

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ РЕСУРСОВ ГЕЛИЯ ЦЕНТРАЛЬНЫХ И ЮЖНЫХ РАЙОНОВ ЛЕНО-ТУНГУССКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

Л.М. Бурштейн¹, А.Э. Конторович^{1,2}, В.Р. Лившиц^{1,2}, С.А. Моисеев¹, Е.С. Ярославцева¹

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия

² Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 1, Россия

Предложена и апробирована методика вероятностной оценки величины и структуры (распределение по концентрациям гелия в свободном газе, скоплениям различной крупности, зонам локализации, стратиграфическим комплексам) ресурсов гелия и гелийсодержащих газов. На основе обобщения имеющейся геологической информации о строении осадочного чехла, информации о выявленных скоплениях гелийсодержащих газов впервые дана вероятностная оценка величины и структуры их ресурсов и ресурсов гелия для центральных и южных районов Лено-Тунгусской провинции. Результаты прогноза послужат надежной базой для геолого-экономической оценки ресурсов гелиевого сырья, перспективного планирования освоения газовых месторождений Восточной Сибири и Республики Саха и создания там крупной гелиевой промышленности.

Газ, гелий, ресурсы, запасы, вероятностная оценка, Лено-Тунгусская провинция

PROBABILISTIC ESTIMATION OF THE HELIUM RESOURCES IN THE CENTRAL AND SOUTHERN AREAS OF THE LENA–TUNGUSKA PETROLEUM PROVINCE

L.M. Burshtein, A.E. Kontorovich, V.R. Livshits, S.A. Moiseev, and E.S. Yaroslavtseva

We propose and test a method for probabilistic estimation of the scale and structure (distribution of helium concentrations in free gas, accumulations of different sizes, localization zones, and stratigraphic complexes) of helium and helium-containing gas resources. Summarizing the available geological information about the structure of the sedimentary cover and data on the revealed accumulations of helium-containing gases, we have first made probabilistic estimation of the scale and structure of their resources as well as helium resources in the central and southern areas of the Lena–Tunguska province. The forecast results will serve as a reliable basis for geological and economic estimation of helium resources, for long-term planning of gas field development in East Siberia and the Republic of Sakha, and for helium industrialization in these regions.

Gas, helium, resources, reserves, probabilistic estimation, Lena–Tunguska province

ВВЕДЕНИЕ

Производство гелия в мире в 2017 г. составило около 160 млн м³ [Helium..., 2018]. Добыча гелия в России и потери его при добыче природного газа составляют свыше 17 млн м³, из них на эффективное производство и утилизацию приходится около 6 млн м³. Ежегодный объем потерь гелия промышленных концентраций (более 0.05 %) в стране составляет около 11 млн м³ в год [Конторович и др., 2006].

Основная часть мировых запасов (88 %) сосредоточена в Катаре, России, США и Алжире. По данным [Пятницкая, Силантьев, 2013], запасы гелия в Катаре составляют 10.0 млрд м³, в России — 9.2 млрд м³, в США — 8.5 млрд м³, в Алжире — 8.4 млрд м³. Наряду с истощением ресурсно-сырьевой базы гелийсодержащего природного газа в США происходит прирост его запасов в России за счет Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции (Ангаро-Енисейский регион и западные районы Республики Саха, Якутия), Алжире и Катаре. Концентрации гелия в природном газе наиболее значительны в США — от 0.1 до 1.9 %. В других странах среднее содержание гелия в газе значительно ниже: 0.06—0.20 %, однако на месторождениях Восточной Сибири и Республики Саха — крупнейшей неосвоенной гелиевой провинции мира, этот показатель существенно выше — 0.19—0.67 %. Весь гелий, добываемый в настоящее время в России, производится на Оренбургском газоконденсатном месторождении с концентрацией гелия в природном газе — 0.053—0.055 %.

Около половины запасов гелия в России сосредоточено в Сибирском федеральном округе — в Иркутской области и в Красноярском крае (Эвенкии). Значительными запасами гелийсодержащего газа

располагает Дальневосточный округ, где на месторождениях Республики Саха (Якутия) сосредоточено свыше 30 % запасов гелия в стране.

В ядерной и термоядерной энергетике, энергетических и других системах с использованием явления сверхпроводимости, медицине, создании дыхательных смесей и т.д. гелий нельзя заменить другими веществами. В настоящий момент внутреннее потребление гелия в России не слишком значительно. Однако решения руководства страны, направленные на развитие вооруженных сил, освоение арктической зоны России, включая шельфы Северного Ледовитого океана в зоне развития многолетних льдов, создание основ низкоуглеродной энергетики, должны в ближайшей перспективе привести к резкому возрастанию внутренней потребности в гелии.

С началом реализации крупномасштабной добычи природного газа в Восточной Сибири и Республике Саха Россия может стать крупнейшим поставщиком гелия на мировой рынок, в первую очередь, Азиатско-Тихоокеанский. С учетом перспективного уровня спроса на рынке Азиатско-Тихоокеанского региона поставки гелия из России могут составить в 2030 г. около 90 млн м³. В долгосрочной перспективе возможен также экспорт на европейский рынок, что позволит заместить поставки с гелиевого завода в Оренбурге, производящего гелий из сырья с его низкой концентрацией на месторождении с падающей добычей [Конторович и др., 2006б].

Сравнительный анализ вариантов освоения газовых месторождений Восточной Сибири, Республики Саха и создания там крупной гелиевой промышленности, определения экономической целесообразности различных схем комплексной переработки природного газа невозможен без объективной оценки ресурсной базы гелиевого сырья, с учетом доступных технологических подходов к его извлечению, что и определяет **актуальность** выполненного исследования.

