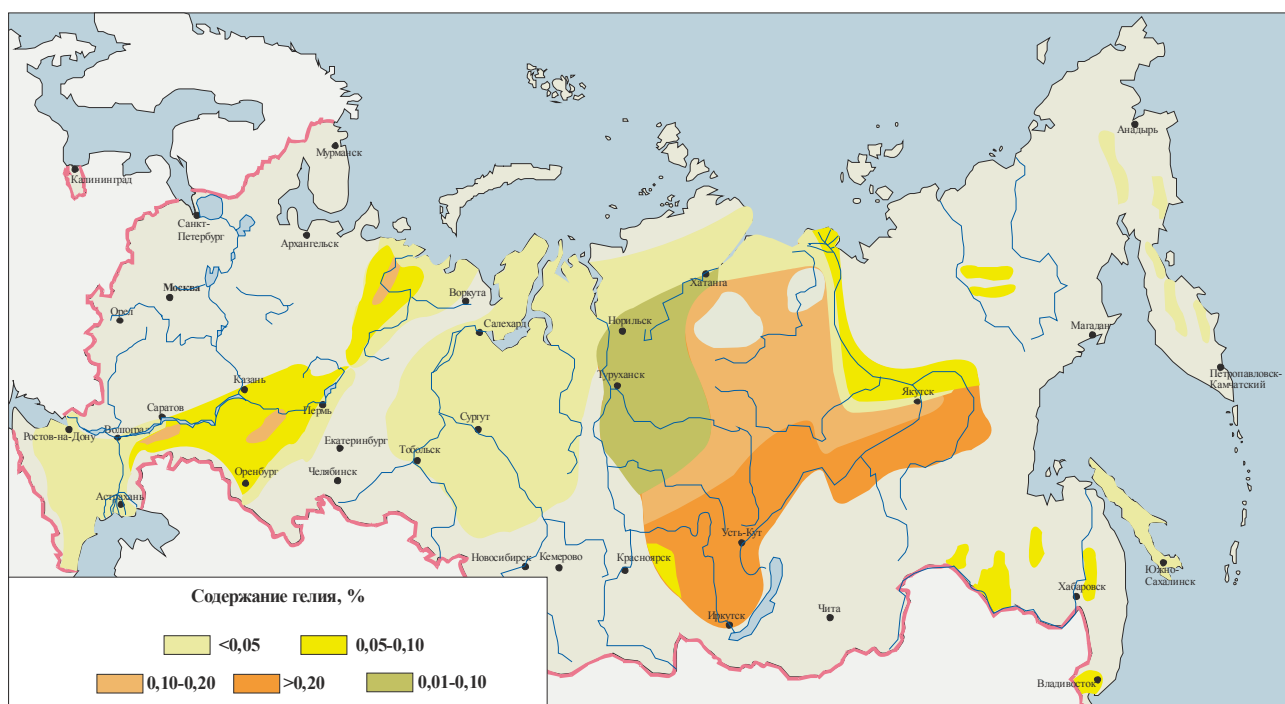


Рис. 3. Схема гелиеносности природных газов нефтегазоносных бассейнов России (составители: Якуцени В.П., Яшенкова Л.К.)

Во второй половине XX века началось открытие крупных по запасам высококачественных газогелиевых месторождений в Восточной Сибири (0,2-0,6%). В их числе, в первую очередь, Ковыктинское месторождение, специфической особенностью

состава газов которого было крайне низкое содержание азота - 1,5%. И хотя содержание гелия в нем – 0,26-0,28% - уступает месторождениям Мидконтинента (США) – 0,7-2,0%, но последние высокоазотны 15-26% (см. табл. 4), поэтому гелиевый концентрат, получаемый после сжижения углеводородов и поступающий в хранилище в Клиффсайде, был более низкого качества (He ~ 70%), чем тот, который может быть получен из газов Ковыктинского месторождения – 85,6% при тех же энергозатратах.

На южных окраинах древнейшей Сибирской платформы уже открыто 26 газогелиевых месторождений, часть которых с крупнейшими (> 200 млн.м³) и даже уникальными (> 1 млрд. м³) балансовыми запасами гелия (ABC₁+C₂) с гелиесодержанием 0,15-0,57%. Среди них Ковыктинское и Дулисьминское в Иркутской обл., Собинское и Юрубчено-Тохомское в Эвенкии, Верхневилучанское, Тас-Юряхское, Средне-Ботуобинское и Чаяндинское в Республике Саха (Якутия) (рис. 4, табл. 6). Суммарные балансовые запасы гелия (кат. ABC₁+C₂) только по месторождениям Восточной Сибири составляют, примерно, 16 млрд.м³ с гелиесодержанием, меняющимся в среднем в разных регионах от 0,2 до 0,6%. Запасы гелия сосредоточены в свободных газовых залежах и в газовых шапках месторождений. Многие из них подготовлены к промышленному освоению, некоторые даже разрабатываются для местного газоснабжения, но в незначительных объемах (0,1-0,2% от объема подготовленных запасов).

