

DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/43_2019

УДК 553.98:519

Лившиц В.Р.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (ИНГГ СО РАН), Новосибирск, Россия, livshic.vr@mail.ru

ВЗАИМОСВЯЗЬ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО МАССЕ ЗАЛЕЖЕЙ И МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

Закон распределения скоплений по массе углеводородов в нефтегазоносном бассейне составляет математическую основу количественного прогноза нефтегазоносности. При этом, важно различать закон распределения залежей углеводородов и закон распределения месторождений. Показано, что если в нефтегазоносном бассейне распределение залежей углеводородов по массе подчиняется усеченному распределению Парето, то этим распределением не может описываться распределение месторождений бассейна. Использование аналитических методов теории вероятностей, метода статистических испытаний и статистической обработки фактических данных позволило установить закон распределения месторождений углеводородов по массе, при условии, что распределение залежей подчиняется усеченному закону Парето. Полученное вероятностное распределение амодально и близко к степенному, хотя, строго говоря, таковым не является.

Ключевые слова: нефтегазоносный бассейн, залежи углеводородов, месторождения углеводородов, вероятностное распределение месторождений и залежей углеводородов по массе, усеченное распределение Парето.

Введение

Знание закона распределения скоплений углеводородов (УВ) по величине запасов в нефтегазоносном бассейне (НГБ) чрезвычайно важно как для теории нефтидогенеза, так и для практики поисков нефти и газа.

В теоретическом плане, знание этого закона позволяет построить концептуальную и математическую модели формирования скоплений УВ в бассейне и основанную на них схему прогноза нефтегазоносности.

Современные представления о преобразовании углеводородистого вещества в земной коре складывались в течение второй половины XX и начале XXI вв., благодаря исследованиям Н.Б. Вассоевича, В.С. Вышемирского, И.М. Губкина, А.Э. Конторовича, С.Г. Неручева, А.А. Трофимука и др. [Вассоевич, 1967; Конторович, 1970, 1978, 1991, 1998; Миграция рассеянных..., 1971; Учение о нефти, 1975; Геохимические методы..., 1976; Неручев и др., 2000; Вассоевич и др., 2001; Вышемирский, Конторович, Трофимук, 2001; Конторович, Лившиц, 2007; Оценка потенциальных ресурсов..., 2006]. На основе этих представлений установлен ряд фундаментальных закономерностей процесса нефтидогенеза (диссипативность, нелинейность, неустойчивость, стохастичность [Конторович, Лившиц,

2002]) и сформулированы основные положения общей теории нафтидогенеза [Вассоевич, 1967; Конторович, 1991, 1998; Конторович, Бурштейн, Лившиц, 1999].

Одно из проявлений стохастичности процесса нафтидогенеза заключается в том, что в идентичных условиях процессы генерации, миграции, аккумуляции и рассеяния УВ могут протекать по-разному, причем, предсказать это различие заранее не представляется возможным. Как следствие, результат этих процессов приходится рассматривать как случайный. В частности, случайным оказывается результат процесса формирования скоплений УВ в ловушках, так что масса скопления представляет собой случайную величину, полное математическое описание которой дается ее вероятностным распределением.

Знание закона распределения скоплений УВ по величине запасов, исключительно важно и для практики ведения поисково-разведочных работ, поскольку позволяет прогнозировать вероятные запасы неоткрытых скоплений и на этой основе оценивать экономическую целесообразность и эффективность проведения работ. В частности, в работах А.Э. Конторовича с соавторами показано, что для прогноза количества и суммарных запасов скоплений в любом заданном интервале крупности необходимо знание вероятностного распределения скоплений по массе содержащихся в них УВ [Конторович, Демин, 1977, 1979; Прогноз месторождений..., 1981; Количественная оценка..., 1988; Конторович, Лившиц, 1988, 2017; Kontorovich, Domain, Livshits, 2001].

Очевидный подход к установлению закона распределения скоплений УВ по массе – эмпирический, основанный на статистической обработке данных по величинам запасов открытых скоплений в хорошо изученных нефтегазоносных провинциях.

Долгое время большинство исследователей предполагало, что если в качестве множества залежей (месторождений) рассматривать скопления УВ с запасами $\theta \geq \theta_0$, то функция плотности вероятностей имеет моду при некотором значении θ . Из числа таких функций на основе обработки экспериментального материала обычно выбиралось асимметричное, одномодальное логнормальное распределение [Бакиров, 1972; Буялов, Вагеров, Шунгутова, 1975; Kaufman, Valcer, Kruit, 1975]. Эти исследователи не учитывали того факта, что обрабатываемый ими экспериментальный материал, составляющий выборочную совокупность, содержит значения запасов лишь открытых скоплений. Совокупность же открытых скоплений, формируемая в результате геологических поисков и разведки, не является репрезентативной для генеральной совокупности, поскольку геологоразведочный процесс есть выборка с «пристрастием», когда вся стратегия поисково-разведочных работ направлена в первую очередь на выявление крупных и крупнейших месторождений, и вероятность выявления месторождения тем выше, чем больше его запасы [Конторович, Демин, Краснов, 1976]. Как следствие, данные поисково-разведочного процесса

удовлетворительно описывают генеральную совокупность лишь для достаточно больших значений величин запасов скоплений, а при поиске распределения скоплений по массе, необходимо учитывать динамику изменения данных во времени с ростом изученности НГБ.

Выполненный А.Э. Конторовичем и В.И. Деминым анализ последовательности выявления месторождений нефти и газа в хорошо изученных НГБ США [Конторович, Демин, 1979] показал, что в них уже около полувека назад, даже в выборочной совокупности отчетливо фиксировался не логнормальный, а амодальный характер распределения месторождений по запасам, монотонное сокращение числа месторождений в классах с ростом величины их запасов, постепенное уменьшение средних запасов открываемых месторождений [Ресурсы нефти и..., 1977; Прогноз месторождений..., 1981]. Исследованиями Н.А. Крылова, А.Г. Алексина и Ю.Н. Бабурина подтвержден монотонно убывающий характер распределения по крупности месторождений нефти и газа в таких сравнительно хорошо изученных НГБ, как Волго-Уральский, Предкавказский, Днепровско-Припятский и пр. [Крылов, Алексин, Батурин, 1986]. Для последнего бассейна выводы подтверждены также Ю.А. Арсирием, Б.П. Кабышевым, Д.И. Чупрыниным и др. [Арсирий и др., 1986].

Вероятно, первым, кто обратил внимание на нерепрезентативность совокупности выявленных скоплений по отношению к совокупности всех скоплений бассейна, В.И. Шпильман [Шпильман, 1972]. Им же определен степенной характер распределения месторождений по запасам в НГБ как «закон обратных квадратов» [Шпильман, 1972; Количественный прогноз..., 1982].

Более общее выражение для закона распределения скоплений УВ по запасам в НГБ, названное авторами усеченным распределением Парето, предложено А.Э. Конторовичем и В.И. Демином [Конторович, Демин, 1977, 1979; Прогноз месторождений..., 1981; Количественная оценка..., 1988].