Основная **задача** данной работы — дать структурированную количественную оценку ресурсов и запасов гелийсодержащих газов в нефтегазовых, газонефтяных и газовых залежах в рифее, венде и нижнем кембрии месторождений Лено-Тунгусской провинции как основу планирования развития гелий-производящего промышленного комплекса России.

ОБЪЕКТЫ И МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На первом этапе исследований в качестве их объекта были выбраны скопления свободного газа (самостоятельные и в виде газовых шапок) протерозойско-палеозойского осадочного чехла центральных и южных районов Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции (ЛТ НГП). Такой выбор определялся следующими соображениями. Во-первых, эти районы достаточно хорошо изучены, что позволяет при вероятностной количественной оценке ресурсов гелийсодержащих газов использовать сравнительно надежные и хорошо обоснованные методики (см. следующий раздел). Во-вторых, очевидно, что месторождения именно этих районов, примыкающих к трассе газопровода «Сила Сибири», будут осваиваться в первую очередь. В-третьих, ресурсы гелия в попутных газах нефтяных скоплений представляют существенно меньший интерес в силукратно меньшего его содержания.

В качестве базовых материалов использовались данные государственного баланса запасов углеводородных газов и гелия, данные о геологическом строении районов исследования, обобщенные в многочисленных публикациях [Якуцени, 1968, 2008, 2009а, б; Бейлин и др., 2003; Конторович и др., 2005а, б, 2006а, б; Пятницкая, Силантьев, 2013; Арчegov, 2015].

В терминах нефтегазогеологического районирования территория исследований охватывает Байкитскую, Непско-Ботуобинскую, Ангаро-Ленскую, Присаяно-Енисейскую и Предпатомскую нефтегазоносные области (НГО) ЛТ НГП [Конторович и др., 2017]. На последние две НГО результаты полученной оценки распространяются с некоторой долей условности в силу их сравнительно низкой изученности.

На территории исследования выявлено (по состоянию на 01.01.2017 г.) 78 месторождений, из них на 68 есть скопления свободного газа (всего 332 залежи) (рис. 1). Запасы гелия поставлены на баланс на 32 месторождениях (245 залежей свободного газа с запасами гелия). На 13 месторождениях (115 залежей газа с запасами гелия) не всем залежам свободного газа соответствуют учтенные запасы гелия.

Суммарные начальные запасы свободного газа на территории исследования (категории А, В, С₁ и С₂ по временной классификации 2001 г.) на 01.01.2017 г. составляют 8.31 трлн м³, в том числе в рифейском нефтегазоносном комплексе (НГК) 0.50 трлн м³, в венд-нижнекембрийском НГК 7.34 трлн м³ и кембрийском НГК 0.47 трлн м³. Стоящие на балансе начальные запасы гелия составляют 20.51 млрд м³. По НГК они распределены следующим образом: рифейский — 0.76 млрд м³, венд-нижнекембрийский 19.18 млрд м³ и кембрийский — 0.57 млрд м³.

Важно отметить, что 2.18 трлн м³ начальных запасов газа, стоящих на государственном балансе, не ассоциированы с запасами гелия, хотя наличие в них гелия не вызывает сомнения. Уверенность в этом основана на очевидной региональной гелииносности территории исследований и на характере распределения запасов гелия на месторождениях, где они учтены лишь для части залежей. Анализ причин

