

УДК 553.98:546.291

Ю.Б. Силантьев, Т.О. Халошина

## Особенности локализации ресурсов гелия в нефтегазоносных бассейнах мира

### Ключевые слова:

газ,  
нефть,  
ресурсы,  
осадочные породы,  
гелий,  
нефтегазовые  
системы.

### Keywords:

gas,  
oil,  
resources,  
sedimentary rocks,  
helium,  
oil and gas systems.

Проблема формирования гелиеносности газовых месторождений (их пространственной локализации) изучается с 1907 г. Процессам гелиенакопления посвящены работы [1, 2] и исследования отечественных геологов – В.В. Белоусова, В.П. Савченко, В.А. Соколова, А.Л. Козлова, В.П. Якуцени и др.

Большая часть промышленных скоплений гелия приурочена к разномасштабным нефтегазовым объектам:

- нефтегазоносным бассейнам (НГБ) древних платформ с допалеозойским фундаментом;
- относительно приподнятым зонам НГБ, где мощность осадочного чехла не превышает 3÷4 км, в том числе к прибортовым зонам мегадепрессий [1];
- газовым и нефтяным месторождениям.

Пространственная локализация гелиенакопления контролируется особенностями структуры углеводородной сферы и радиогенной природой основной массы гелия в земной коре.

Большая часть гелия представлена его тяжелым (нейтральный атом) изотопом  $He^4$  – продуктом радиогенного распада: уран-ториевого ряда. Излучаемая при этом альфа-частица представляет собой ядро атома гелия с двумя электронами. В процессе взаимодействия с веществом земной коры она, присоединив к себе два электрона, трансформируется в  $He^4$  [3].

Природные нефтегазовые системы обладают способностью углеводородов (УВ) накапливать наибольшие концентрации гелия [4]. Растворимость гелия в сжатых (пластовых) газах почти на два порядка выше, чем в пластовых водах; растворимость гелия в нефтях занимает промежуточное положение (рис. 1). Модель глубинной зональности концентрации гелия в природном газе и пластовой воде указывает на приуроченность основной части запасов (и ресурсов) гелия к глубинам до 4,0 км.

В основном гелий – продукт распада  $^{235}U$ ,  $^{238}U$  и Th. Генерация гелия в земной коре – процесс медленный: одна тонна гранита содержит до 2 г урана и 10 г тория, т.е. за миллион лет продуцируется 0,5  $cm^3$  гелия.

В природных газах (в основном в скоплениях метанового состава) гелий присутствует в небольших количествах – до 1,5÷10,0 %.

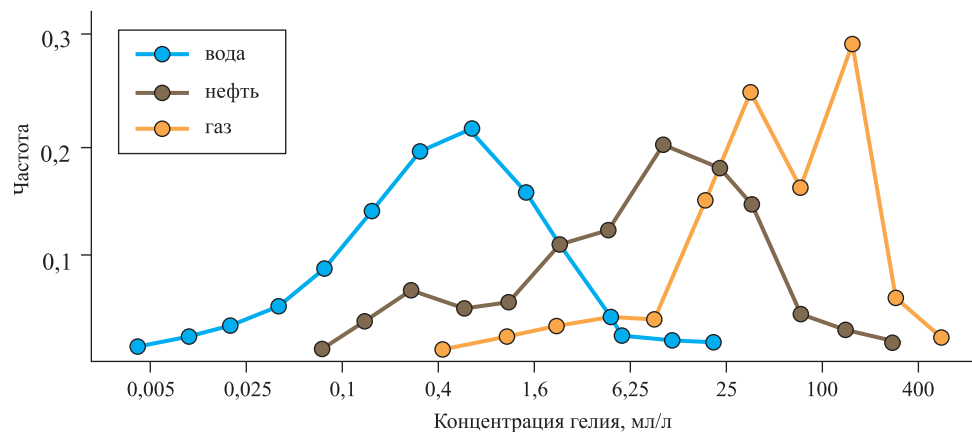


Рис. 1. Распределение концентраций гелия во флюидах [5]

Запасы гелия на земле оцениваются в  $5 \cdot 10^{14}$  м<sup>3</sup>, современный объем его рынка – на уровне  $150 \cdot 10^6$  м<sup>3</sup>. В литосфере гелия в 200 раз больше, чем в атмосфере: содержание гелия в земной коре – 0,003 мг/кг, а в воздухе – 0,00052 % об. [3].