Особо следует отметить, что уже выявленными месторождениями ресурсы гелия в регионе не исчерпываются, поскольку поисковые работы будут продолжаться, а прогнозные и перспективные ресурсы гелия в этом регионе (кат. C₃ + Д) оцениваются в объеме близком к 30-35 млрд.м³. Иными словами, в пределах юга древней Сибирской платформы выявлена крупнейшая по уже подготовленным к освоению запасам и прогнозируемым ресурсам газогелиевая провинция и ей нет аналога в пределах всего Евразийского континента. Важно подчеркнуть также, что в отличие от северо-американских месторождений Мидконтинента, сырьевая база которых в значительной мере исчерпана, Восточно-Сибирская еще практически не начала осваиваться и ее промышленные запасы продолжают пополняться. Но перед Россией, также как в свое время перед США, встанет та же проблема необходимости сохранения резервов запасов гелия на перспективу, поскольку на всей территории России и сопредельных с ней стран (бывший СССР) обнаружение новых зон с высокогелиеносными газами не прогнозируется. Вся новая газопродуктивность на их территориях будет связана с малогелиеносными газами Mz-Kz, либо с большими глубинами в Pz.

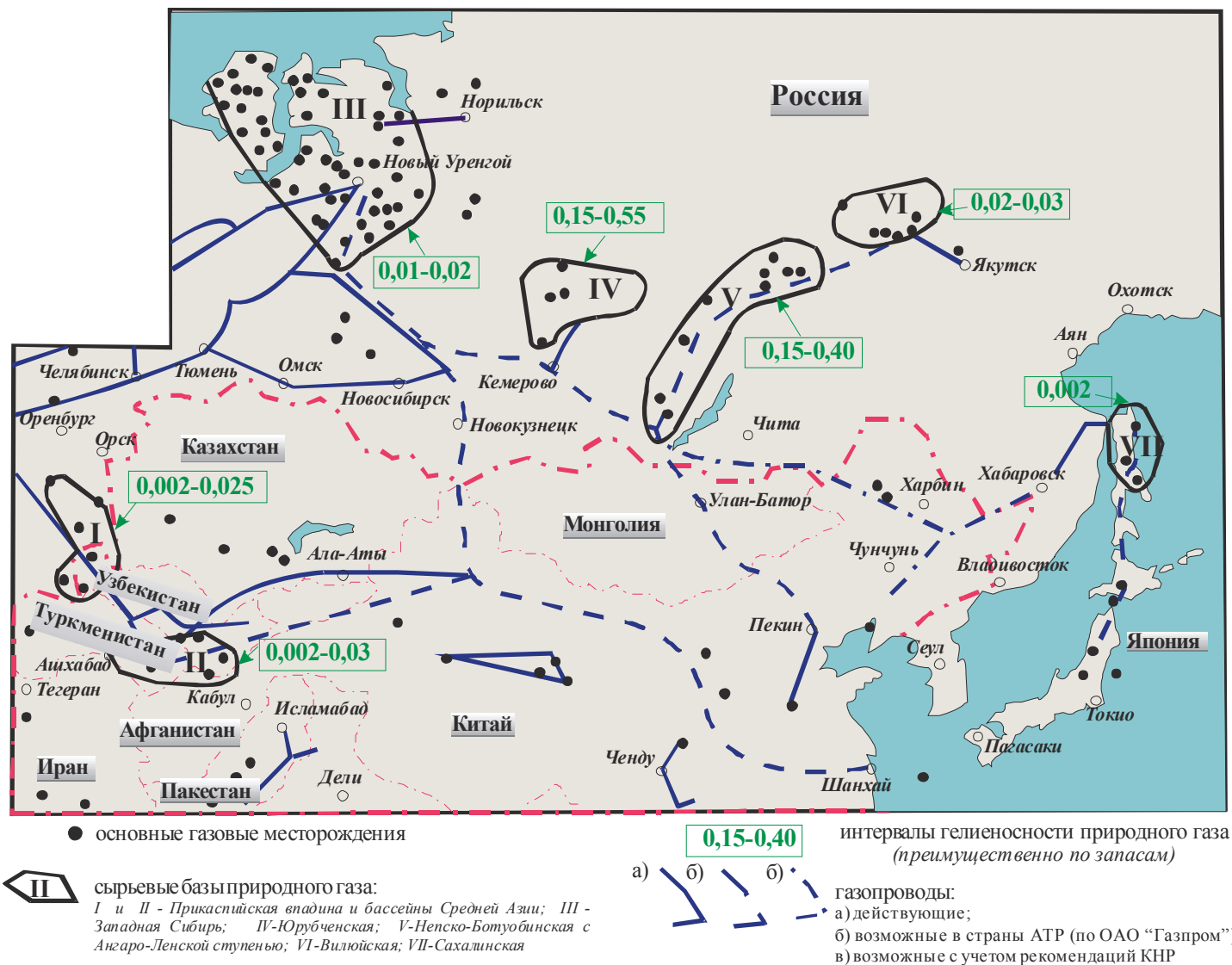


Рис. 4. Возможные направления магистральных газопроводов в страны Азиатско-Тихоокеанского региона и характеристика гелиености природных газов по их основным сырьевым базам