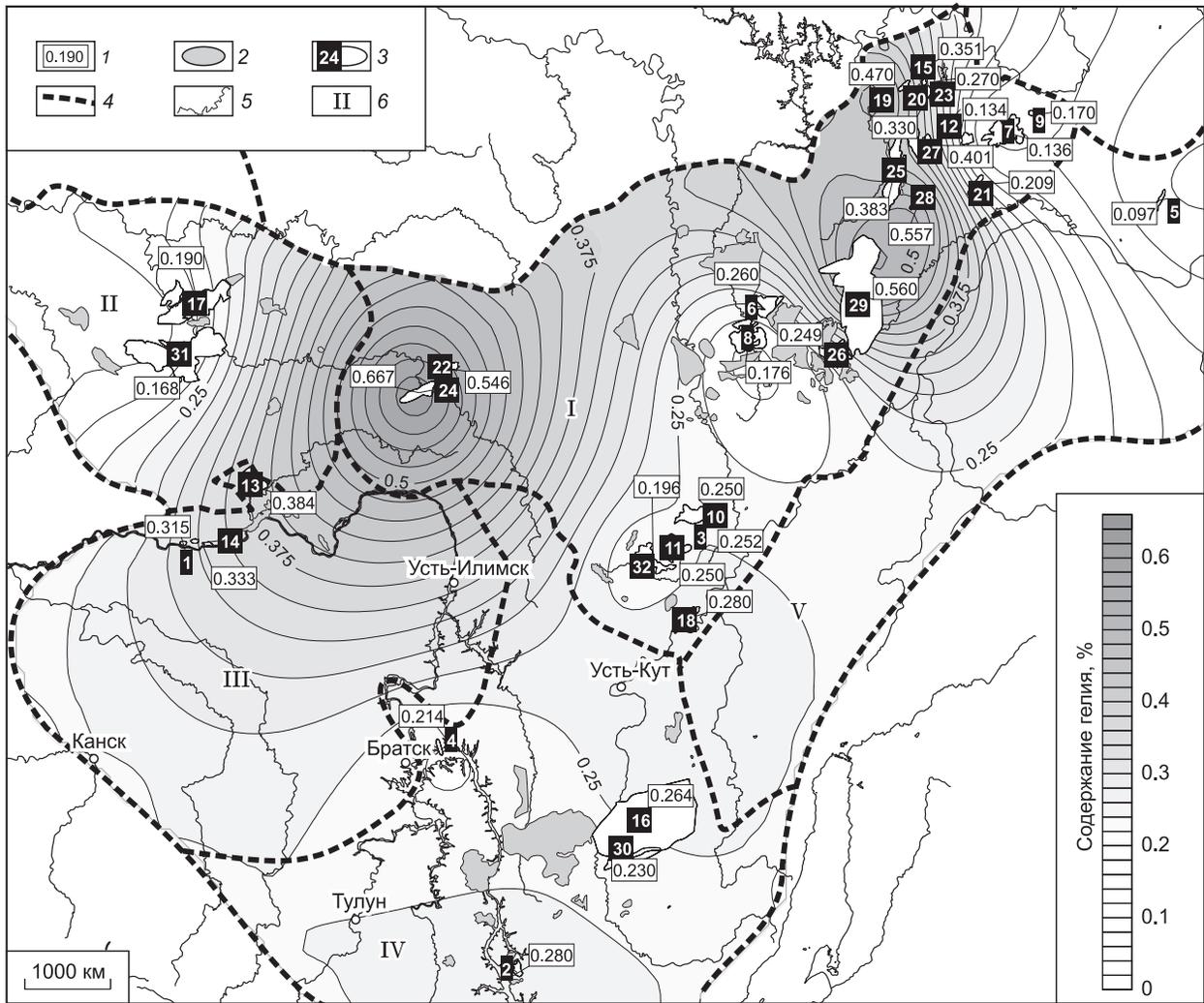


Рис. 1. Распределение по площади концентраций гелия в свободном газе месторождений южных и центральных районов ЛТ НГП.

I — средневзвешенное содержание He (%); 2 — месторождение; 3 — месторождение с запасами He: 1 — Абаканское, 2 — Атовское, 3 — Аянское, 4 — Братское, 5 — Бысахтахское, 6 — Вакунайское, 7 — Верхневилочанское, 8 — Верхнечонское, 9 — Вилюйско-Джербинское, 10 — Дулисьминское, 11 — Западно-Аянское, 12 — Иктехское, 13 — Ильбокичское, 14 — Имбинское, 15 — Иреляхское, 16 — Ковыктинское, 17 — Куюмбинское, 18 — Марковское, 19 — Маччобинское, 20 — Нелбинское, 21 — Отраднинское, 22 — Пайгинское, 23 — Северо-Нелбинское, 24 — Собинское, 25 — Среднеботуобинское, 26 — Талаканское, 27 — Тас-Юряхское, 28 — Хотого-Мурбайское, 29 — Чаяндинское, 30 — Чиканское, 31 — Юрубчено-Тохомское, 32 — Ярактинское; 4 — границы НГО; 5 — гидросеть; 6 — номер нефтегазоносной области: I — Непско-Ботуобинская; II — Байkitская, III — При-саяно-Енисейская, IV — Ангаро-Ленская, V — Предпатомская.

того, что объемы гелия не полностью поставлены на государственный баланс, выходят за рамки данной работы. Но не вызывает сомнения, что они должны быть учтены при оценке начальных ресурсов.

Средневзвешенные содержания гелия в газе НГК составляют в рифейском — 0.158 %, венд-нижнекембрийском — 0.347 % и кембрийском — 0.197 % (рис. 2). Среднее содержание гелия в свободном газе в южных и центральных районах ЛТ НГП составляет чуть менее 0.3 %, а модальное около 0.26 % (рис. 3). Приведенные данные в комплексе с данными о распределении скоплений гелийсодержащего газа по крупности послужили базой вероятностной оценки его ресурсов и ресурсов содержащегося в нем гелия.

МЕТОДИКА

Традиционно для рассматриваемых районов оценка величины ресурсов углеводородов (УВ), в том числе ресурсов свободного газа, выполняется методом экспертных геологических аналогий [Методиче-

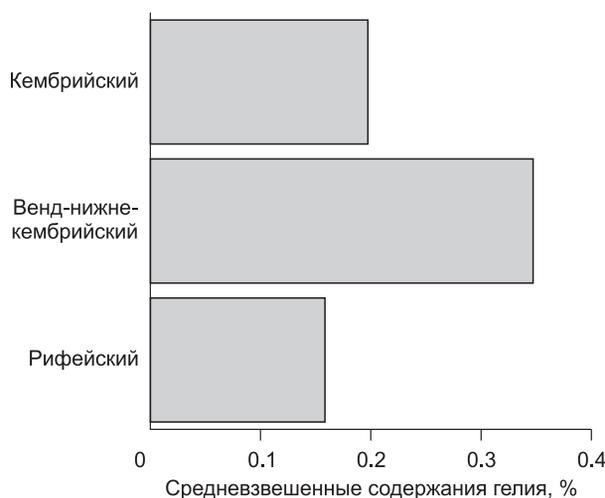


Рис. 2. Распределение концентраций гелия в свободном газе месторождений южных и центральных районов ЛТ НПП по нефтегазоносным комплексам.