Что же касается логарифмически нормального закона распределения, то, как было показано А. Э. Конторовичем и автором, совокупность открытых скоплений не противоречит этой гипотезе лишь на определенных этапах изучения НГБ [Количественная оценка..., 1988; Конторович, Лившиц, 1988].

Усеченное распределение Парето имеет вид:

$$\varphi(\theta) = C \left(\frac{1}{\theta^\lambda} - \frac{1}{\theta_m^\lambda} \right),$$

где θ – масса скопления,

θ_0, θ_m – левая и правая границы распределения соответственно,

λ – параметр распределения, $1 < \lambda < 3$,

$$C = \frac{(\lambda-1)\theta_m^\lambda}{\theta_0 \left[\lambda-1 + \left(\frac{\theta_m}{\theta_0} \right)^\lambda \right] - \lambda\theta_m} - \text{нормирующий множитель.}$$

Важно, что, независимо от геологического строения и истории развития НГБ, его индивидуальных особенностей, функциональный (степенной) вид закона распределения скоплений УВ по величине запасов сохраняется одним и тем же, отличаясь для разных НГБ, лишь значениями своих параметров. Это обстоятельство позволяет утверждать, что степенной характер распределения скоплений УВ по массе является не частной аппроксимацией для конкретного НГБ, а носит универсальный, фундаментальный характер [Конторович, 1991].

В настоящее время степенной характер распределения скоплений УВ по массе, не вызывает возражений у подавляющего большинства исследователей, однако, остается открытым вопрос о генезисе этого распределения, а также о том, распределение каких именно скоплений описывает этот закон: залежей или месторождений.

Дело в том, что статистическая обработка величин запасов открытых скоплений может относиться как к залежам, так и к месторождениям УВ, поскольку получаемая при этом эмпирическая оценка распределения согласуется с усеченным распределением Парето для залежей и месторождений. В результате возникает ситуация, когда неявно предполагается справедливость степенного закона распределения скоплений УВ по массе как для залежей, так и для месторождений.

Залежь, определяемая как единичное скопление нефти и газа, заполняющее ловушку полностью или частично, представляет собой единый физический объект, в котором протекают процессы аккумуляции и рассеяния нефти. В настоящее время существует несколько математических моделей к степенному характеру распределения залежей УВ по массе [Конторович, 1991, 1998; Конторович, Бурштейн, Лившиц, 1999; Бурштейн, Лившиц, 2003; Бурштейн, 2004, 2006; Конторович, Лившиц, 2007; Лившиц, Шарнин, 2011; Лившиц, 2014, 2017; Геофлюидодинамика..., 2017].

Месторождение (если оно не однозалежное) – это группа залежей, имеющих в проекции на земную поверхность полное или частичное перекрытие своих контуров нефтегазоносности или же группа залежей, разобщенных в плане, но контролируемых одной локальной структурой. Таким образом, месторождение является не столько объектом физическим, сколько геометрическим, объединяющим несколько залежей по принципу их геометрического расположения, тогда как характер процессов аккумуляции и рассеяния в различных залежах одного месторождения может быть существенно различным.

В настоящей статье найдено распределение месторождений УВ по запасам в предположении, что распределение залежей в НГБ подчиняется усеченному распределению Парето.

Поскольку масса месторождения есть просто сумма масс УВ залежей, составляющих это месторождение, то задача сводится к нахождению распределения суммы случайных величин с известной плотностью.

Закон распределения суммы случайных величин может совпадать (с точностью до параметров сдвига и масштаба) с законом распределения слагаемых, только в том случае, если эти законы являются устойчивыми [Введение в теорию..., 1984; Количественная оценка..., 1988; Основы стохастической..., 1998]. Сами устойчивые распределения относятся к классу так называемых безгранично делимых распределений, а такие распределения не могут быть сосредоточены на конечном интервале [Введение в теорию..., 1984]. Из этого следует, что усеченное распределение Парето, не являясь безгранично делимым, не является и устойчивым. Таким образом, если принять, что распределение залежей нефти и газа по массе подчиняется усеченному распределению Парето, то распределение месторождений не может подчиняться этому распределению.

Заметим также, что классическое распределение Парето является безгранично делимым [Основы стохастической..., 1998] и поэтому может играть роль вероятностного распределения для суммы случайных величин, то есть выступать в качестве распределения для массы месторождений УВ, но в этом случае оно не будет распределением залежей, так как не является устойчивым распределением.

Поскольку запасы месторождения z складываются из запасов залежей, составляющих это месторождение, то распределение месторождений по запасам, очевидно, должно зависеть от количества залежей, то есть описываться условной плотностью распределения месторождений с k залежами $f(z|k)$.

Тогда безусловная плотность распределения месторождений по величине запасов в НГБ может быть найдена по формуле полной вероятности:

$$f(z) = \sum_{k=1}^m P_k f(z|k) \quad (*),$$

где P_k – вероятность месторождения с k залежами,

m – максимально возможное количество залежей в месторождении.

Условные плотности распределения месторождений углеводородов по массе с фиксированным количеством залежей

Очевидно, что условная плотность распределения месторождений с одной залежью, очевидно, совпадает с плотностью распределения залежей $\varphi(\theta)$, так что $f(z|1) = \varphi(z)$.

Найдем плотность распределения по массе месторождений, состоящих из двух залежей $f(z|2)$, при условии, что распределение этих залежей подчиняется усеченному распределению Парето $\varphi(\theta)$. Запасы такого месторождения z равны сумме двух случайных величин – масс

УВ залежей распределенных как $\varphi(\theta)$, а их плотность распределения (в предположении независимости масс залежей) выражается интегралом свертки [Введение в теорию..., 1984]:

$$f(z|2) = \int_0^z \varphi(\theta) \varphi(z - \theta) d\theta.$$

Для случая, когда функция $\varphi(\theta)$ задана на положительном отрезке $\theta_0 \leq \theta \leq \theta_m$, свертка примет вид:

$$f(z|2) = \begin{cases} \int_{\theta_0}^{z-\theta_0} \varphi(\theta) \varphi(z - \theta) d\theta, & 2\theta_0 \leq z \leq \theta_0 + \theta_m \\ \int_{z-\theta_m}^{\theta_m} \varphi(\theta) \varphi(z - \theta) d\theta, & \theta_0 + \theta_m \leq z \leq 2\theta_m \end{cases}$$

Подставляя в это выражение плотность усеченного распределения Парето $\varphi(\theta)$, получим:

$$f(z|2) = \begin{cases} C^2 \left[\int_{\theta_0}^{z-\theta_0} \frac{d\theta}{\theta^\lambda (z - \theta)^\lambda} + \frac{2}{\theta_m^\lambda (\lambda - 1)} \left(\frac{1}{(z - \theta_0)^{\lambda-1}} - \frac{1}{\theta_0^{\lambda-1}} \right) + \frac{z - 2\theta_0}{\theta_m^{2\lambda}} \right] & \text{при } 2\theta_0 \leq z \leq \theta_0 + \theta_m \\ C^2 \left[\int_{z-\theta_m}^{\theta_m} \frac{d\theta}{\theta^\lambda (z - \theta)^\lambda} + \frac{2}{\theta_m^\lambda (\lambda - 1)} \left(\frac{1}{\theta_m^{\lambda-1}} - \frac{1}{(z - \theta_m)^{\lambda-1}} \right) + \frac{2\theta_m - z}{\theta_m^{2\lambda}} \right] & \text{при } \theta_0 + \theta_m \leq z \leq 2\theta_m \end{cases}$$

Здесь первое слагаемое соответствует случаю классического Парето, для перехода к которому следует положить $\theta_m \rightarrow \infty$. Поскольку правая граница усеченного распределения Парето, как правило, величина достаточно большая, то разница между усеченным и классическим Парето оказывается весьма незначительной. При больших z распределение имеет степенную асимптотику, так что его правый «хвост» ведет себя так же, как и распределение Парето.