Преимущественно радиогенный генезис обуславливает приуроченность большей части (95 %) гелия к древним платформам (рис. 2). Радиогенная природа основной массы гелия в земной коре подтверждается и характером его изотопного состава. Соотношение изотопов  $He^3$  и  $He^4$  в НГБ изменяется в пределах  $0,5 \cdot 10^{-8}$ – $88 \cdot 10^{-8}$  и на 2–3 порядка отличается от аналогичного соотношения изотопов в мантии, атмосфере и космосе. Это соответствует закономерности радиоактивного распада: чем больше  $\alpha$ -излучение в породах (которое находится в прямой зависимости от их возраста и длительности радиораспада), тем больше гелия в них генерируется.

В литосфере эти условия наиболее характерны для древних пород преимущественно кислого состава – архейских нуклеаров, в связи с чем становится понятной приуроченность основных объемов генерированного гелия к осадочным бассейнам древних платформ.

Однако, несмотря на подтверждение радиогенной природы гелия в углеводородных скоплениях, его связь с возрастом вмещающих пород не столь тесна, как предполагалось. Оказалось, что гелиеносность газов зависит

от возраста НГБ лишь в целом. Гелиеносность мезозойских отложений древних платформ (Днепровско-Донецкая впадина и др.) выше, чем на эпигерцинских платформах, несмотря на то, что первые залегают ближе к поверхности, а вторые – к фундаменту. Наличие таких аномалий указывает на особенности онтогенеза гелия, связанные с его высокой миграционной способностью.

Приуроченность зон аккумуляции гелия к маломощным зонам осадочного чехла древних платформ обусловлена обратной зависимостью между гелиеносностью скоплений свободного газа и мощностью осадочного чехла [1, 5]. Согласно этой зависимости, фоновые концентрации ( $C$ ) свободного гелия в газах растут регионально по мере уменьшения мощности осадочного покрова (рис. 3) и не зависят от глубины залегания ( $H$ ) скоплений УВ.

Особенно четко эта зависимость проявляется при анализе распределения гелия внутри НГБ: по мере уменьшения мощности осадочного чехла гелиеносность в некоторых НГБ древних платформ увеличивается более чем на порядок [2]. Так, содержание гелия в газах кембрийских и ордовикских отложений (и связанных с ними нефтегазоносных комплексов), непосредственно перекрывающих фундамент в наиболее прогнутой части впадины Анадарко, оказывается на порядок ниже, чем в залежах пермских отложений бортовых частей того же Западного внутреннего бассейна США [4].

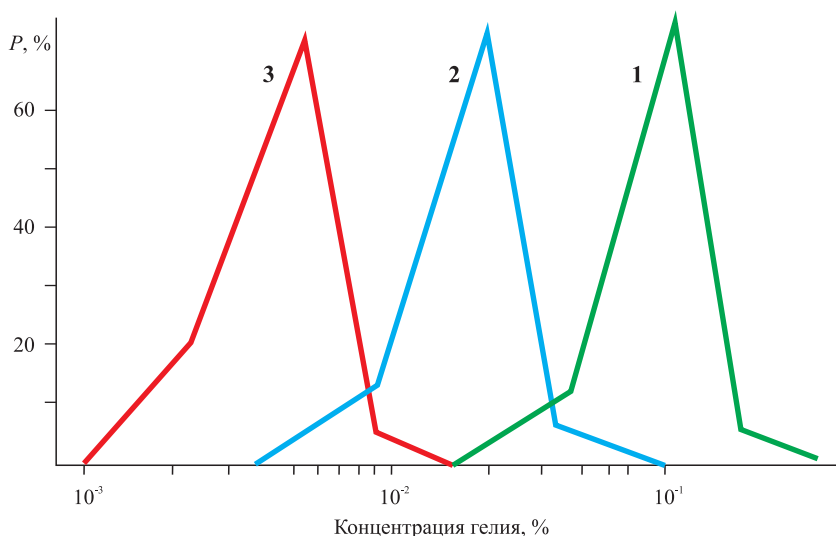
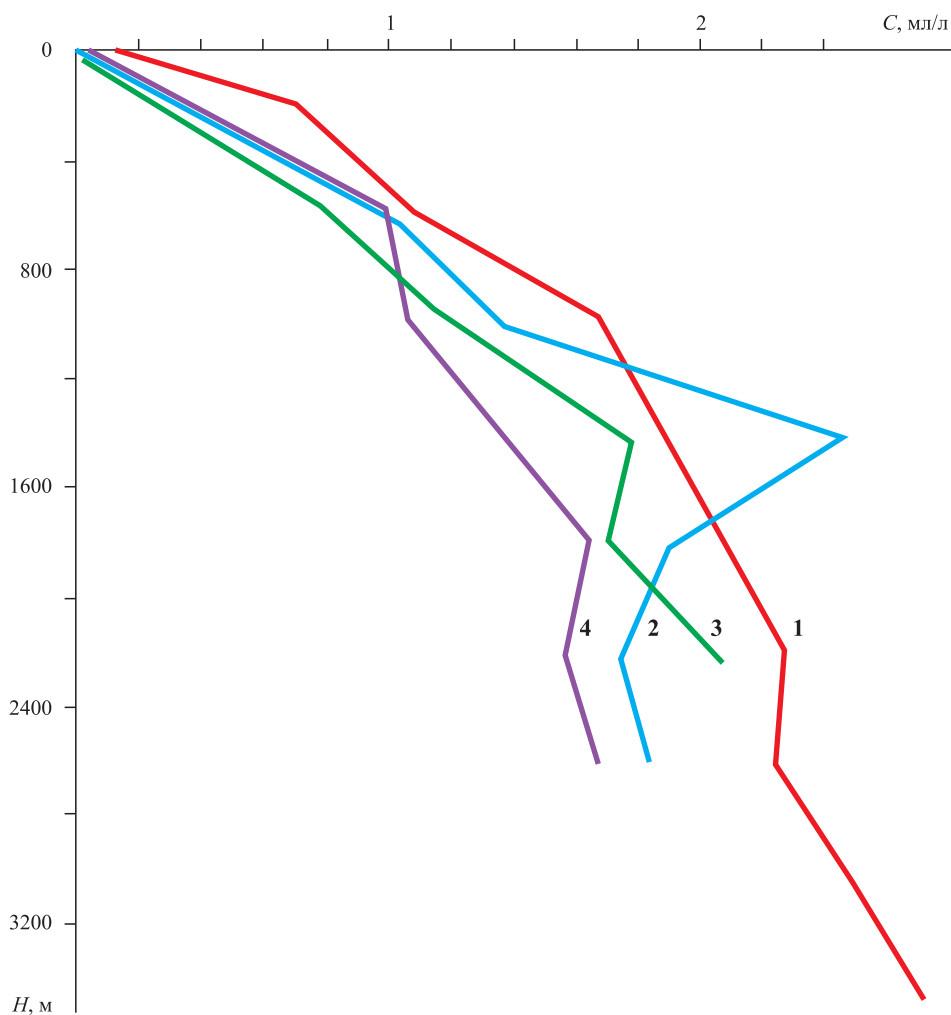