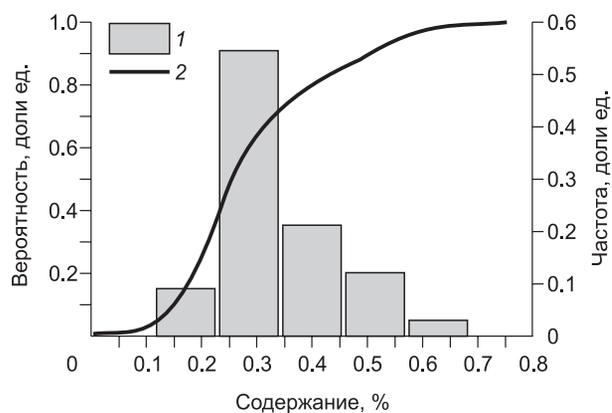


Рис. 3. Гистограмма и интегральное распределение концентраций гелия в свободном газе месторождений южных и центральных районов ЛТ НПП.

1 — частота, 2 — интегральное распределение концентраций гелия.

ское руководство... 2000]. К сожалению, такой подход существенно затрудняет построение вероятностной оценки.

Во второй половине XX века отечественные и зарубежные ученые интенсивно развивали методологию и конкретные методики количественной оценки перспектив нефтегазоносности с использованием вероятностных методов. Созданный теоретический задел и уникальная информационная база, накопленная в ИНГГ СО РАН, позволили существенно уточнить методические подходы к оценке величины и структуры начальных и остаточных ресурсов УВ. В настоящей работе используется подход, основанный на фундаментальной закономерности распределения скоплений УВ по крупности [Шпильман, 1982; Kontorovich et al., 2001]. В первые десятилетия XXI века коллективом ИНГГ СО РАН были получены значимые новые результаты этого направления [Конторович, Лившиц, 2002, 2007; Лившиц, 2003, 2004а, б; Бурштейн, 2004, 2006; и др.].

На деталях примененной методики остановимся ниже, предварительно представив общую последовательность выполнения вероятностной оценки ресурсов гелийсодержащего свободного газа и гелия.

1. Выполняется уточнение оценки объемов гелия, связанных с запасами свободного газа в выявленных скоплениях, для которых запасы гелия не учтены в государственном балансе.

2. Для выявленных скоплений газа с неучтенными запасами гелия его содержание принимается по аналогии с другими пластами в пределах того же месторождения или в ближайших месторождениях (см. рис. 1) с учтенными запасами гелия.

3. Запасы гелия корректируются в том случае, если объемы гелийсодержащего газа объекта, приведенные в балансах по гелию и природному газу, различаются.

4. Неопределенностью величины запасов газа конкретных скоплений пренебрегаем, так как неопределенность оценки его ресурсов существенно выше.

5. На основе анализа распределения скоплений свободного газа по величине запасов оцениваются его параметры. При этом предполагается, что значительное число наиболее крупных скоплений уже выявлено.

6. С использованием построенного аппроксимирующего распределения запасов гелийсодержащего газа в выявленных скоплениях, эмпирического распределения содержаний гелия (см. рис. 3) и техники имитационного моделирования (метод Монте-Карло) строится распределение суммарных ресурсов гелийсодержащего газа и гелия в невыявленных еще скоплениях.

Остановимся на некоторых деталях представленной схемы оценки.

Природная совокупность скоплений углеводородов в крупных нефтегазоносных системах может быть, с некоторыми оговорками, описана усеченным распределением Парето (УРП) [Конторович, Демин, 1977, 1979; Конторович и др., 1988; Методическое руководство..., 2000; Kontorovich et al., 2001]:

$$\varphi(\theta) = \frac{(\theta_{\max})^\lambda \cdot (1 - \lambda)}{\lambda \cdot \theta_{\max} + \theta_0 \cdot \left[1 - \lambda - \left(\frac{\theta_{\max}}{\theta_0} \right)^\lambda \right]} \cdot \left[\frac{1}{\theta^\lambda} - \frac{1}{(\theta_{\max})^\lambda} \right]. \quad (1)$$

Здесь λ — параметр распределения, θ — запасы скопления УВ, θ_0, θ_{\max} — минимально учитываемые и максимально возможные размеры скопления УВ в природной совокупности. Большинство наиболее развитых методик прогноза распределения скоплений УВ по крупности выполнено на его основе. УРП используется и в предлагаемом далее варианте методики оценки числа и ресурсов невыявленных скоплений УВ. Известно, по крайней мере, два последовательных метода оценки параметров УРП [Конторович, Демин, 1977, 1979; Лившиц, 2003, 2004а, б].

Для практического применения при оценках можно воспользоваться более простым и наглядным подходом. Не являясь формально оптимальным в статистическом смысле, он, как легко убедиться на конкретных примерах, приводит к оценкам, очень близким к полученным методом максимального правдоподобия, используемого в работах [Лившиц, 2003, 2004а, б], а его реализация элементарна средствами стандартных математических пакетов.

Введем понятие ненормированной интегральной функции распределения:

$$\Phi(\theta) = N \cdot \int_{\theta}^{\theta_{\max}} \varphi(x) dx.$$

Здесь N — общее число скоплений в системе.

По смыслу функция $\Phi(\theta)$ равна числу скоплений, размеры которых превосходят величину θ .