В общем случае Интеграл $\int \frac{d\theta}{\theta^\lambda (z - \theta)^\lambda}$ не выражается через элементарные функции. Однако, при $\lambda = 2$ подинтегральная функция оказывается рациональной и интеграл может быть записан в конечном виде:

$$\int \frac{d\theta}{\theta^2 (z - \theta)^2} = \frac{1}{z^2 (z - \theta)} - \frac{1}{z^2 \theta} + \frac{2}{z^3} \ln \frac{\theta}{z - \theta},$$

так что для случая $\lambda = 2$ плотность распределения месторождения с двумя залежами будет иметь вид:

$$f(z|2) = \begin{cases} C^2 \left[\frac{2}{z^2} \left(\frac{1}{\theta_0} - \frac{1}{z - \theta_0} + \frac{2}{z} \ln \frac{z - \theta_0}{\theta_0} \right) + \frac{2}{\theta_m^2} \left(\frac{1}{z - \theta_0} - \frac{1}{\theta_0} \right) + \frac{z - 2\theta_0}{\theta_m^4} \right] & 2\theta_0 \leq z \leq \theta_0 + \theta_m \\ C^2 \left[\frac{2}{z^2} \left(\frac{1}{\theta_m} - \frac{1}{z - \theta_m} + \frac{2}{z} \ln \frac{\theta_m}{z - \theta_m} \right) + \frac{2}{\theta_m^2} \left(\frac{1}{\theta_m} - \frac{1}{z - \theta_m} \right) + \frac{2\theta_m - z}{\theta_m^4} \right] & \theta_0 + \theta_m \leq z \leq 2\theta_m \end{cases}$$

При $\lambda \neq 2$ значение этого интеграла может быть найдено численным интегрированием.

Для нахождения условных плотностей распределения по запасам месторождений с числом залежей большим двух $f(z|k)$, $k > 2$, можно воспользоваться методом Монте-Карло, генерируя k случайных чисел распределенных в соответствии с усеченным распределением Парето и имитирующих массы залежей. Сумма этих чисел будет имитировать массу месторождения, составленного из k залежей. Метод генерации таких чисел подробно рассмотрен в работе А.Э. Конторовича и В.Р. Лившица [Конторович, Лившиц, 1988]. Многократное повторение этой процедуры позволяет получить статистическое распределение месторождений по массе с фиксированным количеством залежей.

На рис. 1 приведены условные плотности распределения вероятности массы месторождения, при различных значениях числа залежей в нем k и параметра λ усеченного распределения Парето. Как видно из рисунка, плотности распределения месторождений имеют моду (это наиболее вероятное значение массы), которая увеличивается с ростом числа залежей.

Если бы в НГБ отсутствовали бы однозалежные месторождения, то распределение месторождений УВ по величине запасов в таком бассейне имело бы моду. Однако, как показано ниже, большая часть месторождений бассейна является именно однозалежными, что и определяет амодальный характер безусловного распределения.

Безусловное распределение месторождений углеводородов по массе в нефтегазоносном бассейне

Как видно из формулы полной вероятности (*), для нахождения безусловного распределения месторождений УВ по массе необходимо знание априорных вероятностей P_k , $k = 1, \dots, m$. Для получения статистических оценок этих величин можно воспользоваться информацией по хорошо изученным нефтегазоносным провинциям. На рис. 2 приведены оценки этих вероятностей для Волго-Уральской, Западно-Сибирской, Тимано-Печорской и Северо-Кавказской провинций, для $m \leq 10$ (месторождения, с количеством залежей до 10 составляют более 80% от общего числа месторождений провинции; для месторождений с $m > 10$, в силу малого их количества, выборочные флуктуации не позволяют получить оценку

приемлемой точности). Интересно отметить, что все три зависимости практически совпадают и хорошо аппроксимируются степенной кривой.

