

DOI: 10.17353/2070-5379/28_2023

УДК 553.98.042(571.1)

Лившиц В.Р.

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

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА НЕВЫЯВЛЕННЫХ ЗАЛЕЖЕЙ В МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЕВОДОРОДОВ

Вероятностное распределение месторождений углеводородов по количеству залежей в них является важной характеристикой структуры ресурсов нефтегазоносного бассейна и может быть использовано при прогнозе эффективности геологоразведочных работ. Предложен аналитический подход к оценке распределения количества невыявленных залежей. На примере Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, на основе эмпирически найденного безусловного распределения месторождений по количеству залежей нефти в них, выполнен расчет условных вероятностей наличия заданного количества залежей в месторождении при условии, что некоторое их число уже выявлено.

Ключевые слова: *нефтегазоносный бассейн, структура ресурсов углеводородов, залежь нефти, месторождение углеводородов, распределение месторождений углеводородов по количеству залежей в них, оценка распределения количества невыявленных залежей, Западно-Сибирская нефтегазоносная провинция.*

Введение

Как указывалось ранее [Лившиц, Конторович, 2022], структура ресурсов углеводородов (УВ) нефтегазоносного бассейна (НГБ) является сложной категорией, включающей в себя такие понятия, как распределение массы углеводородов по фазовому составу, физико-химическим свойствам, стратиграфическим комплексам, типам ловушек и т. д.

Центральную роль в решении оценки структуры ресурсов, естественно, занимает разработка методики оценки распределения количества скоплений УВ (залежей, месторождений) по заданным интервалам запасов, а также суммарной величины массы УВ в этих интервалах. Именно эти оценки позволяют осуществить прогноз количества и массы невыявленных скоплений и, в конечном счете, прогнозировать экономическую эффективность геологоразведочных работ.

Многолетние исследования, выполненные В.И. Шпильманом, А.Э. Конторовичем, В.И. Демином, Л.М. Бурштейном, В.Р. Лившицем и многими другими исследователями, привели к созданию современной методики оценки структуры ресурсов УВ НГБ, в основе которой лежит степенной закон распределения залежей УВ по массе – усеченное распределение Парето [Шпильман, 1972; Конторович, Демин, 1977, 1979; Прогноз месторождений..., 1981; Количественная оценка..., 1988].

Установлено, что независимо от геологического строения и истории развития НГБ, его индивидуальных особенностей, функциональный вид закона распределения скоплений УВ по величине их массы сохраняется одним и тем же, отличаясь лишь значениями своих параметров. Это обстоятельство позволяет утверждать, что такой характер распределения скоплений УВ по массе носит универсальный, фундаментальный характер [Конторович, 1998; Количественная оценка..., 1988].

На основе этого закона А.Э. Конторовичем и В.И. Демином разработан аналитический подход к оценке параметров этого распределения, количества залежей и их суммарных ресурсов для любого заданного интервала крупности [Конторович, Деминов, 1977, 1979; Прогноз месторождений..., 1981; Количественная оценка..., 1988].

В последующих работах А.Э. Конторовича и В.Р. Лившица для решения задачи оценки распределения ресурсов НГБ по отдельным залежам применен аппарат имитационного моделирования [Конторович, Лившиц, 1988а, 1988б; Количественная оценка..., 1988; Kontorovich, Domain, Livshits, 2001].

В предыдущей работе [Лившиц, 2020] автором показано, что усеченное распределение Парето относится к распределению залежей УВ, определяемых как единичные скопления нефти и газа, представляющие собой единый физический объект, в котором протекают процессы аккумуляции и рассеяния УВ и для которых разработаны соответствующие математические модели, приводящие к степенному характеру распределения залежей УВ по массе [Конторович, 1998; Бурштейн, 2004; Лившиц, 2017].