Будем нумеровать скопления, выявленные в конкретной нефтегазонасной системе, начиная с крупнейшего, и считать, что обнаружено, по крайней мере, m крупнейших скоплений:

$$\theta_1 \geq \theta_2 \geq \dots \geq \theta_m.$$

Исходя из смысла введенной функции $\Phi(\theta)$, ясно, что если природная совокупность скоплений описывается УРП, то существуют такие параметры λ, θ_{\max} и N , при которых значение ненормированной интегральной функции распределения от величины i -го скопления в некотором смысле близко к его номеру i :

$$\Phi(\theta_i) \approx i, \quad i = 1 \dots m.$$

Тогда задачу отыскания λ, θ_{\max} и N можно свести к минимизации суммы взвешенных квадратов отклонений:

$$\sum_{i=1}^m (\Phi(\theta_i) - i)^2 \cdot P_i \rightarrow \min.$$

Здесь P_i — весовая функция того или иного вида. Случай $P_i = 1$ соответствует обычному методу наименьших квадратов. Если $P_i = (i)^{-1}$ или $P_i = \theta_i$, данные о запасах более крупных скоплений (с меньшими номерами) влияют на результат в большей мере. В настоящей работе используется весовая функция последнего вида.

Существует [Шпильман, 1982; Конторович и др., 1988] эмпирическая закономерность, утверждающая, что в первую очередь выявляются наиболее крупные скопления углеводородов — закон геолого-разведочного фильтра. Поэтому для достаточно хорошо изученных центральных и южных районов ЛТ НГП можно полагать, что какое-то число наиболее крупных скоплений свободного газа уже выявлено.

Ясно, что поиск параметров распределения скоплений по крупности формально можно выполнить по любому поднабору из m ($m > 3$) крупнейших обнаруженных скоплений. Однако на практике устойчивость таких оценок возможна только при достаточно большом m . С другой стороны, если используемая для оценки подвыборка будет включать диапазон запасов, в котором выявлены не все скопления, полученные оценки параметров будут некорректны в силу изменения вида эмпирического ненормированного распределения запасов. В качестве критерия выбора достаточной величины m можно принять достижение оценками параметров распределения некоторой устойчивости.

После оценки параметров УРП (1) методами имитационного моделирования генерируется серия рядов (выборок) искусственных скоплений. Генерация в каждом случае выполняется до тех пор, пока не будет получено m скоплений с запасами, превосходящими запасы (θ_m) m -го скопления из реальной совокупности. Для ряда сгенерированных скоплений с запасами менее θ_m на основе эмпирического распределения содержаний гелия (см. рис. 3) генерируется величина содержания и вычисляется объем гелия. Полученные наборы рядов объемов гелийсодержащего газа и гелия в скоплениях позволяют построить эмпирические распределения их суммарных начальных ресурсов для невыявленных скоплений. При этом надо учитывать, что часть скоплений и в этом диапазоне запасов уже установлена. Последнее приводит к некоторому усечению полученных распределений слева.

РЕЗУЛЬТАТЫ

После уточнения, в соответствии с пп. 1—3 схемы оценки, приведенной в разделе «Методика», суммарная величина начальных запасов* гелия и гелийсодержащего газа в объектах, стоящих на государственном балансе по газу, составила 25.65 млрд м³ и 8.31 трлн м³ соответственно, в том числе в объектах, не учтенных в балансе по гелию, 5.71 млрд м³ и 2.18 трлн м³ соответственно (табл. 1).

Выполненный анализ показал, что на территории исследований выявлено порядка 90 крупнейших скоплений свободного газа с запасами не менее 14 млрд м³. Соответствующие оценки параметров УРП составляют: λ — 1.98, θ_{\max} — 15.85 трлн м³. Соответствие прогнозной и эмпирической интегральных ненормированных функций распределения скоплений свободного газа по величине запасов для скоплений с размерами менее 14 млрд м³ можно признать удовлетворительным (рис. 4).

Если принять минимально учитываемые размеры скопления газа θ_0 равными 100 млн м³ (в балансе учтены 15 объектов с меньшими запасами), то средняя оценка N составит 12 250 скоплений (по состоянию на 01.01.2017 г. обнаружено и учтено в государственном балансе 336 скоплений). Если принять минимально учитываемые размеры скопления газ θ_0 равными 1 млрд м³ (в балансе учтены 317 объектов с большими запасами), то средняя оценка N составит 1320 скоплений.

В соответствии с приведенной в предыдущем разделе схемой было выполнено имитационное моделирование (5000 реализаций) и построены распределения суммарных начальных ресурсов свободного газа и гелия в скоплениях с запасами газа менее 14 млрд м³ (рис. 5). Для скоплений этого диапазона суммарные запасы, связанные с выявленными скоплениями, составляют 973 млрд м³ для газа свободного и 2.9 млрд м³ для гелия. Вероятностные оценки суммарных начальных перспективных ресурсов свободного газа и гелия в невыявленных скоплениях составляют при доверительной вероятности 0.9: минимальные — 4.1 трлн м³ и 12.3 млрд м³, максимальные — 5.7 трлн м³ и 17.0 млрд м³ соответственно (табл. 2).