Таблица 6

**Основные газогелиевые месторождения Восточной Сибири
с запасами гелия по категории $C_1 > 100$ млн.м³ и гелиесодержанием $> 0,15\%$ (на 01.01.2009)**

Субъект федерации, месторождение, его тип и степень освоения*	Вид газа	Геологический индекс, глубина, м	Запасы гелия кат. ABC ₁ +C ₂ , млн.м ³	Основной состав газа, % (об)			
				CH ₄	∑ TУ	N ₂	He
Красноярский край (Эвенкия)							
Собинское, НГК, ППО	св	V, 2499-2591	907	67,5	6,4	25,3	0,57
Юрубчено-Тохомское, НГК, разведываемое	св	Rf, 2250-2450	724	83,0	8,4	7,8	0,18
Иркутская обл.							
Дулисьминское, НГК, ППО	св	Є-V, 2600-2750	205	84,1	9,0	6,8	0,16
Ковыктинское, ГК, ППО	св	Є, 3110	5062	92,3	5,7	1,5	0,26-0,28
Республика Саха (Якутия)							
Верхневиллючанское, НГ	гш+св	Є-V, 1620-1720	280	84,5	7,5	7,5	0,13-0,17
Тас-Юряхское, НГК, ППО	гш+св	V ^{бот} , 1908-2011	459	84,4	7,0	8,1	0,38
Среднеботуобинское, НГК, разрабатываемое	гш+св	Є-V, 1550-1900	664	83,8	6,9	8,0	0,2-0,67 (ср.0,48)
Чаяндинское, НГК, ППО	гш	V ^{бот} , 1450-1800	1400	85,6	6,9	8,2	0,43
Чаяндинское, НГК, разведываемое	св	V ^{хам+тал} , 1470-1800	5790	н.с.	н.с.	н.с.	0,65

*Степень освоения и тип месторождений – ППО - подготовлено к промышленному освоению; НГК – нефтегазоконденсатное, ГК – газоконденсатное, гш – газовая шапка, св. – залежь свободного газа.

3. Мировое производство гелия и перспективы роста его потребления

Промышленное извлечение гелия было начато в 1917 г. почти одновременно в Канаде (г. Гамильтон, из газов месторождения Блекхилз) и в США (одноименные город и месторождение Петролеум), то есть близок 100-летний юбилей создания гелиевой индустрии. Толчком для начала его промышленного извлечения из природных газов послужило развитие дирижаблестроения в Первую мировую войну. Оба завода быстро исчерпали свою сырьевую базу и были передислоцированы в Канаде в г. Калгари (месторождение Боу-Айленд) и в США в г. Амарилло (месторождение Клиффсайд). Всего к 1921 г. было извлечено из газов 57 тыс.м³ гелия по себестоимости на 1921 г. 17,2 долл. США/м³ [Kauter, 1962]. Для сравнения, в 1960 г. на заводе Кейес (шт. Оклахома, США) она составляла уже 0,3 долл. США/ м³ [Дитон, Хейнес, 1961].

Длительные годы США были монополистами сырьевой базы гелия, выявившие на своей территории богатейшие по запасам и качеству (He > 1%) газогелиевые месторождения и резко расширившие сферы его потребления и производства. Пик спроса на него в США – 140 млн. м³ пришелся на время реализации космической программы «Аполлон».

Ускоренная реализация газового сырья в качестве энергоносителя, в котором гелий является лишь незначительной примесью, приводит к его потере. Поэтому 13 сентября 1960 г. по решению Конгресса США были внесены дополнения в Закон «О гелии», действующий в этой стране с 03.03.1925 г. Поправки были приняты «во имя защиты безопасности и общего благоденствия Соединенных Штатов» и содержали детальную пропись поэтапных действий во исполнение целевого назначения Закона. Предусматривалось создание резерва запасов гелия, в виде азотно-гелиевого концентрата, извлеченного из газов с гелиесодержанием от 0,3% и выше в объеме, близком к 1 млрд. м³ эквивалента гелия, с учетом примерно 10-тилетнего мирового объема его потребления. Правительство при этом обязалось кредитовать постройки новых гелиевых заводов по производству азотно-гелиевого концентрата, а также его покупку и транспорт по гелиепроводу к месту хранения – специально оборудованному государственному подземному структурному гелиегазохранилищу в истощенном к тому времени газогелиевом месторождении Клиффсайд с начальным гелиесодержанием около 2%. Программа создания резерва запасов гелия в объеме 0,9-1,2 млрд. м³ была завершена досрочно и в 1973 г. закупка правительством концентрата прекратилась.