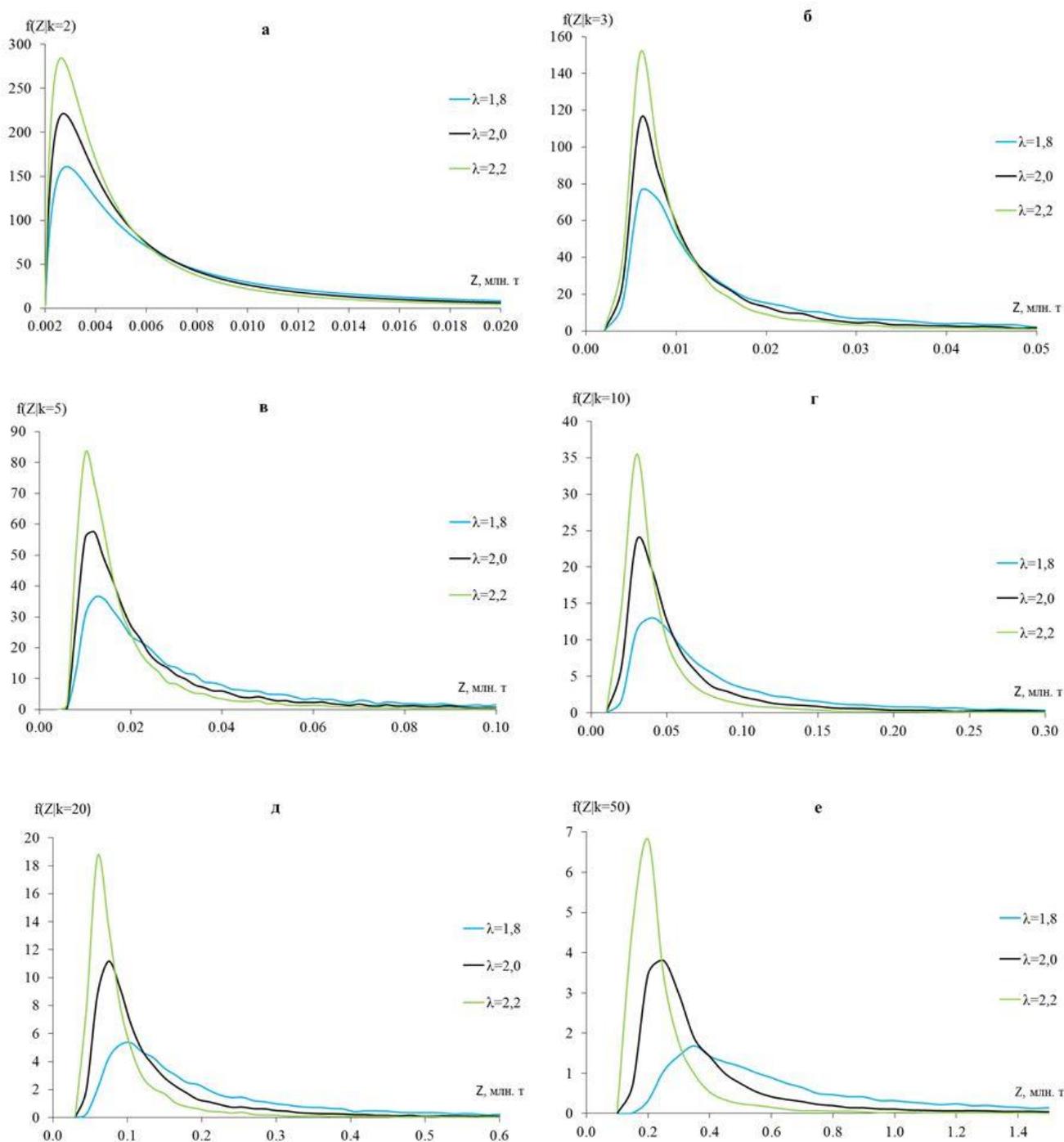


Рис. 1. Графики условной плотности распределения месторождений углеводородов по массе при фиксированном числе залежей k и различном λ
а) $k = 2$, б) $k = 3$, в) $k = 5$, г) $k = 10$, д) $k = 20$, е) $k = 50$.

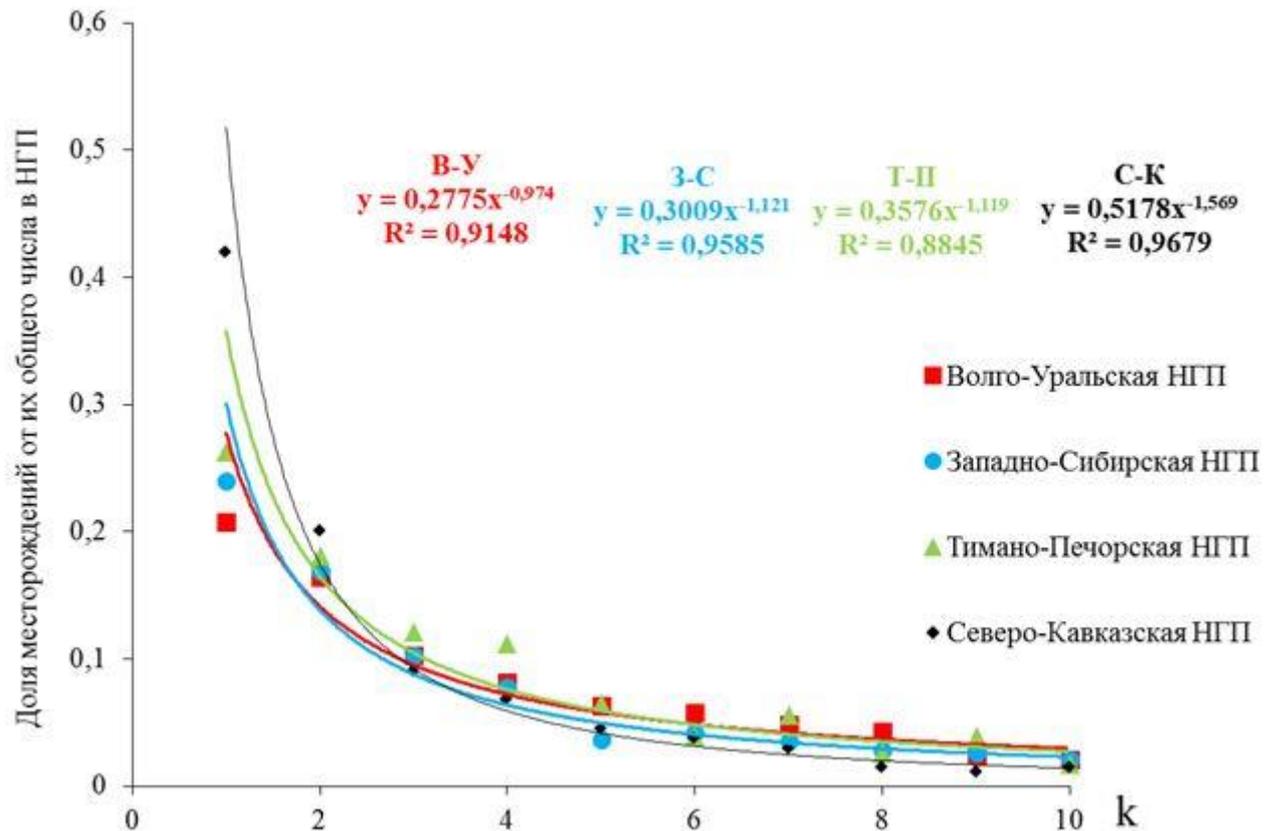


Рис. 2. Графики зависимости доли месторождений (от их общего числа) для Волго-Уральской, Западно-Сибирской, Тимано-Печорской и Северо-Кавказской нефтегазоносных провинций от количества залежей в месторождении

На рис. 3 показаны безусловные плотности распределения месторождений для различных значений параметра λ усеченного распределения Парето, в соответствии с которым распределены массы залежей при оценках априорных вероятностей, полученных для Волго-Уральской провинции.

Как видно из рисунка, полученные плотности представляют собой амодальные, асимметричные распределения, которые хорошо аппроксимируются степенной зависимостью. Тем не менее, эти плотности не являются степенным распределением, и их проверка по статистическим критериям с очень высокой степенью достоверности отклоняет эту гипотезу.

Внешнее сходство со степенным распределением обусловлено тем, что влияние на сумму (*) слагаемых с $k > 1$ оказывается слабым по сравнению со слагаемым $k = 1$. Это связано, во-первых, со значительной долей однозалежных месторождений, которые распределены в соответствии с усеченным распределением Парето и, во-вторых, с тем, что модальные значения условных плотностей наиболее значительны для малых k , то есть приходится на те значения массы, для которых плотность распределения однозалежных

месторождений велика. Сказанное иллюстрируется на рис. 4, где для $\lambda = 2$ показаны произведения условных плотностей на соответствующие веса P_k для $k = 1, 2, 3, 4$ и их сумма.