В тоже время, для составления программ лицензирования недр, проектирования геологоразведочных работ и экономической оценки рентабельности освоения лицензионных участков важно располагать информацией о распределении по заданным интервалам запасов, количества скоплений и их суммарной массы не только для залежей, но и для месторождений УВ. Это обстоятельство потребовало дальнейшего развития методики оценки структуры ресурсов в части разработки алгоритма формирования прогнозной совокупности месторождений из прогнозной совокупности залежей. Такой алгоритм использован для оценки распределения по интервалам крупности месторождений нефти в Волго-Уральской и Западно-Сибирской НГП, так что результат удалось представить в виде таблиц двумерного распределения количества и суммарных ресурсов нефти по интервалам для залежей и месторождений [Конторович, Лившиц, 2017; Конторович и др., 2021].

Дальнейшее совершенствование указанного алгоритма привело к моделированию пространственного распределения залежей, как реализации нестационарного пуассоновского точечного поля [Амбарцумян, Мекке, Штойян, 1989; Лившиц, 2010; Липский и др., 1977] и формированию имитационной совокупности месторождений, каждое из которых

рассматривается как геометрический объект, объединяющий несколько залежей по принципу их геометрического расположения [Лившиц, 2021].

Как следствие, такой подход позволил получить не только распределение количества залежей и их суммарных ресурсов по интервалам крупности для залежей и для месторождений, но и распределение количества месторождений и их суммарных ресурсов, содержащихся в одно-, двух-, трех- и т. д. залежных месторождениях, т. е., распределение количества месторождений по количеству залежей в них. Ранее этот подход рассматривается на примере прогноза двумерного распределения ресурсов нефти в Западно-Сибирской НГП по месторождениям различной крупности и по количеству залежей в них [Лившиц, Конторович, 2022].

Установлена связь между законом распределения по массе залежей УВ – усеченным распределением Парето, и законом распределения по массе месторождений УВ [Лившиц, 2020]. Полученные при этом выражения содержат вероятности месторождений с одной, 2-мя, 3-мя и т. д. залежами, т. е. распределение месторождений по количеству залежей в них. Это распределение найдено эмпирически, путем статистической обработки данных по четырем хорошо изученным нефтегазоносным провинциям РФ: Волго-Уральской, Западно-Сибирской, Тимано-Печорской и Северо-Кавказской. При этом оказалось, что для всех четырех провинций, указанные распределения представляют собой амодальные, асимметричные распределения, которые с вполне приемлемой точностью аппроксимируются степенной зависимостью и весьма близки между собой для различных провинций.

В указанной выше работе распределение месторождений УВ по количеству залежей в них играет лишь вспомогательную роль. В тоже время, это распределение может рассматриваться и как самостоятельная характеристика структуры ресурсов.

В настоящей статье, на основе полученного безусловного распределения месторождений нефти по количеству залежей в них выполнен расчет условных вероятностей $P(k|m)$ наличия в месторождении k залежей при условии, что $m \leq k$ залежей уже выявлены [Лившиц, 2020]. Расчет сделан на примере месторождений нефти в Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции.

Условное распределение месторождений по количеству залежей

Обозначим через k количество залежей в месторождении, а через P_k – соответствующую вероятность. Как указано выше, это распределение найдено эмпирически, путем статистической обработки данных, так что P_k оценивалось как доля месторождений с k залежами в общем количестве месторождений.

Вследствие того, что число месторождений с большим количеством залежей малó, так

что статистические оценки оказываются подвержены сильным выборочным флуктуациям, учитывались лишь месторождения, число залежей в которых не превышало некоторого установленного уровня n . В данном случае принято $n = 10$.

Если известно, что месторождение имеет как минимум m залежей (в месторождении выявлено m залежей), то представляется естественным, использовать эту информацию для оценки возможного числа залежей в месторождении, которое может изменяться от 1 до n , так что k принимает значения $m, m + 1, \dots, n$.