Долгие годы гелиехранилище в Клиффсайте содержалось, использовалось и пополнялось как госсобственность и лишь в 1996 г. Конгрессом было поддержано предложение приватизировать резервные запасы гелия, что и было принято, путем внесения

поправок в Закон «О гелии» с учетом ряда ограничений, защищающих интересы государства, а также с целью не нанесения вреда рынку. Процесс приватизации пролонгирован до 01.2015 г., с сохранением части технологического имущества и концентрата в госсобственности (170 млн.м³ в гелиевом эквиваленте).

Основной причиной принятия в Законе «О гелии» поправки «О Приватизации гелия 1996 г.» была утрата США мировой монополии на качественную сырьевую базу гелия и его производство. Повод был, естественно, другой – фискальный долг по содержанию хранилища в Клиффсайде*.

Как показано выше, во второй половине прошлого столетия в России в результате нефтегазопроисковых работ состоялось открытие уникальной по ресурсам высококачественной газогелиевой сырьевой базы в Восточной Сибири. То есть определилась реальная возможность создания новой крупнейшей по масштабам гелиевой индустрии и хотя производство гелия на ее базе в России так до сих пор и не начато, но монополизм США на сырье для производства гелия, рассматриваемого в США как стратегический вид сырья, был утрачен.

В области производства гелия США также утратили ведущие позиции в связи с развитием транспорта газа в сжиженном виде (NGL). Остаточный свободный газ после сжижения углеводородной части его компонентов состоит в основном из азота, гелия, аргона и неона (табл. 7). И, если азота в газе-сырце немного (< 2-3%), то даже при умеренном содержании гелия (0,07-0,10%) остаточная газовая фаза резко обогащается гелием и служит рентабельным источником его извлечения в качестве дополнительного ценного товарного продукта.

Таблица 7

Температуры кипения основных компонентов природных газовых смесей и воздуха при нормальном давлении

компонент	t _{кип.} °С	компонент	t _{кип.} °С
He	-268,78	CH ₄	-161,49
H ₂	-252,72	C ₂ H ₆	-88,63
Ne	-245,93	CO ₂	-78,50 (возгоняется)
N ₂	-195,78	H ₂ S	-60,28
Воздух	-194,28	C ₃ H ₈	-42,07
Ar	-185,71	n-C ₄ H ₁₀	-0,49

* К концу 1992 г. объем долга по Гелиевой программе перед Казначейством США составил 1,2 млрд. долл. США, из которых более 1 млрд. состоял из процентов, т.е. являлся вексельной операцией и мог быть аннулирован без ущерба для дефицита путем «бухгалтерского списания», что и было подтверждено Центральным финансовым управлением, а также Генеральным инспектором внутренних дел [Кемпбелл, 1994].

На рубеже XX-XXI веков появилась группа заводов по производству жидкого метана и, одновременно гелия. В их числе Арзев и Скикда в Алжире, действующие на базе магистральных газопроводов от месторождений провинции Инсалах (Хасси-Р-Мель и др.) на берегу Средиземного моря и Рас-Лаффане в Катаре (Северный свод) на берегу Персидского залива. Инвесторами этих заводов помимо национальных компаний стали в основном компании США, но положение с перспективами мирового производства товарного гелия в корне изменилось. И хотя и ныне приоритет в масштабах годового производства гелия по-прежнему сохраняется за США - 80-100 млн.м³, но монополия на его сырьевую базу утрачена и потерян стимул содержания за счет госбюджета резерва запасов гелия на перспективу. Ныне хранилище в Клиффсайде продолжает функционировать, используя его резервы, но уже на рыночных принципах и заметная доля продаж гелия (25-34%) осуществляется за счет его изъятия из резерва хранилища

Всего в США до 1962 г. было построено 11 гелиевых заводов (табл. 8, рис. 5) без учета кратковременно действовавших установок по извлечению гелия из азотных газов с гелиесодержанием 5-10% на мелких по запасам газовых месторождениях в бассейнах Скалистых гор (шт. Нью-Мексико, Аризона, Юта, Колорадо).