Таблица 1. Распределение запасов гелия и гелийсодержащего газа по нефтегазоносным комплексам центральных и южных районов ЛТ НГП

Нефтегазоносный комплекс	Начальные запасы гелийсодержащего газа, трлн м ³	Оценка начальных запасов гелия, млрд м ³
Всего	8.31	25.65
в том числе в неучтенных в балансе по гелию объектах	2.18	5.71
в том числе в кембрийском НГК	0.47	1.04
в том числе в неучтенных в балансе по гелию объектах	0.17	0.45
в том числе венд-нижнекембрийском НГК	7.34	23.82
в том числе в неучтенных в балансе по гелию объектах	1.98	5.21
в том числе рифейском НГК	0.50	0.80
в том числе в неучтенных в балансе по гелию объектах	0.03	0.05

Таблица 2. Вероятностная оценка перспективных ресурсов гелия и гелийсодержащего газа

Оценка	Гелийсодержащий газ, трлн м ³	Гелий, млрд м ³
Медиана ($P = 0.5$)	4.8	14.6
Максимальная ($P = 0.10$)	5.7	17.0
Минимальная ($P = 0.90$)	4.1	12.3
Максимальная ($P = 0.05$)	5.9	17.9
Минимальная ($P = 0.95$)	3.9	11.7
Максимальная ($P = 0.025$)	6.1	18.5
Минимальная ($P = 0.975$)	3.7	11.2

Таблица 3. Начальные ресурсы и запасы гелия и гелийсодержащего газа центральных и южных районов ЛТ НГП

Ресурсы и запасы	Гелийсодержащий газ, трлн м ³	Гелий, млрд м ³
Начальные ресурсы (медианная оценка)	13.1	40.2
Перспективные ресурсы (медианная оценка)	4.8	14.6
Начальные запасы	8.3	25.7
в том числе в неучтенных в балансе по гелию объектах	2.2	5.7

* Термин «запасы» используется нами в ряде случаев в расширенном смысле и часто относится к прогнозируемым объемам углеводородных газов и гелия, не поставленных на государственный баланс.

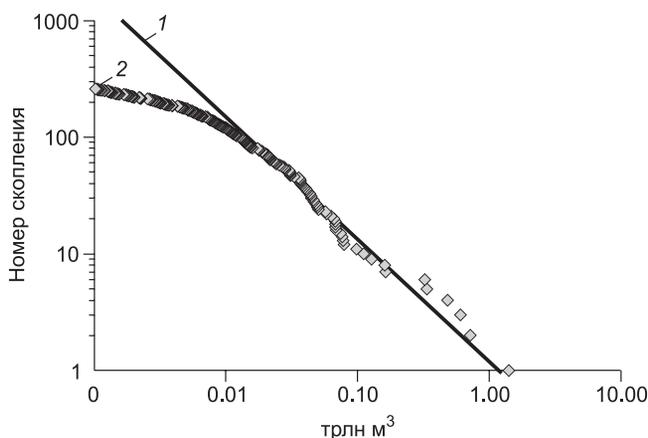


Рис. 4. Эмпирическое и аппроксимирующее ненормированные интегральные распределения по величине запасов скопления свободного газа центральных и южных районов ЛТ НГП.

1 — аппроксимирующая кривая, 2 — фактические данные.

ОБСУЖДЕНИЕ

Оценки суммарных начальных ресурсов свободного газа и гелия центральных и южных районов ЛТ НГП составляют 13.1 трлн м³ и 40.2 млрд м³ соответственно (табл. 3; рис. 6). Ресурсы гелия в невыявленных объектах и выявленных объектах с неучтенными запасами гелия, по крайней мере, сопоставимы с уже учтенными начальными запасами гелия (см. табл. 2, 3; рис. 6). Следует заметить, что существующие оценки начальных и перспективных ресурсов свободного газа для этих территорий, полученные другими методами, несколько выше. Например, модальная оценка из последних работ ИНГГ СО РАН составляет 16 трлн м³. Близость оценок, полученных разными методами, придает дополнительную уверенность в их достоверности. Последнее, впрочем, не исключает их корректировку вследствие получения новых результатов в ходе разведочных работ на уже выявленных объектах.

Изложенная выше методика прогноза позволяет достаточно последовательно прогнозировать вероятностные распределения начальных и перспективных ресурсов. Тем не менее интерпретация результатов требует некоторых оговорок, а сама методика дополнительного обоснования и уточнения.

Использованные в работе эмпирические данные могут представлять собой смесь совокупностей скоплений с различными распределениями и различной степенью выявленности, соответствующих, например, различным стратиграфическим комплексам, региональным резервуарам и т.д. Причиной изменения формы эмпирического распределения могут послужить также отклонения в величинах запасов залежей эталонной выборки, связанные с недоразведанностью отдельных месторождений. И в том, и в другом случае форма эмпирического распределения может существенно искажаться.

УРП достаточно хорошо аппроксимирует эмпирические данные. С другой стороны, из теоретических соображений ясно, что вид истинного распределения может отличаться от усеченного распределения Парето, по крайней мере, на некоторых интервалах крупности. В рамках теоретической модели формирования распределения скоплений УВ по крупности [Бурштейн, 2004, 2006] отклонения от УРП