Эта информация содержится в условном (апостериорном) распределении $P(k|m)$ – вероятности того, что месторождение имеет k залежей при условии, что минимальное их число равно $m = 1, \dots, n$; $k = m, m + 1, \dots, n$.

Поскольку количество возможного числа залежей k для некоторого фиксированного m ограничено, то, очевидно, что пересчет априорных вероятностей P_k в апостериорные $P(k|m)$ уменьшает неопределенность величины k , а условные вероятности $P(k|m)$ наличия k залежей в месторождении будут больше соответствующих безусловных вероятностей.

Распределение урезанной слева величины k порождается исходным распределением P_k , путем его нормировки [Кендалл, Стьюарт, 1973], т. е. $P(k|m) = \frac{P_k}{T}$, где $T = \sum_{k=m}^n P_k$ – нормирующий множитель, который представляет собой вероятность того, что случайная величина k изменяется в новых пределах $[m, n]$, а условная вероятность $P(k|m)$ оценивается долей месторождений с k залежами, но не от общего числа месторождений, а лишь от числа месторождений, имеющих m и более залежей.

Для Западно-Сибирской НГП в качестве исходной информации можно взять прогноз распределения месторождений УВ по количеству залежей в них [Лившиц, Конторович, 2022].

На рис. 1 приведены фактическое распределение месторождений по количеству залежей в них и соответствующее прогнозное распределение, полученное по указанной выше имитационной модели. Оба распределения достаточно хорошо аппроксимируются степенным законом, а расхождение между ними связано с тем, что кривые, построенные для НГП, относятся к данным по открытым месторождениям, в то время как модельная кривая – ко всей генеральной совокупности месторождений бассейна [Лившиц, Конторович, 2022]. Поскольку последующие открытия в значительной степени будут связаны с открытиями мелких месторождений [Конторович и др., 2021], а это, в основном, однозалежные месторождения, то увеличение их доли приведет к снижению доли многозалежных месторождений и приближению фактической зависимости к модельной.