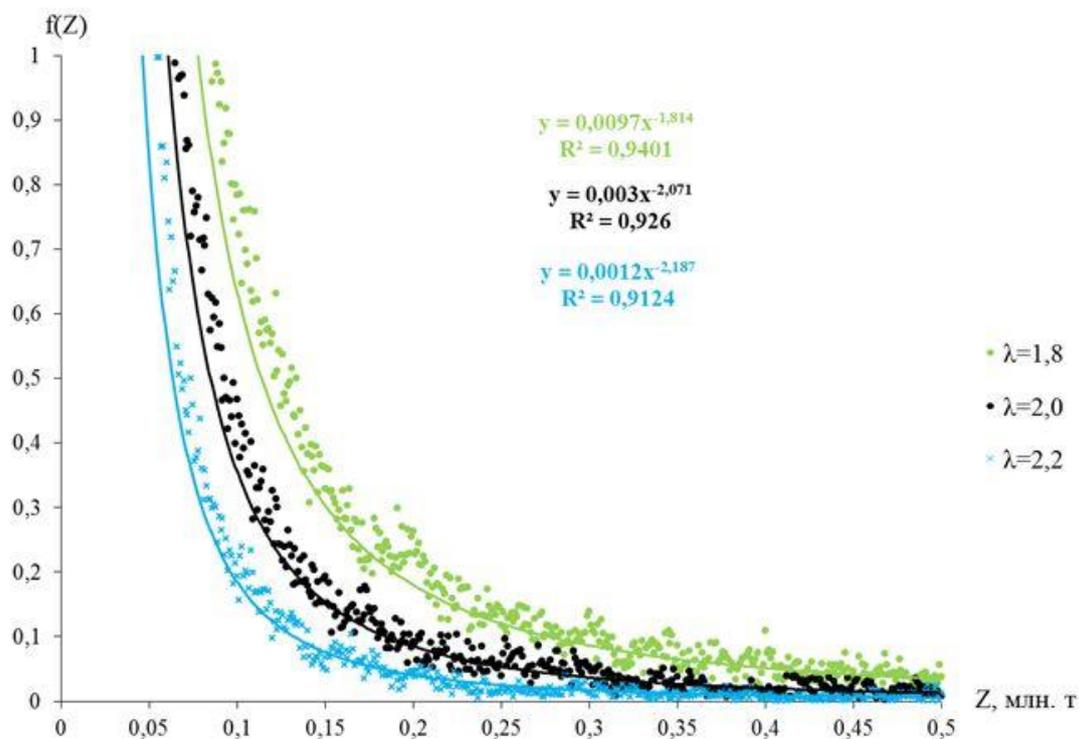


Рис. 3. Графики безусловных плотностей распределения месторождений по массе для различных значений параметра λ

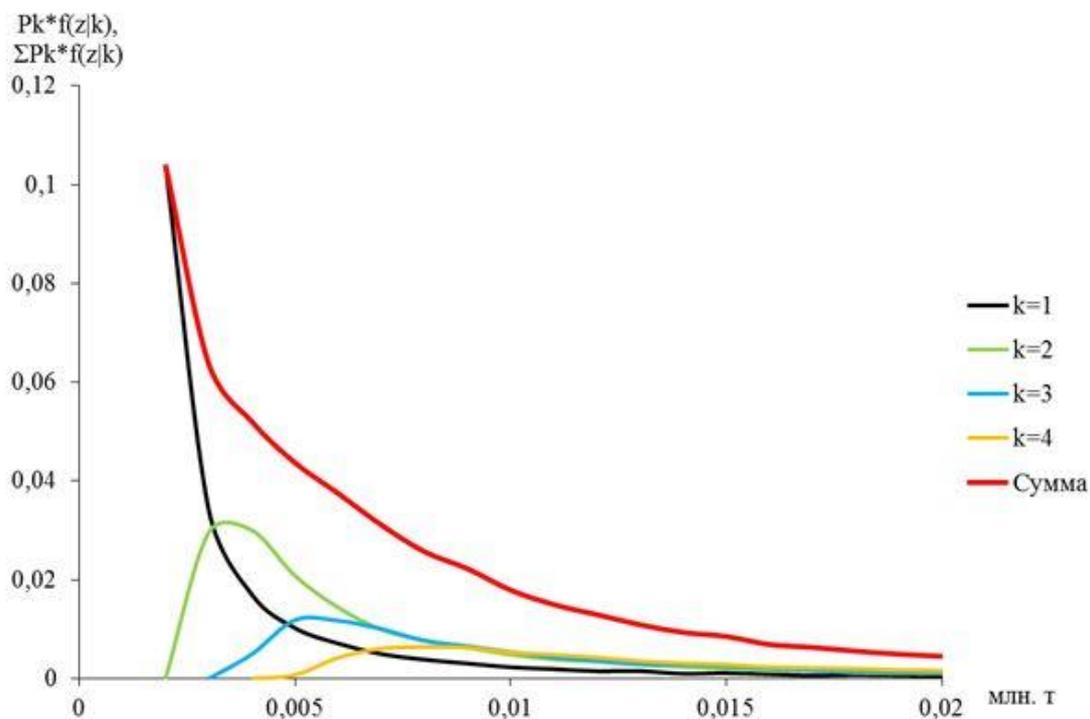


Рис. 4. Графики возникновения амодального характера распределения для месторождений углеводородов по массе

Заклучение

Выполненные исследования позволяют сделать следующие заклчюения.

1. Хотя распределение залежей нефти и газа по величине запасов в НГБ подчиняется усеченному распределению Парето, оно не может быть распределением по запасам для месторождений бассейна.

2. В отличие от амодального распределения залежей, условные плотности распределения запасов месторождений при фиксированном числе залежей являются модальными (кроме однозалежных месторождений), причем с ростом числа залежей мода распределения увеличивается.

3. Гипотетически можно допустить существование НГБ, в котором отсутствуют однозалежные месторождения, так что распределение месторождений по величине запасов УВ в таком бассейне будет иметь модальный характер, однако, существование подобных бассейнов вряд ли можно считать возможным. Более того, большая часть месторождений во всех известных в настоящее время бассейнов содержит именно по одной залежи.

4. Распределение числа месторождений по количеству залежей в них практически одинаковы для трех крупнейших нефтегазоносных провинций и хорошо описывается степенным распределением.

5. Распределение месторождений УВ в НГБ по величине их запасов, не являясь, строго говоря, степенным распределением, оказывается весьма близким к нему, причем основное отличие лежит в области мелких и мельчайших скоплений.

Работа выполнена в рамках проекта 0331-2019-0027 «Разработка методов количественной оценки нетрадиционных ресурсов нефти и газа (баженевская 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

Арсирий Ю.А., Кабышев Б.П., Чупрынин Д.И., Шевченко А.Ф., Шевякова З.П. Прогноз размеров и числа неоткрытых залежей УВ и методика их поисков в ДДВ // Геология нефти и газа. – 1986. – №10. – С. 42-46.

Бакиров В.А. Статистическая модель распределения месторождений нефти и газа по величине запасов // Геология нефти и газа. – 1972. - № 2. – С. 63-68.

Буриштейн Л.М. Возможный механизм формирования распределения скоплений углеводородов по крупности // Геология и геофизика. - 2004. - Т. 45 - №7. - С. 815-825.

Буриштейн Л.М. Статистические оценки параметров распределения скоплений нефти по величине в слабоизученных седиментационных бассейнах // Геология и геофизика. – 2006. – Т. 47. – № 9. – С. 1013-1023.

Бурштейн Л.М., Лившиц В.Р. К вопросу о распределении скоплений углеводородов по крупности // Генезис нефти и газа. - М.: «ГЕОС», 2003. - С. 424-426.