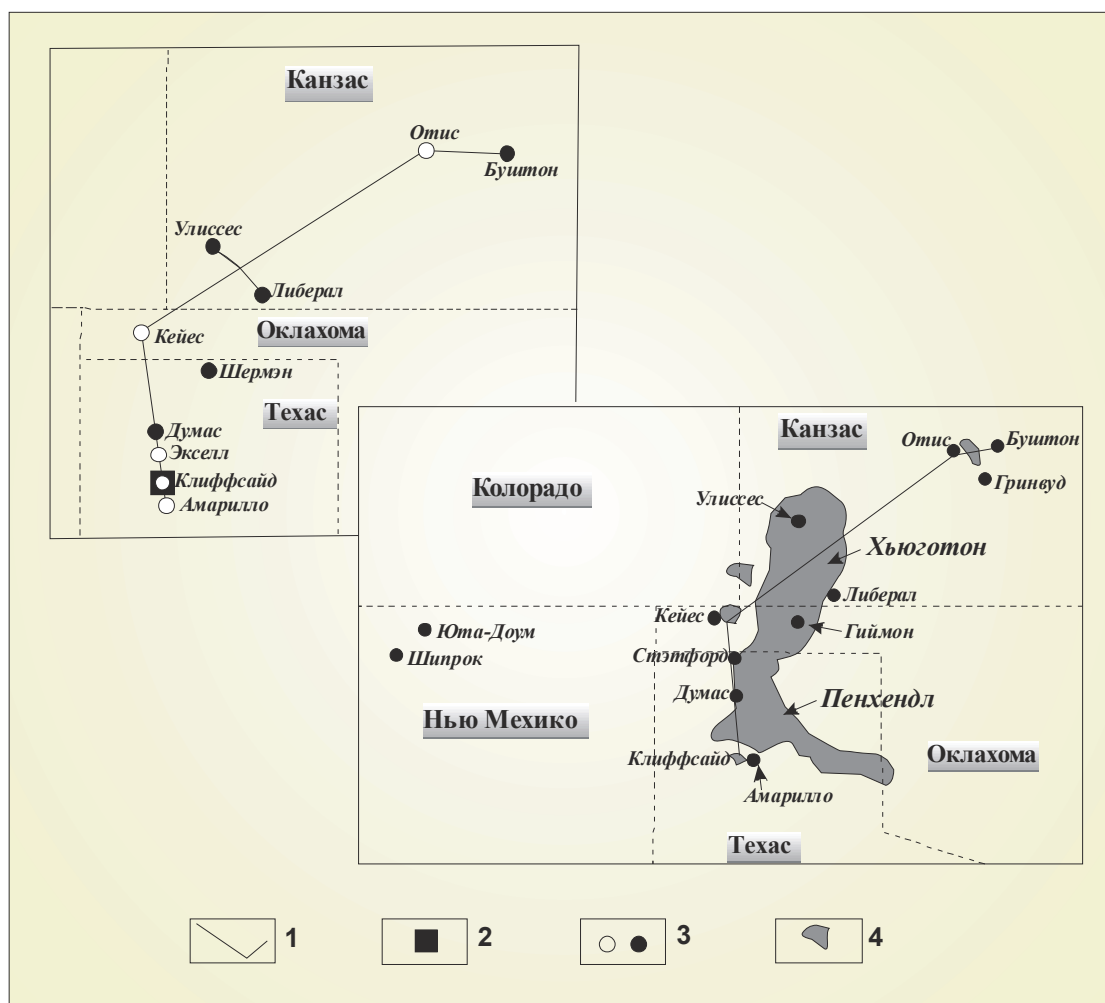
Расширение сфер применения гелия, начавшееся еще в середине XX века продолжается и ныне. Возникают новые, причем крупные, и при этом капиталоемкие потребители гелия. К примеру, расширяется сеть сверхскоростных железнодорожных магистралей на магнитном подвесе (500-600 км/ час). Соответственно растет и производство гелия (табл. 9). Поэтому вопрос о достаточности его сырьевой базы, гарантирующей стабильное и долгосрочное развитие гелиевой индустрии, приобретает важное значение.

Современная технология извлечения гелия из природных газов в мире основана на криогенных методах, предложенных ещё в 20-х годах прошлого столетия Х. Камерлинг-Оннесом и К. Линде. Попытки перейти на адсорбционные или диффузные методы его извлечения из газов, основываясь в последних на различиях в проницаемости отдельных компонентов газа через молекулярные сита (полимеры), не увенчались успехом при попытках его извлечения в промышленных масштабах. По данным фирмы Дюпон, построившей в Канаде опытно-экспериментальный завод для оценки возможностей этого метода, выяснилось, что неизбежное напыление на диффузные поверхности микродисперсных частиц, несомых природным газом, и необходимость их регулярной очистки (замены) сводят на нет ожидаемые технико-экономические преимущества диффузного метода сравнительно с криогенным. К тому же, у них крайне низкая производительность.

Таблица 8

Основные газогелиевые заводы, построенные в США до 1963 г. [Кемпбелл, 1994]