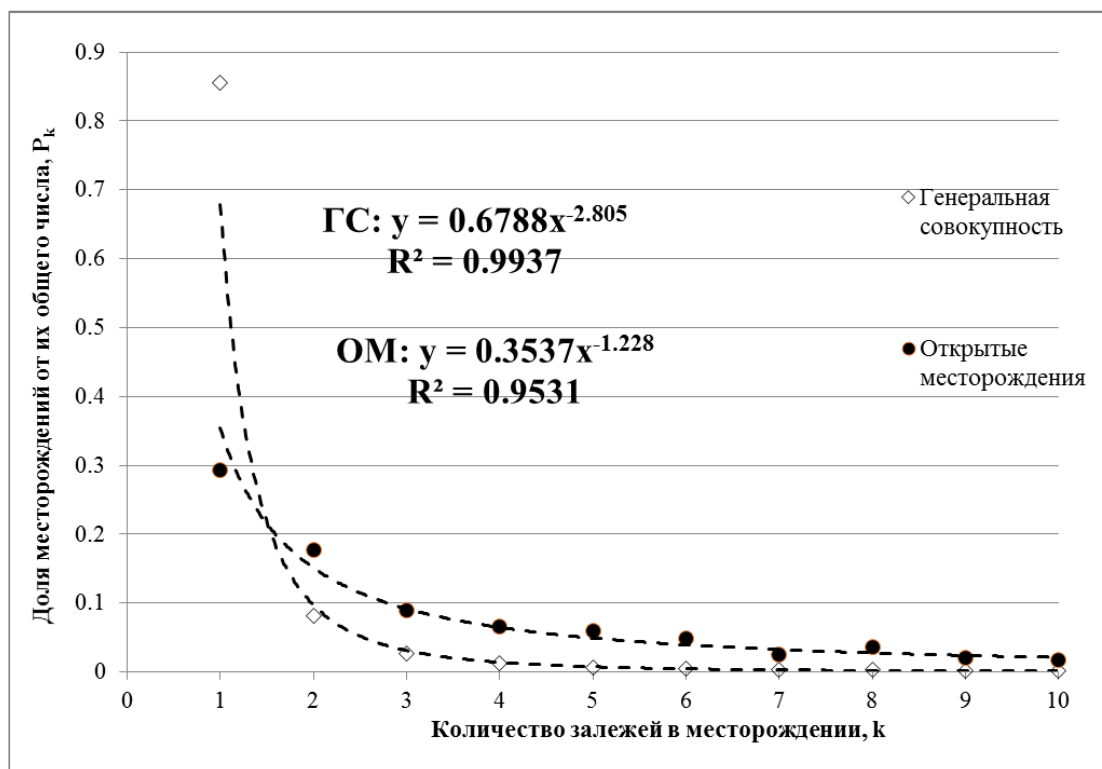


Рис. 1. Графики распределения месторождений по количеству залежей нефти в них для Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции

Полученное таким образом безусловное распределение P_k использовалось для расчета условного распределения $P(k|m)$ для значений $m = 1, \dots, n$ и $k = m, m + 1, \dots, n$. Результаты расчета приведены на рис. 2 и в табл. 1. В последних двух строках таблицы приведены вероятности того, что количество залежей в месторождении будет равно числу выявленных залежей $P(k = m)$, а также, что количество залежей будет превышать число выявленных $P(k > m)$.

Заключение

В отличие от априорного распределения P_k месторождений по количеству залежей в них, условное распределение $P(k|m)$ учитывает апостериорную информацию о месторождении, заключенную в количестве выявленных в нем залежей m .

Как видно из рис. 2, вероятность наличия в месторождении данного количества залежей k возрастает с увеличением числа выявленных залежей, достигая максимального значения при $k = m$.

Из табл. 1 и рис. 2 также следует, что при фиксированном числе выявленных залежей m , вероятность того, что месторождение содержит $k > m$ залежей, падает с ростом k .

Очевидно, что при выявлении одной залежи ($m = 1$) условное распределение $P(k|1)$ совпадает с безусловным P_k , поскольку выявление одной залежи эквивалентно выявлению

месторождения. Так как однозалежные месторождения составляют подавляющую часть всех месторождений (в Западно-Сибирской НПП – 86%), то наиболее вероятным является предположение об открытии однозалежного месторождения $k = 1$.