Буялов Н.И., Вагеров В.С., Шунгутова С.А. Опыт применения логарифмически нормального закона распределения для оценки прогнозных ресурсов углеводородов // Реф. науч.-техн. сб. ВНИИОЭНГ. Серия нефтегазов. геол. и геофиз. - 1975. - № 6. - С. 13-18.

Вассоевич Н.Б. Теория осадочно-миграционного происхождения нефти // Известия АН СССР. Серия Геология. - 1967. - №11. - С.135-156.

Вассоевич Н.Б., Трофимук А.А., Конторович А.Э., Неручев С.Г. Новые исследования в области диагностики нефтепроизводящих отложений и оценки прогнозных запасов нефти и газа объемно-генетическим методом // Теоретические проблемы геологии нефти и газа: Избранные труды. В 4 т. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2001. - Т. 1. - С. 106-122.

Введение в теорию вероятностей и ее приложения. Т. 2 / В. Феллер. - М.: Мир, 1984. - 751 с.

Вышемирский В.С., Конторович А.Э., Трофимук А.А. Успехи теории органического происхождения нефти и газа. Избранные труды. В 4 т. // Теоретические проблемы геологии нефти и газа. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2001. - Т. 1. - С. 29-38.

Геофлюидодинамика. Приложение к сейсмологии, тектонике, процессам рудо и нефтегенеза / М.В. Родкин, Д.В. Рундквист. - Долгопрудный: ИД «Интеллект», 2017. - 282 с.

Геохимические методы количественного прогноза нефтегазоносности / А.Э. Конторович. - М.: Недра, 1976. - 250 с.

Количественная оценка перспектив нефтегазоносности слабоизученных регионов / А.Э. Конторович, Л.М. Бурштейн, Г.С. Гуревич, В.И. Демин, М.С. Моделевский, А.А. Растегин, И.А. Страхов, А.Л. Вымятин, В.Р. Лившиц; под ред. А.Э. Конторовича. - М.: Недра, 1988. - 223 с.

Количественный прогноз нефтегазоносности / В.И. Шпильман. - М.: Недра, 1982. - 215 с.

Конторович А.Э. Генетические принципы раздельного прогноза нефтегазоносности и газоносности // Осадочно-миграционная теория образования нефти и газа. - М., 1978. - С. 189-204.

Конторович А.Э. Общая теория нафтидогенеза. Базисные концепции, пути построения // Теоретические и региональные проблемы геологии нефти и газа. - Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1991. - С. 29-44.

Конторович А.Э. Осадочно-миграционная теория нафтидогенеза: состояние на рубеже XX и XXI вв., пути дальнейшего развития // Геология нефти и газа - 1998. - №10. - С. 8-16.

Конторович А.Э. Теоретические основы объемно-генетического метода оценки потенциальных ресурсов нефти и газа // Материалы по геохимии нефтегазоносных бассейнов Сибири. - Новосибирск, 1970. - С. 4-51. - (Тр. СНИИГГиМС; вып. 95.).

Конторович А.Э., Бурштейн Л.М., Лившиц В.Р. Современное состояние и перспективы развития нелинейной теории нафтидогенеза // Сб. научных трудов к 70-летию ВНИГРИ. - СПб: ВНИГРИ, 1999. - С. 49-54.

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., Демин В.И., Краснов О.С. Прогноз подготовки ресурсов газа с применением математических методов // Повышение эффективности разработки и ускорение ввода в промышленное освоение месторождений газа в УССР. - Харьков, 1976. - С. 69-70.

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. Имитационная стохастическая модель распределения

месторождений нефти и газа по ресурсам // Советская геология. - 1988. - № 9. - С. 99-107.

Конторович А.Э., Лившиц В.Р. Имитационное моделирование процесса поисков месторождений нефти и газа // Геология и геофизика. - 1988. - № 5. - С.3-17.

Конторович А.Э., Лившиц В.Р. Новые методы оценки, особенности структуры и пути освоения прогнозных ресурсов нефти зрелых нефтегазоносных провинций (на примере Волго-Уральской провинции) // Геология и геофизика. – 2017. - № 12. - С. 1835-1852.

Конторович А.Э., Лившиц В.Р. О вероятностном распределении углеводородов по массе в дисперсно рассеянном состоянии // Доклады РАН. – 2007. - Т.415. - № 4. - С. 514-517.

Крылов Н.А., Алексин А.Г., Батулин Ю.Н. Задачи и пути ускорения научно-технического прогресса при поисках нефти в районах с высокой разведанностью недр // Геология нефти и газа. – 1986. – №7. – С.1-7.

Лившиц В.Р. Имитационная стохастическая модель латеральной миграции углеводородов // Геология и геофизика. 2014. – № 5. – С. 906-917.

Лившиц В.Р. Латеральная миграция углеводородов как возможный механизм формирования степенного распределения их скоплений по массе // Геология и геофизика. – 2017. – № 3-4. – С. 372-383.

Лившиц В.Р., Шарнин А.А. Об одном возможном механизме формирования распределения скоплений углеводородов по крупности // Геология нефти и газа. – 2011. – №5. – С. 12-18.

Миграция рассеянных битумоидов / В.С. Вышемирский, А.Э. Конторович, А.А. Трофимук. - Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1971. - 167 с.

Неручев С.Г., Моисеева О.Б., Климова Л.И., Смирнов С.В. Моделирование процессов миграции и аккумуляции нефти и газа в ловушках // Геология и геофизика. – 2000. - Т. 41. - №8. - С. 1145-1164.

Основы стохастической финансовой математики. Т. 1. Факты. Модели / А.Н. Ширяев. - М.: ФАЗИС, 1998. - 512 с.

Оценка потенциальных ресурсов углеводородов на основании моделирования процессов их генерации, миграции и аккумуляции / С.Г. Неручев, Т.К. Баженова, С.В. Смирнов, О.А. Андреева, Л.И. Климова. – СПб: «Недра», 2006. - 364 с.

Прогноз месторождений нефти и газа / А.Э. Конторович, Э.Э. Фотиади, В.И. Демин, В.Б. Леонтович, А.А. Растегин. – М.: Недра, 1981. - 350 с.

Ресурсы нефти и газа капиталистических и развивающихся стран. Т. 2 / Под ред. В.И. Высоцкого, Н.А. Калинина, Ю.Я. Кузнецова, М.С. Моделевского. - Л.: Недра, 1977. – 263 с.

Учение о нефти / И.М. Губкин. – М.: Наука, 1975. - 384 с.

Шильман В.И. Методика прогнозирования размеров месторождений // Труды ин-та ЗапСибНИГНИ. - 1972. - Вып. 53. - С. 118-126.

Kaufman G.M., Balcer Y., Kruit D.A. Probabilistic Model of Oil and Gas Discovery // American Association of Petroleum Geologists, 1975. – №. 1. – P. 113-142.

Kontorovich A., Domain V., Livshits V. Size distribution and dynamics of oil and gas field discoveries in petroleum basins // AAPG Bulletin. 2001. - Vol. 85. - № 9. - P. 1609-1622.

Livshits V.R.