Вид собственности (до 1996 г.)	Завод (месторождение), нахождение	Производительность по гелию, млн.м ³ /год	Содержание в газе- сырце, % (об.)		Год пуска	Стоимость завода, млн.долл.США (по курсу цен 1965 г.)
			гелия	азота		
Правительственные, а также заводы американского Горнорудного управления (Горное бюро), выпускающие гелий «А» (99,995% чистоты)	Амарилло (Клиффсайд) Техас	1,7	1,8	25	1929	2,1
	Экселл (Пенхендл) Техас	6,79	0,9	10-18	1943	8,5
	Отис, Канзас	1,42	0,7-1,4	14,5	1943	3,0
	Шипрок (Раттлснейк) Нью-Мексика	1,42	5,8	80	1944	2,7
	Кейес (Кейес), Оклахома	8,5	2,0	26,5	1959	11,1
	Керр-Мак-Гиз (Пинта- Доум) Аризона	н.с.	8,2	90,1	1962	н.с.
Частные заводы (в основном на газопроводах), выпускавшие гелий-сырец (азотно-гелиевый концентрат, содержащий в среднем 70% гелия) для продажи Горному Бюро на хранение, а также товарный гелий на продажу	Буштон, Канзас	н.с.	0,46		1962	23,0
	Улиссес, Канзас	н.с.	0,43		1963	22,0
	Либерал, Канзас	90	0,30		1963	30,0
	Думас, Канзас	110	0,66-0,71		1963	25,0
	Хенсфорд, Техас	н.с.	0,66-0,71		1962	25,0



Условные обозначения: 1 – гелиетрубопровод к гелиезаохранилищу в Клиффсайте;
 2 – гелиезаохранилище в выработанном газогелиевом месторождении Клиффсайд;
 3 – гелиеизвлекающие заводы по выпуску товарного гелия и азотно-гелиевого концентрата;
 4 – газогелиевые месторождения.

Рис. 5. Схема расположения гелиевых заводов, гелиетрубопроводов и месторождений Мидконтинента США [Намак, Gage; 1993 с дополнением]

В основе криогенной технологии извлечения гелия из газов, широко реализованной в мире, вот уже почти столетие лежит процесс ожижения (конденсации) всех основных газовых компонентов (CH_4 , TU , CO_2 , H_2S) в соответствии с их критическими параметрами (см. табл. 7), в целом до температуры кипения метана - минус 160°C (при повышенном давлении). Затем производится очистка газового остатка – азотно-гелиевого концентрата от примесей (N_2 , H_2 , Ar , Ne и др.) для производства товарного гелия (технического или разного уровня чистоты) или закачка азотно-гелиевого концентрата, без его очистки в хранилище.

На этом же принципе основано и производство гелия на базе процесса NGL в Алжире и Катаре.

Таблица 9

**Производство гелия в мире (млн.м³) из природных газов
[Фетгах, с дополнением]**

страна	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2005
США	116	118	114	117	87*	87*	87*
Алжир	16	16	16	16	16	17	17
Россия	4,2	4,2	4	5,3	5,3	6,1	3,8 (2006 г.)
Польша	1,4	1,4	1	1	1	1	1
Катар	-	-	-	8	8	8	17
Канада, Китай, Нидерланды и др.	н.с.	н.с.	н.с.	н.с.	н.с.	н.с.	н.с.
Всего по странам с учтенными в перечне сведениями	137,6	139,6	135	147,3	115,3*	119,1*	125,8*

* без учета реализации резервного запаса гелия из хранилища в Клиффсайде в 2001-2005 гг.

Источник: US Geological Survey, Mineral Commodity Summaries

Полномасштабное ожижение природных газов до температуры кипения гелия, основанное на адиабатическом «сжатии-расширении» (конденсационно-отпарный метод), - металло- и энергоёмкий процесс. Чем больше азота в составе газов, тем больше объем остаточного азотно-гелиевого концентрата, ниже содержание гелия, выше энергозатраты на конденсацию азота и больше себестоимость товарного гелия.

К примеру, по данным ЛенНИИХимМаш (2002 г.), азотно-гелиевый концентрат, получаемый из природных газов Ковыктинского месторождения (N₂-1,56%; He-0,26%) будет содержать 85,6% гелия, а из Собинского (N₂-25,4%; He-0,56 %) – всего 1,88% гелия. Соответственно меняется и себестоимость получаемого из них гелия, даже при прочих равных условиях, которые по факту далеки от таковых. Именно поэтому при оценке качества газогелиевого сырья как источника промышленного извлечения гелия необходимо учитывать не только гелиесодержание в газах, но также и других его составляющих, особенно низкокипящего азота.

Практически все современные гелиевые заводы в мире, а их ныне около 16, технологически работают на одном и том же принципе – низкотемпературной конденсации всех основных фракций газа, включая низкотемпературный азот. В остаточной газовой части технического гелия H₂ и Ne удаляют путем окисления (сжигания) водорода на катализаторе и адсорбции неона. Неизбежные остаточные примеси удаляют из технического гелия (99,8%) до заказанных потребителем степеней его чистоты, вплоть до 4-5 знака после запятой, соответственно увеличивается и цена гелия высокой чистоты.

Ныне как в Алжире, так и в Канаде намечается дальнейшее увеличение производства сжиженного газа и, соответственно, как побочного продукта гелиевого концентрата, то есть объемы производства гелия на основе процессов NGL возрастут. Базовая часть товарного гелия в ближайшие годы будет поступать на мировой рынок по-прежнему из США, причем при необходимости, она может быть даже увеличена за счет его отбора из хранилища. Роль всех остальных стран мира в современной гелиевой индустрии (Китай, Польша, Франция и пр.) незначительна, включая и Россию.