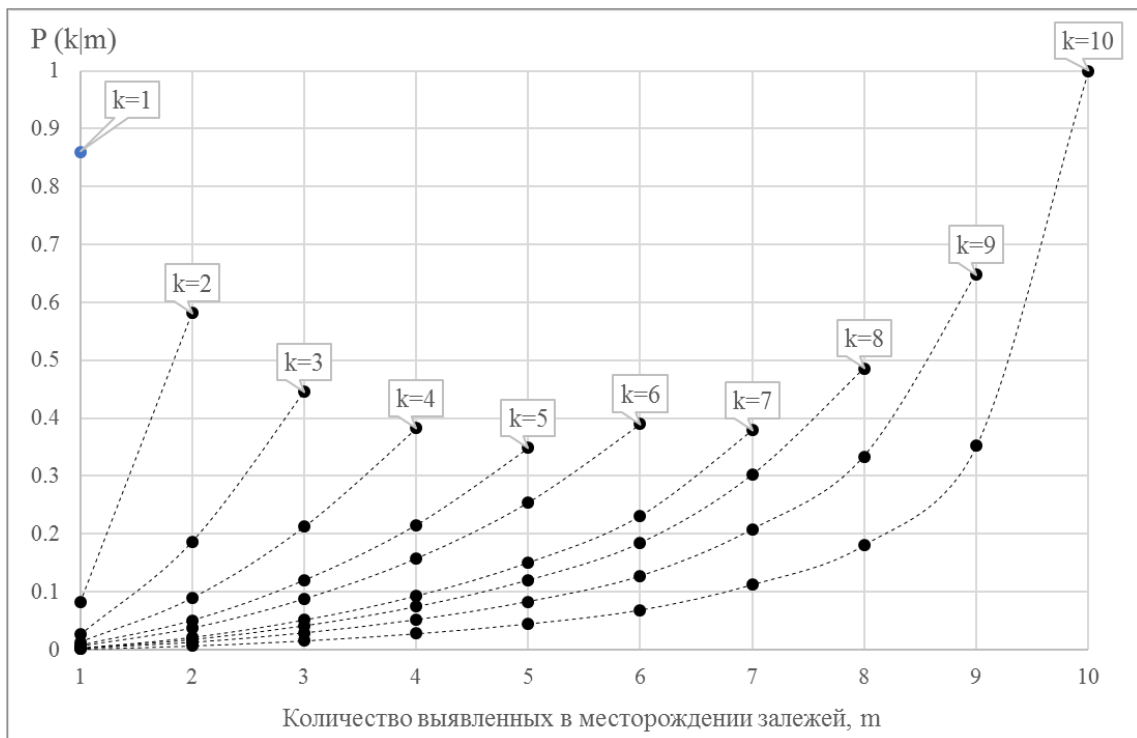


Рис. 2. Графики условной вероятности того, что в месторождении с m выявленными залежами число залежей равно k

Таблица 1

Вероятность $P(k|m)$ того, что месторождение содержит k залежей при условии, что в нем выявлено m залежей

Количество залежей в месторождении k	Количество выявленных в месторождении залежей m									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,8602	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,0813	0,5815	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0,0260	0,1863	0,4452	0	0	0	0	0	0	0
4	0,0124	0,0888	0,2121	0,3823	0	0	0	0	0	0
5	0,0070	0,0499	0,1194	0,2151	0,3482	0	0	0	0	0
6	0,0051	0,0364	0,0871	0,1570	0,2541	0,3899	0	0	0	0
7	0,0030	0,0216	0,0516	0,0930	0,1506	0,2310	0,3787	0	0	0
8	0,0024	0,0172	0,0411	0,0741	0,1200	0,1841	0,3018	0,4857	0	0
9	0,0017	0,0118	0,0282	0,0509	0,0824	0,1264	0,2071	0,3333	0,6481	0
10	0,0009	0,0064	0,0153	0,0276	0,0447	0,0686	0,1124	0,1810	0,3519	1,0000
$P(k=m)$	0,8602	0,5815	0,4452	0,3823	0,3482	0,3899	0,3787	0,4857	0,6481	1,0000
$P(k>m)$	0,1398	0,4185	0,5548	0,6177	0,6518	0,6101	0,6213	0,5143	0,3519	0,0000

Далее, из таблицы видно, что и двухзалежные месторождения также встречаются достаточно часто среди месторождений с двумя и более залежей (58%).

Таким образом, при одной или двух выявленных залежах наиболее вероятным оказывается предположение, что это и есть все залежи данного месторождения, т. е. $k = m$.

Для месторождений с числом выявленных залежей от 3-х до 8-ми более вероятным является предположение $k > m$, т. е. что эти месторождения имеют также и невыявленные залежи.

Для месторождений, в которых выявлено девять залежей, наиболее вероятно допустить, что оно не содержит залежей больше этого количества. Здесь, однако, следует иметь в виду, что это является следствием принятого ограничения максимального количества залежей в месторождении $n = 10$. Расчеты показывают, что с увеличением n вероятность $P(n - 1 | n - 1)$ асимптотически стремится к 0,5, оставаясь больше 0,5 для конечных n , т. е. в пределе при $n \rightarrow \infty$, $P(n - 1 | n - 1) = 0,5$, так что месторождение с $n - 1$ выявленной залежью может с равной вероятностью иметь как $n - 1$, так и n залежей.