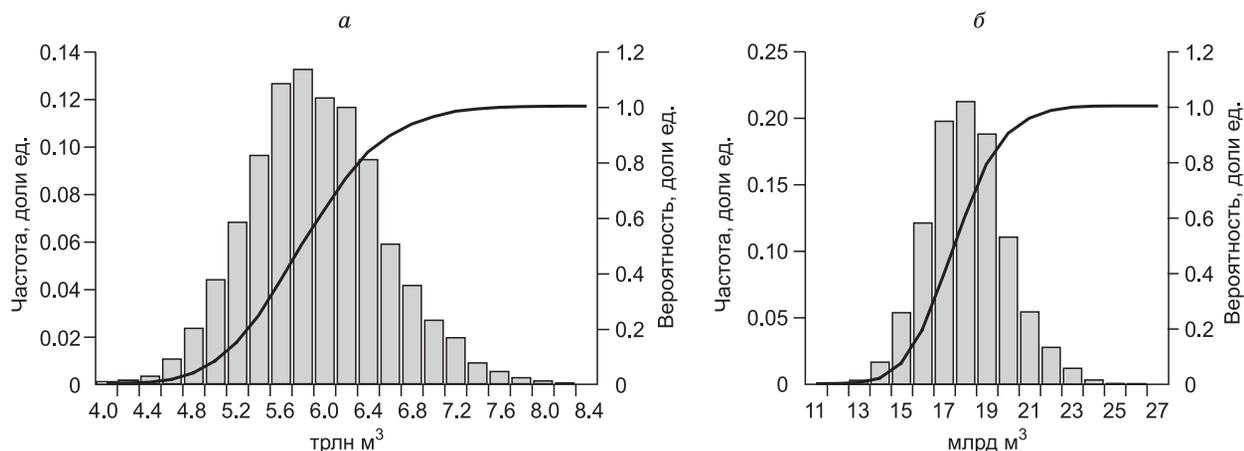


Рис. 5. Частотное и аппроксимирующее интегральное распределение начальных суммарных ресурсов свободного газа в скоплениях (а) и гелия в скоплениях свободного газа (б) с запасами менее 14 млрд м³ центральных и южных районов ЛТ НГП.

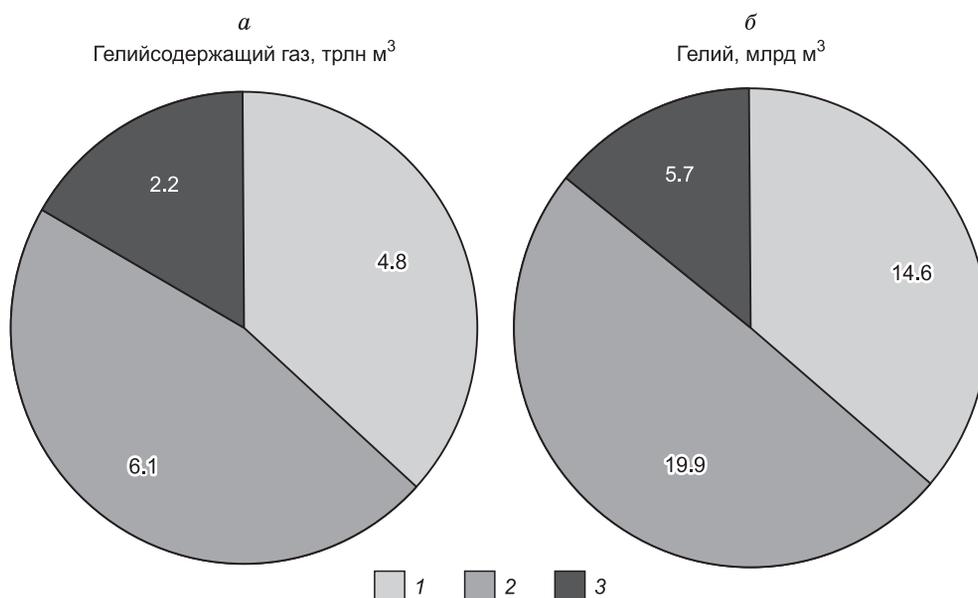


Рис. 6. Распределение начальных ресурсов свободного газа (а) и гелия (б) центральных и южных районов ЛТ НГП.

1 — перспективные ресурсы (медианная оценка), 2 — запасы учтенных в балансе по гелию выявленных скоплений, 3 — запасы неучтенных в балансе по гелию выявленных скоплений.

могут наблюдаться для сравнительно мелких скоплений в нефтегазоносных системах с интенсивными процессами аккумуляции. Впрочем, маловероятно, что это условие реализуется для осадочного чехла ЛТ НГП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения настоящей работы удалось существенно уточнить теоретико-методические основы количественной оценки ресурсов гелия и гелийсодержащих свободных газов сравнительно хорошо изученных территорий ЛТ НГП. На основе разработанных методических подходов построена схематическая карта распределения средневзвешенных содержаний гелия, распределение содержаний гелия в основных НГК, уточнены объемы гелия, связанные с выявленными скоплениями свободного газа, выполнена вероятностная количественная оценка начальных и прогнозных суммарных ресурсов гелия и гелийсодержащего газа.

Полученные результаты могут быть использованы при геолого-экономической оценке ресурсов гелия и планировании развития газодобывающего комплекса на территории Восточной Сибири и Якутии (Республика Саха). Дальнейшие работы этого направления будут сконцентрированы на уточнении и детализации полученных оценок.

Работа выполнена по проекту № ИП П.1.67 «Мембранно-сорбционный метод с использованием микросфер для разделения компонентов и осушки природного газа месторождений Восточной Сибири» в рамках комплексной программы фундаментальных исследований СО РАН «Междисциплинарные интеграционные исследования» на 2018—2020 гг. и базовому проекту 0331-2019-0027 «Разработка методов количественной оценки нетрадиционных ресурсов нефти и газа (баженовская свита, мелкие и мельчайшие месторождения и пр.) и имитационной модели долгосрочного функционирования нефтегазового комплекса Российской Федерации. Оценка традиционных и нетрадиционных ресурсов осадочных бассейнов Сибири».

ЛИТЕРАТУРА

Арчegov В.Б. Основы стратегии рационального освоения высококачественных ресурсов гелия Сибирской платформы // Записки Горного института, 2015, т. 211, с. 5—15.

Бейлин Ю.А., Конторович А.Э., Коржубаев А.Г., Хоменко А.В. Геология и перспективы освоения ресурсов нефти, газа и гелия Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции // Перспективы энергетики, 2003, № 2, с. 21—35.