Рис. 2. Вероятность ( $P$ ) распределения запасов гелия в зависимости от возраста консолидации фундамента [1]:

1 – древние платформы; 2 – эпигерцинские платформы;  
3 – районы глубокого (более 5 км) прогибания земной коры



**Рис. 3. Зависимость концентраций гелия в пластовых водах от глубины их залегания на территориях Русской платформы (1), в Северном Предкавказье (2), Бухаро-Хивинской нефтегазоносной области (3) и Западно-Сибирской плиты (4) [1, 3]**

Аналогичная ситуация характерна и для других НГБ древних платформ, в частности Восточно-Европейской и особенно Восточно-Сибирской.

Для содержания гелия в пластовых водах характерна прямая зависимость между глубинами и его концентрацией, однако это в значительной мере связано с глубинными перетоками флюидов (в том числе метеорных вод). Процессы последующей генерации газа и его латеральной (к бортам) миграции УВ приводят к последующему обогащению гелием верхних частей разреза [1].

Оптимальные условия для накопления гелия создаются в ограниченной части осадочного чехла НГБ с преимущественно допалеозойским фундаментом, залегающей на глубине 3÷4 км, что подтверждается фактическим рас-

пределением подавляющей части ресурсов/запасов гелия. Выявленная закономерность касается наиболее распространенных (или фоновых) концентраций гелия в свободных газах, с которыми и связаны основные ресурсы гелия. Это не исключает возможности аномальных концентраций гелия в районах с мощностью осадочного чехла более 4000 м, в частности в приразломных зонах и зонах метаморфизма. Их существование связано с миграцией гелия из радиогенных очагов, в том числе в районах тройственных узлов и региональных разломов. Большое значение в распределении гелия имеет наличие галогенных экранов (Оренбургское, Астраханское и другие месторождения).

Основная часть скоплений гелия связана с газами углеводородного состава, меньшая – приурочена к азотсодержащим газовым залежам.

Азот в этих углеводородных скоплениях ведет себя так же, как гелий: его концентрация растет по мере вздымания фундамента к бортовым частям НГБ.

Таким образом, генетической основой для пространственного прогноза распространения в литосфере скоплений газов, обогащенных гелием, являются обогащенность пород литосферы радиоактивными элементами (ураном, торием и др.) и их возраст. Учет этого генетического параметра (обогащенности пород) достаточно сложен из-за особенностей радиогенно-седиментогенного онтогенеза гелия, так как он, в отличие от традиционных УВ, стремится к рассеиванию, а не к концентрированию.