Наконец, очевидно, что месторождение с $n = 10$ выявленными залежами с вероятностью единица содержит n залежей.

Таким образом, анализ безусловного распределения количества залежей P_k и условных вероятностей количества невыявленных залежей $P(k|m)$ может оказаться полезным при оптимизации планов поисково-разведочных работ, а сами эти распределения могут рассматриваться как характеристики структуры ресурсов УВ НГБ.

Работа выполнена в рамках научной темы FWZZ-2022-0007 «Цифровая модель Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, седиментогенез и литостратиграфия, закономерности размещения нефтяных и газовых месторождений, детализированная количественная оценка ресурсов углеводородов в традиционных и нетрадиционных скоплениях, как основа прогноза развития нефтегазового комплекса» государственной программы ФНИ.

Литература

Амбарцумян Р.В., Мекке Й, Штойян Д. Введение в стохастическую геометрию - М.: Наука, 1989. - 400 с.

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

Кендалл М. Дж., Стьюарт А. Статистические выводы и связи. - М.: Наука, 1973. - 900 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.

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

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., Буриштейн Л.М., Курчиков А.Р. Оценка начальных и прогнозных (перспективных и прогнозируемых) геологических и извлекаемых ресурсов нефти Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции и их структуры // Геология и геофизика. - 2021. - Т. 62. - № 5. - С. 711-726.

Конторович А.Э., Лившиц В.Р. Имитационная стохастическая модель распределения месторождений нефти и газа по ресурсам // Советская геология. - 1988а. - № 9. - С. 99-107.

Конторович А.Э., Лившиц В.Р. Имитационное математическое моделирование стохастических процессов как инструмент количественной оценки нефтегазоносности // Геология нефти и газа. - 1988б. - № 12. - с. 48-51.

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.

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. Математическая модель распределения скоплений углеводородов по территории нефтегазоносного бассейна на примере Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции // Геология и геофизика. - 2010. - № 2 - С. 201-205.

Лившиц В.Р. О законе распределения месторождений углеводородов по массе // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. - 2020. - Т. 331. - № 6. - С. 41-47.

Лившиц В.Р. Распределение ресурсов углеводородов по залежам и месторождениям и месторождений по числу залежей // Нефтяное хозяйство. - 2021. - № 9. - С. 18-22.

Лившиц В.Р., Конторович А.Э. Распределение ресурсов углеводородов по месторождениям различной крупности и по количеству залежей в них // Геология и геофизика. - 2022. - Т. 63. - № 11. - С. 1583-1590.

Липский Ю.Н., Родионова Ж.Ф., Скобелева Т.П., Дехтярева К.И. Каталог кратеров Марса и статистика кратеров Марса, Меркурия и Луны. - М.: Геол. ин-т АН СССР, 1977. - 69 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.

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

Kontorovich A., Domain V., Livshits V. Size distribution and dynamics of oil and gas field discoveries in petroleum basins // AAPG Bulletin. - 2001. - Vol. 85. - N 9. - P. 1609-1622.

Livshits V.R.

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

ESTIMATION OF THE PROBABILITY DISTRIBUTION OF THE NUMBER OF UNDETECTED ACCUMULATIONS IN HYDROCARBON FIELDS

The probabilistic distribution of hydrocarbon fields by the number of accumulations in them is an important characteristic of the resource structure of a petroleum bearing basin and can be used to predict the effectiveness of geological exploration. An analytical approach to assessing the distribution of the number of undiscovered accumulations is proposed. On the example of the West Siberian petroleum province, based on the empirically found unconditional distribution of fields by the number of oil accumulations in them, the conditional probabilities of the presence of a given number of accumulations in the field were calculated, provided that some of them have already been identified.