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia, livshic.vr@mail.ru

CORRELATION OF MASS DISTRIBUTION LAW OF HYDROCARBON ACCUMULATIONS AND PETROLEUM FIELDS

Petroleum basin hydrocarbon accumulation distribution law constitutes mathematical basement of quantitative prognosis of hydrocarbon potential. Wherein it is important to differ the distribution law of hydrocarbon accumulations from that of the petroleum fields. It is shown that if hydrocarbon accumulation mass distribution of petroleum basin is governed by the truncated Pareto distribution then distribution of petroleum fields of the basin cannot be described by the same law. Using probability theory analytical methods as well as statistical analysis methods and statistical data processing allowed establishing the law of hydrocarbon fields mass distribution provided that hydrocarbon accumulation distribution is governed by the truncated Pareto law. Received probability distribution is modeless and close to be power-series although strictly speaking it is not the case.

Keywords: *petroleum basin, hydrocarbon accumulations, petroleum fields, hydrocarbon accumulation and fields mass probability distribution, the truncated Pareto distribution.*

References

Arsiriy Yu.A., Kabyshev B.P., Chuprynin D.I., Shevchenko A.F., Shevyakova Z.P. *Prognoz razmerov i chisla neotkrytykh zalezhey UV i metodika ikh poiskov v DDV* [Forecast of the size and number of undiscovered hydrocarbon accumulations and the method of their exploration in DDV]. *Geologiya nefi i gaza*, 1986, no.10, pp. 42-46.

Bakirov V.A. *Statisticheskaya model' raspredeleniya mestorozhdeniy nefi i gaza po velichine zapasov* [Statistical model of size distribution of oil and gas fields]. *Geologiya nefi i gaza*, 1972, no. 2, pp. 63-68.

Burshteyn L.M. *Statisticheskie otsenki parametrov raspredeleniya skopleniy nefi po velichine v slaboizuchennykh sedimentatsionnykh basseynakh* [Statistical estimates of the distribution parameters of oil clusters by size in poorly studied sedimentation basins]. *Geologiya i geofizika*, 2006, vol. 47, no. 9, pp. 1013-1023.

Burshteyn L.M. *Vozmozhnyy mekhanizm formirovaniya raspredeleniya skopleniy uglevodorodov po krupnosti* [Possible mechanism of formation of the distribution of hydrocarbon accumulations by size]. *Geologiya i geofizika*, 2004, vol. 45, no. 7, pp. 815-825.

Burshteyn L.M., Livshits V.R. *K voprosu o raspredelenii skopleniy uglevodorodov po krupnosti* [On the question of the distribution of hydrocarbons clusters by size]. *Genesis nefi i gaza*, Moscow: «GEOS», 2003, pp. 424-426.

Buyalov N.I., Vagerov V.S., Shungutova S.A. *Opyt primeneniya logarifmicheskoi normal'nogo zakona raspredeleniya dlya otsenki prognoznykh resursov uglevodorodov* [The experience of application of lognormal distribution law to assessing the predicted hydrocarbon reserves]. *Ref. nauch.-tekhn. sb. VNIIOENG. Seriya neftegazovaya geologiya i geofizika*, 1975, no. 6, pp. 13-18.

Geoflyuidodinamika. Prilozhenie k seismologii, tektonike, protsessam rudo i neftegeneza [Geofluidodynamics. An appendix to seismology, tectonics, ore and neftegenesis processes]. M.V. Rodkin, D.V. Rundkvist. *Dolgoprudnyy: ID «Intellekt»*, 2017, 282 p.

Geokhimicheskie metody kolichestvennogo prognoza neftegezonosnosti [Geochemical methods for quantitative prediction of petroleum potential]. A.E. Kontorovich, Moscow: Nedra, 1976, 250 p.

Kaufman G.M., Balcer Y., Kruit D.A. Probabilistic model of oil and gas discovery. *American Association of Petroleum Geologists*, 1975, no. 1, pp. 113-142.

Kolichestvennaya otsenka perspektiv neftegezonosnosti slaboizuchennykh regionov [Quantitative assessment of the prospects of petroleum potential of poorly studied regions]. A.E. Kontorovich, L.M. Burshteyn, G.S. Gurevich, V.I. Demin, M.S. Modelevskiy, A.A. Rastegin,

I.A. Strakhov, A.L. Vymyatnin, V.R. Livshits; editor A.E. Kontorovich. Moscow: Nedra, 1988, 223 p.

Kolichestvennyy prognoz neftegazonosnosti [A quantitative forecast of oil and gas potential]. V.I. Shpil'man. Moscow: Nedra, 1982, 215 p.

Kontorovich A., Domain V., Livshits V. Size distribution and dynamics of oil and gas field discoveries in petroleum basins. AAPG Bulletin, 2001, vol. 85, no. 9, pp. 1609-1622.

Kontorovich A.E. *Geneticheskie printsipy razdel'nogo prognoza neftegazonosnosti i gazonosnosti* [Genetic principles of separate forecasting of oil-and-gas content and gas content]. Osadochno-migratsionnaya teoriya obrazovaniya nefiti i gaza. Moscow, 1978, pp. 189-204.

Kontorovich A.E. *Obshchaya teoriya naftidogeneza. Bazisnye kontseptsii, puti postroeniya Teoreticheskie i regional'nye problemy geologii nefiti i gaza* [General theory of naphthidogenesis. Basic concepts, ways of building, in: Theoretical and Regional Problems of Oil and Gas Geology]. Novosibirsk: Nauka, Sibirskoe otdelenie, 1991, pp. 29-44.

Kontorovich A.E. *Osadochno-migratsionnaya teoriya naftidogeneza: sostoyanie na rubezhe XX i XXI vv., puti dal'neyshego razvitiya* [Sedimentary-migration theory of naphthidogenesis: State at the turn of the 20th and 21st centuries, paths of further development]. Geologiya nefiti i gaza, 1998, no.10, pp. 8-16.

Kontorovich A.E. *Teoreticheskie osnovy ob'emno-geneticheskogo metoda otsenki potentsial'nykh resursov nefiti i gaza* [Theoretical foundations of the volume-genetic method for estimating potential oil and gas resources]. Materialy po geokhimii neftegazonosnykh basseynov Sibiri. Novosibirsk, 1970, pp. 4-51. (Tr. SNIIGGiMS; issue 95).

Kontorovich A.E., Burshteyn L.M. Livshits V.R. *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya nelineynoy teorii naftidogeneza* [The current state and prospects for the development of the nonlinear theory of naphthidogenesis]. Cbornik nauchnykh trudov k 70-letiyu VNIGRI. St. Petersburg: VNIGRI, 1999, pp. 49-54.

Kontorovich A.E., Demin V.I. *Metod otsenki kolichestva i raspredeleniya po zapasam mestorozhdeniy nefiti i gaza v krupnykh neftegazonosnykh basseynakh* [Method of estimation of the amount and distribution of oil and gas fields in large petroleum basins]. Geologiya nefiti i gaza, 1977, no. 12, pp.18-26.

Kontorovich A.E., Demin V.I. *Prognoz kolichestva i raspredeleniya po zapasam mestorozhdeniy nefiti i gaza* [Forecast of the quantity and distribution of oil and gas fields by reserves]. Geologiya i geofizika, 1979, no. 3, pp. 26-46.