Суммарное потребление гелия в мире, основываясь на ежегодной норме роста спроса на него за 1995-2002 гг. – 5,7% [Феттах, 2006] могло бы составить в 2010 г. 210-220, а к 2020 г. 380-410 млн.м³. Но учтем понижающее влияние современного мирового финансово-экономического кризиса, который в первую очередь скажется на развитии и внедрении инновационных проектов, в числе которых многие основаны на использовании гелия и примем, что мировое потребление гелия к 2020 г. не превысит 300 млн. м³. Только подготовленные к началу 2009 г. по промышленным категориям запасы качественного гелиевого сырья (> 0,15%) в мире составляют, как показано выше, 36 млрд. м³, т.е. при современном уровне мирового потребления гелия около 160 млн. м³ (2006 г.) уже имеющиеся его запасы способны обеспечивать его потребление в течение более 200 лет и даже если учесть, что далеко не весь объем качественного газогелиевого сырья будет использоваться для извлечения гелия, а лишь его часть, то и в этом варианте у мировой гелиевой индустрии имеются более чем хорошие перспективы для её развития и, соответственно, расширения областей и объемов потребления гелия.

Но надо учитывать, что прямой связи между обеспеченностью спроса гелия и его запасами быть не может поскольку гелий является попутным компонентом-примесью в природных газах и следовательно находится в жесткой зависимости от возрастающих масштабов добычи газа, в том числе высокогелиевого. Это настораживает и вынуждает принимать меры по защите от потерь хотя бы наиболее высококачественной части газогелиевого сырья, например, с гелиесодержанием более 0,2-0,3%. Способы такой защиты ограничены – или консервировать (не разрабатывать) месторождения с высоким гелиесодержанием, сохраняя их на перспективу в виде резерва, или извлекать из них не только товарный гелий, но и азотно-гелиевый концентрат для хранения в полном или частичном объеме, что и было реализовано в США по Программе 1960-1973 гг. Выбор между этими возможностями определится энергообеспеченностью и экономикой страны, владеющей качественными ресурсами гелия. Особая роль в решении этого вопроса

принадлежит России, поскольку именно на её территории сосредоточена значительная часть планетарных ресурсов гелия в высококачественном газогелиевом сырье (0,2-0,6%). И, если запасы гелия во многих странах идут на убыль в связи с длительной газодобычей, то в России они практически еще не начали разрабатываться и продолжают увеличиваться в ходе геологоразведочных работ в перспективной на гелий Восточной Сибири.

В неотдаленном будущем, 2015-2017 гг., в Восточной Сибири планируется интенсивная газодобыча для внутреннего газоснабжения всего востока России и, главным образом, экспорта газа в страны АТР. Причем именно высокогелиеносных газов, так как низкогелиеносных среди открытых на юге Сибирской платформы нет.

Если ориентироваться на добычу газа только из газовой шапки Чаяндинского месторождения (He – 0,43%) в начальном объеме 30 млрд.м³, то ежегодная утрата запасов гелия составит около 130 млн.м³, т.е. в объеме близком к его современному мировому потреблению. Со временем, по мере освоения газогелиевых месторождений Восточной Сибири с топливными, технологическими и экспортными целями, эти потери резко возрастут. Поэтому проблема рационального и комплексного освоения газогелиевого сырья должна быть решена своевременно, причем не только в совокупности с его высокой товарной значимостью на внутреннем и мировом рынках, но также с учетом его уникальных свойств и незаменимостью во многих инновационных отраслях, ограниченностью его высококачественных ресурсов в планетарном масштабе и, соответственно, их невозполнимостью и, особенно, попутным характером его запасов в природных газах, интенсификация добычи которых с топливно-энергетическими целями возрастает во всем мире.

В 2006 г. при Кембриджском университете по проекту «Ресурсы гелия» были начаты, при спонсорской поддержке компаний ВОС (Британская компания по индустриальным и специальным газам) и программы UKAE's Fusion Engineering Outreach, трехгодичные исследования. Ожидаемый результат исследований – «установить как долго индустрия может рассчитывать на этот редкий ресурс». Вопрос кардинальный, т.к. либо открывает, либо тормозит важнейшие для мировой цивилизации направления исследований в области безопасной ядерной энергетики, криогенных технологий, наземного скоростного транспорта на магнитной подушке, повсеместного формирования в системах мирового здравоохранения широкой сети магнитных томографов (ЯМР), микроэлектроники, космических и оборонных исследований и многих других, пока еще только зарождающихся потребителей, основанных на уникальных свойствах гелия, незаменимых другими элементами [Якуцени, 2009]. Ответ

на этот кардинальный вопрос, который может быть дан на основе уже состоявшихся, реальных открытий запасов высококачественного газогелиевого сырья только в пределах России, на территории Восточно-Сибирской платформы, безусловно, положительный и прежде всего на ближайшее столетие, но при условии рационального освоения и сохранения имеющихся и прогнозируемых ресурсов качественного газогелиевого сырья.