- Бурштейн Л.М.** Возможный механизм формирования распределения скоплений углеводородов по крупности // Геология и геофизика, 2004, т. 45 (7), с. 815—825.
- Бурштейн Л.М.** Статистические оценки параметров распределения скоплений нефти по величине в слабоизученных седиментационных бассейнах // Геология и геофизика, 2006, т. 47 (9), с. 1013—1023.
- Конторович А.Э., Демин В.И.** Метод оценки количества и распределения по запасам месторождений нефти и газа в крупных нефтегазоносных бассейнах // Геология нефти и газа, 1977, № 12, с. 18—26.
- Конторович А.Э., Демин В.И.** Прогноз количества и распределения по запасам месторождений нефти и газа // Геология и геофизика, 1979 (3), с. 26—46.
- Конторович А.Э., Лившиц В.Р.** Детерминированный характер процесса нефтеобразования в истории Земли и его количественные характеристики // Геология нефти и газа, 2002, № 1, с. 9—16.
- Конторович А.Э., Лившиц В.Р.** О вероятностном распределении углеводородов по массе в дисперсно-рассеянном состоянии // ДАН, 2007, т. 415, № 4, с. 514—517.
- Конторович А.Э., Бурштейн Л.М., Гуревич Г.С., Демин В.И., Лившиц В.Р., Моделевский М.С., Страхов И.А., Вымятин А.А., Растегин А.А.** Количественная оценка перспектив нефтегазоносности слабоизученных регионов. М., Недра, 1988, 223 с.
- Конторович А.Э., Коржубаев А.Г., Пак В., Удут В., Довгань А., Филимонова И., Эдер Л.В.** Гелий: состояние и перспективы // Нефтегазовая вертикаль, 2005а, № 7, с. 52—55.
- Конторович А.Э., Пак В., Удут В.** Обманчивая легкость. Российский гелий на пороге перемен в мировой системе газообеспечения // Нефть России, 2005б, № 10, с. 49—53.
- Конторович А.Э., Коржубаев А.Г., Эдер Л.В.** Сырьевая база и перспективы развития гелиевой промышленности России и мира // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление, 2006а, № 2, с. 17—24.
- Конторович А.Э., Удут В.Н., Пак В.А., Довгань А.В.** Прогноз развития гелиевой промышленности Восточной Сибири: региональные, общероссийские и глобальные аспекты // ГЕО-Сибирь-2006. Т. 5. Недропользование. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых: сб. материалов междунар. науч. конгресса, 24—28 апреля 2006 г. Новосибирск, СГГА, 2006б, с. 67—75.
- Конторович А.Э., Бурштейн Л.М., Вальчак В.И., Губин И.А., Гордеева А.О., Кузнецова Е.Н., Конторович В.А., Моисеев С.А., Скузоватов М.Ю., Фомин А.М.** Нефтегазогеологическое районирование Сибирской платформы (уточненная версия) // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. (г. Новосибирск, 17—21 апреля 2017): Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология». 2017, т. 1, с. 57—64.
- Лившиц В.Р.** Оценка параметров распределения скоплений нефти и газа по крупности в слабоизученных нефтегазоносных бассейнах // Геология и геофизика, 2003, т. 44 (10), с. 1045—1059.
- Лившиц В.Р.** Вероятностные характеристики количества месторождений углеводородов в слабоизученных нефтегазоносных бассейнах // Геология и геофизика, 2004а, т. 45 (3), с. 363—375.
- Лившиц В.Р.** Прогноз величины запасов невыявленных месторождений нефти и газа в слабоизученных нефтегазоносных бассейнах // Геология и геофизика, 2004б, т. 45 (8), с. 1021—1032.
- Методическое руководство** по количественной и экономической оценке ресурсов нефти, газа и конденсата России / Под ред. К.А. Клещева, А.Э. Конторовича. М., ВНИГНИ, 2000, 189 с.
- Пятницкая Г.Р., Силантьев Ю.Б.** Сырьевая база гелия Российской Федерации и перспективы ее развития // Научно-технический сборник «Вести газовой науки», 2013, № 5 (16), с. 194—199.
- Шпильман В.И.** Количественный прогноз нефтегазоносности. М., Недра, 1982, 215 с.
- Якуцени В.П.** Геология гелия. Л., Недра, 1968, 232 с.
- Якуцени В.П.** Историко-аналитический обзор законодательного обеспечения эффективного использования и сохранения ресурсов гелия в США // Нефтегазовая геология. Теория и практика, 2008, т. 3, № 4, http://www.ngtp.ru/rub/3/45_2008.pdf
- Якуцени В.П.** Сырьевая база гелия в мире и перспективы развития гелиевой промышленности // Нефтегазовая геология. Теория и практика, 2009а, т. 4, № 2, http://www.ngtp.ru/rub/3/15_2009.pdf
- Якуцени В.П.** Традиционные и перспективные области применения гелия // Нефтегазовая геология. Теория и практика, 2009б, т. 4, № 1, http://www.ngtp.ru/rub/3/5_2009.pdf
- Helium**, Mineral Commodity Summaries, January 2018 U.S. Geological Survey [электронный ресурс], <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/helium/mcs-2018-heliu.pdf> (дата обращения 10.12.2018).
- Kontorovich A.E., Dyomin V.I., Livshits V.R.** Size distribution and dynamics of oil and gas field discoveries in petroleum basins // AAPG Bulletin, September 2001, v. 85, № 9, p. 1609—1622.