Kontorovich A.E., Demin V.I., Krasnov O.S. *Prognoz podgotovki resursov gaza s primeneniem matematicheskikh metodov* [Conditional prediction of gas resources using mathematical methods]. Povyshenie effektivnosti razrabotki i uskorenie vvoda v promyshlennoe osvoenie mestorozhdeniy gaza v USSR, Khar'kov, 1976, pp. 69-70.

Kontorovich A.E., Livshits V.R. *Determinirovannyy kharakter protsessa nefteobrazovaniya v istorii Zemli i ego kolichestvennyye kharakteristiki* [Deterministic character of the process of oil formation in the history of the Earth and its quantitative characteristics]. Geologiya nefiti i gaza, 2002, no. 1, pp. 9-16.

Kontorovich A.E., Livshits V.R. *Imitatsionnaya stokhasticheskaya model' raspredeleniya mestorozhdeniy nefiti i gaza po resursam* [Imitation stochastic model of the distribution of oil and gas fields by resources]. Sovetskaya.geologiya, 1988, no. 9, pp. 99-107.

Kontorovich A.E., Livshits V.R. *Imitatsionnoe modelirovanie protsessa poiskov mestorozhdeniy nefiti i gaza* [Imitative modeling of the process of prospecting for oil and gas deposits]. Geologiya i geofizika, 1988, no. 5, pp. 3-17.

Kontorovich A.E., Livshits V.R. *Novye metody otsenki, osobennosti struktury i puti osvoeniya prognoznykh resursov nefiti zrelykh neftegazonosnykh provintsiy (na primere Volgo-Ural'skoy provintsii)* [New estimation methods, peculiarities of structure and ways to develop forecast resources of mature oil and gas provinces (on the example of the Volga-Ural Province)]. Geologiya i geofizika, 2017, no. 12, pp. 1835-1852.

Kontorovich A.E., Livshits V.R. *O veroyatnostnom raspredelenii uglevodorodov po masse v*

dispersno rasseyannom sostoyanii [On the probability distribution of hydrocarbons by mass in a dispersed state]. Doklady RAN, 2007, vol.415, no. 4, pp. 514-517.

Krylov N.A., Aleksin A.G., Baturin Yu.N. *Zadachi i puti uskoreniya nauchno-tehnicheskogo progressa pri poiskakh nefi v rayonakh s vysokoy razvedannost'yu nedr* [Tasks and ways to accelerate scientific and technological progress in searching for oil in mature fields]. Geologiya nefi i gaza, 1986, no. 7, pp. 1-7.

Livshits V.R. *Imitatsionnaya stokhasticheskaya model' lateral'noy migratsii uglevodorodov* [Imitational stochastic model of lateral migration of hydrocarbons]. Geologiya i geofizika, 2014, no. 5, pp. 906-917.

Livshits V.R. *Lateral'naya migratsiya uglevodorodov kak vozmozhnyy mekhanizm formirovaniya stepennogo raspredeleniya ikh skopleniy po masse* [Lateral migration of hydrocarbons as a possible mechanism for the formation of the power distribution of their clusters by mass]. Geologiya i geofizika, 2017, no. 3-4, pp. 372-383.

Livshits V.R., Sharnin A.A. *Ob odnom vozmozhnom mekhanizme formirovaniya raspredeleniya skopleniy uglevodorodov po krupnosti* [On one possible mechanism for forming the distribution of hydrocarbon accumulations by size]. Geologiya nefi i gaza, 2011, no. 5, pp. 12-18.

Migratsiya rasseyannykh bitumoidov [Migration of dispersed bitumoids]. V.S. Vyshemirskiy, A.E. Kontorovich, A.A. Trofimuk. Novosibirsk: Nauka, Sibirskoe otdelenie, 1971, 167 p.

Neruchev S.G., Moiseeva O.B., Klimova L.I., Smirnov S.V. *Modelirovanie protsessov migratsii i akkumulyatsii nefi i gaza v lovushkakh* [Modeling of migration and oil and gas accumulation in traps]. Geologiya i geofizika, 2000, vol. 41, no. 8, pp. 1145-1164.

Osnovy stokhasticheskoy finansovoy matematiki. T. 1. Fakty. Modeli [Fundamentals of stochastic financial mathematics]. A.N. Shiryaev. Moscow: FAZIS, 1998, 512 p.

Otsenka potentsial'nykh resursov uglevodorodov na osnovanii modelirovaniya protsessov ikh generatsii, migratsii i akkumulyatsii [Estimation of potential hydrocarbon resources based on modeling the processes of their generation, migration and accumulation]. S.G. Neruchev, T.K. Bazhenova, S.V. Smirnov, O.A. Andreeva, L.I. Klimova. St. Petersburg: «Nedra», 2006, 364 p.

Prognoz mestorozhdeniy nefi i gaza [Forecast of oil and gas fields]. A.E. Kontorovich, E.E. Fotiadi, V.I. Demin, V.B. Leontovich, A.A. Rastegin, Moscow: Nedra, 1981, 350 p.

Resursy nefi i gaza kapitalisticheskikh i razvivayushchikhsya stran. T. 2 [Oil and gas resources of capitalist and developing countries]. Editors V.I. Vysotskogo, N.A. Kalinina, Yu.Ya. Kuznetsova, M.S. Modelevskogo. Leningrad: Nedra, 1977, 263 p.

Shpil'man V.I. *Metodika prognozirovaniya razmerov mestorozhdeniy* [Method of predicting the size of deposits]. Trudy in-ta ZapSibNIGNI, 1972, issue 53, pp. 118-126.

Uchenie o nefi [The doctrine of oil]. I.M. Gubkin. Moscow: Nauka, 1975, 384 p.

Vassoevich N.B. *Teoriya osadochno-migratsionnogo proiskhozhdeniya nefi* [Theory of sedimentary-migration origin of oil]. Izvestiya AN SSSR. Seriya Geologiya, 1967, no. 11, pp. 135-156.

Vassoevich N.B., Trofimuk A.A., Kontorovich A.E., Neruchev S.G. *Novye issledovaniya v oblasti diagnostiki nefteproduyashchikh otlozheniy i otsenki prognoznykh zapasov nefi i gaza ob"emno-geneticheskim metodom* [New studies of diagnostics of oil source rocks and estimation of expected reserves of oil and gas by the volume-genetic method]. Teoreticheskie problemy geologii nefi i gaza: Izbrannye trudy. V 4 t. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, filial «Geo», 2001, vol. 1, pp. 106-122.

Vvedenie v teoriyu veroyatnostey i ee prilozheniya. T. 2 [An Introduction to probability theory and its applications]. V. Feller, Moscow: Mir, 1984, 751 p.

Vyshemirskiy V.S., Kontorovich A.E., Trofimuk A.A. *Uspekhi teorii organicheskogo proiskhozhdeniya nefi i gaza. Izbrannye trudy. V 4 t.* [Advances in the theory of the organic origin of oil and gas]. Teoreticheskie problemy geologii nefi i gaza. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, filial «Geo», 2001, vol. 1, pp. 29-38.