Следует отметить пульсационный характер генерации гелия, связанный с тектономагматической активизацией отдельных областей в осадочно-породных бассейнах (рифтогенезом, трапповыми излияниями и т.п.).

По мобильности гелий уступает лишь водороду, но в отличие от него гелий инертен, т.е. не удерживается минерально-породной матрицей литосферы. Среди инертных (аргон, криптон и др.) газов только гелий не накапливается в литосфере, рассеиваясь вместе с водородом в открытом космосе и создавая гелиево-водородный шлейф [4].

Значительное влияние на распределение гелия оказывают особенности формирования углеводородных систем. В частности, повторная газогенерация, связанная с погружением нефтегазогенерирующих толщ на большие глубины (более 50 м), приводит к уменьшению содержания гелия даже в отложениях палеозоя [1, 5].

Несмотря на некоторую неопределенность прогноза гелиеносности природных газов, высокая степень региональной изученности большинства НГБ позволяет с большей вероятностью прогнозировать содержание гелия в угле-

водородных системах ряда бассейнов в зависимости от особенностей их тектогенеза и осадочного выполнения.

Основной объем планетарных геологических ресурсов гелия связан с криптозойскими породами и перекрывающими их газоносными отложениями позднего докембрия и палеозоя. В свободных скоплениях газа они приурочены к глубинам менее 3,0÷4,0 км (в пределах древних платформ).

Гелиеносность газовых скоплений акваторий значительно ниже даже в отложениях палеозоя. В основном это связано с базальтификацией океанической коры, сопровождающейся уменьшением содержания радиоактивных элементов урано-ториевого ряда.

В отложениях молодых платформ и зонах глубокого залегания фундамента содержание гелия в природном газе резко уменьшается, составляя в среднем на эпигерцинских платформах 0,01÷0,02 %, а в зонах прогибания – 0,001÷0,005 % (таблица). Установленные исключения (содержание гелия – более 1 %) связаны с газопроявлениями в межгорных впадинах, районах тектоно-магматической активности, в пределах реликтовых блоков древнего фундамента (Скалистые горы, возможно, Таримский бассейн и др.), особенно в скоплениях азотных и углекислых газов.

Представленные закономерности локализации ресурсов гелия помимо теоретических аспектов имеют практическое значение. Они позволяют вести целенаправленные поиски высококачественного гелиевого сырья в наиболее перспективных для гелиенакопления участках. Последние, как показывает приведенная информация, приурочены к наиболее изученным областям выявленных НГБ.

Оценки ресурсов и запасов гелия в мире опираются на огромный аналитический материал.

#### Кластеризация природных газов по гелиеносности

Гелиеносность, %	Продуктивные отложения	He <sup>3</sup> /He <sup>4</sup>	Геоструктурная приуроченность НГБ
Менее 0,005 0,005÷0,010	Кайнозой	10 <sup>-7</sup> ÷10 <sup>-6</sup>	Альпийские подвижные пояса, глубокие прогибы
0,010÷0,050	Мезозой	10 <sup>-7</sup>	Эпигерцинские плиты, шельфовые зоны, области прогибания
0,050÷0,100 0,100÷1,000	Палеозой – протерозой	10 <sup>-8</sup>	Древние платформы
Более 1,000	Палеозой, реже мезозой	10 <sup>-6</sup> ÷10 <sup>-8</sup>	Внутриплатформенные зоны мезозойской складчатости (области тектоно-магматической активизации)

В США они выполняются регулярно на государственном уровне Бюро минеральных ресурсов.

В XX столетии изучению и освоению ресурсов гелия уделялось особое внимание.

Очевидно, что и сейчас эти проблемы актуальны. Для их решения необходимо создание в академических и отраслевых институтах специальных научно-производственных подразделений.

### Список литературы

1. Якуцени В.П. Сырьевая база гелия в мире и перспективы развития гелиевой промышленности / В.П. Якуцени // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – СПб., 2009. – № 4. – С. 1–24.
2. Конторович А.Э. Сырьевая база и перспективы развития гелиевой промышленности России и мира / А.Э. Конторович, А.Г. Коржубаев и др. // Минеральные ресурсы России. – 2007. – № 3. – С. 10–22. – (Серия «Экономика и управление»).
3. Helium // Mineral Commodity Summaries us Department of the terior U.S. Geological survey. – 2004. – P. 80–81.
4. Иванов Б.А. Проблемы добычи и использования гелия / Б.А. Иванов // Холодильное дело 1996. – № 2. – С. 26–31.
5. Фетмах Р. Перспективы использования гелия (Алжир) / Р. Фетмах // Нефть, газ и энергетика. – 2006. – № 3. – С. 33–39.