Keywords: *petroleum bearing basin, structure of hydrocarbon resources, oil accumulation, hydrocarbon field, distribution of hydrocarbon field by the number of accumulations in them, assessment of the distribution of the number of undetected accumulations, West Siberian petroleum province.*

References

Ambartsumyan R.V., Mekke Y., Shtoyyan D. *Vvedenie v stokhasticheskuyu geometriyu* [Introduction to stochastic geometry]. Moscow: Nauka, 1989, 400 p.

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

Kendall M. Dzh., St'yuart A. *Statisticheskie vyvody i svyazi* [Inference and relationship]. Moscow: Nauka, 1973, 900 p.

Kolichestvennaya otsenka perspektiv neftegazonosnosti slaboizuchennykh regionov. [Quantitative assessment of the prospects for petroleum potential in 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. Pod. red. A.E. Kontorovicha. Moscow: Nedra, 1988, 223 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. *Osadochno-migratsionnaya teoriya naftidogeneza: sostoyanie na rubezhe XX i XXI vv., puti dal'neyshego razvitiya* [Sedimentary-migration theory of naftidogenesis: state at the turn of the 20th and 21st centuries, ways of further development]. *Geologiya nefi i gaza*, 1998, no. 10, pp. 8-16.

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

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

Kontorovich A.E., Livshits V.R. *Imitatsionnoe matematicheskoe modelirovanie stokhasticheskikh protsessov kak instrument kolichestvennoy otsenki neftegazonosnosti* [Simulation mathematical modeling of stochastic processes as a tool for quantitative assessment of oil and gas

content]. *Geologiya nefiti i gaza*, 1988b, no. 12, pp. 48-51.

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., Burshteyn L.M., Kurchikov A.R. *Otsenka nachal'nykh i prognoznykh (perspektivnykh i prognoziruemykh) geologicheskikh i izvlekaemykh resursov nefiti Zapadno-Sibirskoy neftegazonosnoy provintsii i ikh struktury* [Estimation of initial and forecast (prospective and predicted) geological and recoverable oil resources of the Western Siberian petroleum province and their structure]. *Geologiya i geofizika*, 2021, no. 5, pp. 711-726.

Lipskiy Yu.N., Rodionova Zh.F., Skobeleva T.P., Dekhtyareva K.I. *Katalog kraterov Marsa i statistika kraterov Marsa, Merkuriya i Luny* [Catalog of Mars craters and statistics of craters of Mars, Mercury and the Moon]. Moscow: Geol. in-t AN SSSR, 1977, 69 p.

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 a power-law distribution of their accumulations by mass]. *Geologiya i geofizika*, 2017, no. 3-4, pp. 372-383.

Livshits V.R. *Matematicheskaya model' raspredeleniya skopleniy uglevodorodov po territorii neftegazonosnogo basseyna na primere Zapadno-Sibirskoy neftegazonosnoy provintsii* [Mathematical model of the distribution of hydrocarbon accumulations over the territory of the petroleum basin on the example of the Western Siberian petroleum province]. *Geologiya i geofizika*, 2010, no. 2, pp. 201-205.

Livshits V.R. *O zakone raspredeleniya mestorozhdeniy uglevodorodov po masse* [On the distribution law of hydrocarbon fields by mass]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2020, vol. 331, no. 6, pp. 41-47.

Livshits V.R. *Raspredelenie resursov uglevodorodov po zalezham i mestorozhdeniyam i mestorozhdeniy po chislu zalezhey* [Distribution of hydrocarbon resources by accumulations and fields and fields by number of accumulations]. *Neftyanoe khozyaystvo*, 2021, no. 9, pp. 18-22.

Livshits V.R., Kontorovich A.E. *Raspredelenie resursov uglevodorodov po mestorozhdeniyam razlichnoy krupnosti i po kolichestvu zalezhey v nikh* [Distribution of hydrocarbon resources by fields of various sizes and by the number of accumulations in them]. *Geologiya i geofizika*, 2022, vol. 63, no. 11, pp. 1583-1590.

Prognoz mestorozhdeniy nefiti 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.

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.

© Лившиц В.Р., 2023