Литература

Дитон В.М., Хейнес Р.Д. Завод по производству гелия в Кейес. Добыча, производство и применение гелия в США // Сб. переводов № 1. - Газовое дело, 1961.

Кемпбелл Дж. Позиция американского правительства в отношении гелия – два пути к реформе // *Cryo Gas International J*, 1994. - №4. - V.33.

Ремизов В.В. и др. Об экспорте природного газа в страны Азиатско-Тихоокеанского региона // *Минеральные ресурсы России*, 1999. - №4. - С.30-35.

Феттах Р. Перспективы использования гелия (Алжир) // *Нефть, газ и энергетика*, 2006. - №3. - С. 32-39.

Якуцени В.П. Геология гелия. - Л.: Л.О. Недра, 1968. – 232 с.

Якуцени В.П. Сырьевая база гелия: Состояние, перспективы освоения и использования // *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*, 2001. - №2. - С.10-22.

Якуцени В.П. Традиционные и перспективные области применения гелия 0420900064\0008 // *Нефтегазовая геология. Теория и практика. Электрон. науч. журнал ВНИГРИ*. http://www.ngtp.ru/rub/3/5_2009.pdf

Hamak J.E., Gage B.D. Helium Resourses of the United States. 1991. Bureau of Mines I.C.-9342/ US Departament of the Inerior, 1993. - 18p.

Kauter K. Zum Rohstoff Helium. *Z. Angew. Geol.* 8, № 76. - 1962.

Leachman W. D. Helium Minerals. - Yearbook, 1989. - P. 503-508.

Wordwide Look at reserves at reserves and production // *Oil and gas J.*, 2008. - V.106. - №48.- P. 24-25.

Yakutseni V.P.

All Russia Petroleum Research Exploration Institute (VNIGRI), St.-Petersburg, Russia ins@vnigri.spb.su

HELIUM RESOURCE BASE IN THE WORLD AND THE PROSPECTS OF HELIUM INDUSTRY DEVELOPMENT

The basic data on helium production in the world, its scales and the major countries—helium producers are given. Particular emphasis is placed upon the qualitative composition of natural gases containing helium and the bases of its forecast. World helium reserves are estimated as of 2009 beginning with their differentiation by helium resource quality. It is shown that helium main reserves (resources) are concentrated in the natural gases of the Siberian platform in Russia and in the gases of the Midcontinent and Rocky Mountains in the USA. They are also present in small quantities in other countries. Particular attention is given to the necessity of taking the steps to protect high-qualitative gas-helium resources from losses in fuel utilizing or exporting Eastern Siberia natural gases in which helium is present as a component-admixture (<1%).

Key words: helium, gases with high content of helium, helium sources, consumption volumes, helium resources, helium-gas-storage.

References

Diton V.M., Hejnes R.D. Zavod po proizvodstvu geliâ v Kejes. Dobyča, proizvodstvo i primenenie geliâ v SŠA // Sb. perevodov # 1. - Gazovoe delo, 1961.

Kempbell Dž. Poziciâ amerikanskogo pravitel'stva v otnošenii geliâ – dva puti k reforme //Cryo Gas International J, 1994. - #4. - V.33.

Remizov V.V. i dr. Ob èksporte prirodnogo gaza v strany Aziatsko-Tihookeanskogo regiona // Mineral'nye resursy Rossii, 1999. - #4. - S.30-35.

Fettah R. Perspektivy ispol'zovaniâ geliâ (Alžir) // Neft', gaz i ènergetika, 2006. - #3. - S. 32-39.

Âkuceni V.P. Geologiâ geliâ. - L.: L.O. Nedra, 1968. – 232 s.

Âkuceni V.P. Syr'evaâ baza geliâ: Sostoânie, perspektivy osvoeniâ i ispol'zovaniâ // Mineral'nye resursy Rossii. Èkonomika i upravlenie, 2001. - #2. - S.10-22.

Âkuceni V.P. Tradicionnye i perspektivnye oblasti primeneniâ geliâ 0420900064\0008 // Neftegasovaâ geologiâ. Teoriâ i praktika. Èlektron. nauč. žurnal VNIGRI. http://www.ngtp.ru/rub/3/5_2009.pdf

Hamak J.E., Gage B.D. Helium Resorses of the United States. 1991. Bureau of Mines I.C.-9342/ US Departament of the Inerior, 1993. - 18p.

Kauter K. Zum Rohstoff Helium. Z. Angew. Geol. 8, № 76. - 1962.

Leachman W. D. Helium Minerals. - Yearbook, 1989. - P. 503-508.

Wordwide Look at reserves at reserves and production // Oil and gas J., 2008. - V.106. - №48.- P. 24-25.