

ИНТЕРВАЛЬНАЯ ОЦЕНКА РЕСУРСОВ УГЛЕВОДОРОДОВ (НА ПРИМЕРЕ СЛАБОИЗУЧЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ)

В.И. Демин, А.Э. Конторович
(СНИИГГиМС, ИГНУГ СО РАН)

Вводные замечания

Вероятностный характер оценок прогнозных ресурсов углеводородов любых слабоизученных территорий является общепризнанным [2, 3]. Никакую точечную (в виде одного числа) оценку прогнозных ресурсов нефти, газа или конденсата нельзя считать достоверной. Неизвестные истинные прогнозные ресурсы отличаются от нее в ту или иную сторону и могут совпадать с точечной оценкой лишь случайно. Наиболее приемлемым способом оценки прогнозных ресурсов (Q) представляется их функция распределения $F(x)$, ставящая в соответствие любому наперед заданному числу x величину $1-F(x)$, равную вероятности того, что Q будет больше x : $P\{Q>x\}$.

Функция распределения $F(x)$ обладает особенностями, обусловленными спецификой рассматриваемой конкретной задачи: прогнозные ресурсы не могут быть отрицательной величиной, для некоторых территорий проблематично наличие значительных ресурсов углеводородов. Математическое выражение функции распределения, составляющей базу интервального оценивания, может быть различным: нормальное (гауссовское) распределение, логнормальное, треугольное и др. При ее выборе необходимо учитывать, какого рода исходная фактическая информация будет использована, наличие компьютерного программного обеспечения и т. д.

Исходная информация

Общая оценка ресурсов УВ любой части Сибирской платформы в соответствии с принятой методологией ее проведения складывается из оценок отдельных резервуаров, выполняющих ее осадочный чехол. Каждый из этих резервуаров имеет определенную площадь распространения и оценивается частично или полностью одним из двух методов — внутренних аналогий (МВА) или объемно-статистическим (ОСМ). Основная неопределенность прогнозной оценки, обуславливающая необходимость построения интервальных оценок, заключается в изменчивости и неточности оценок плотности ресурсов, полученных по отдельным эталонным, расчетным и оценочным участкам в зависимости от метода (расчет-

Для слабоизученной части территории Сибирской платформы с помощью традиционной статистической обработки плотностей ресурсов углеводородов по совокупностям эталонных, расчетных и оценочных участков, попавших в ее пределы, получена интервальная оценка ресурсов углеводородов. Сделанная попытка использовать треугольное распределение и базирующаяся на нем методика, примененные для аналогичных целей R.A. Crovelli и R.H. Balay, а также геолого-математическое моделирование с этой моделью к успеху не привели.

Interval estimation of the hydrocarbon resources on the Siberian Platform is based on natural variability of ultimate potential hydrocarbon resource densities within standard, calculated and estimated localities. Depending on the estimation method the totalities of such localities are: when estimated using a method of internal analogies these are one standard locality and calculated ones assessed with the former; when assessed using volumetric-statistical method these are estimated localities, i.e. those where differentiation of preassigned resource value is done. 44 such totalities have been analyzed.

ным — МВА, оценочным — ОСМ). Этот факт был положен в основу интервального оценивания ресурсов УВ территории Сибирской платформы.

С этой целью были проанализированы совокупности оценок плотностей ресурсов, каждая совокупность в отдельности, по участкам в пределах каждого из резервуаров, оцененных одним и тем же способом. Для резервуаров, оцененных МВА, это были так называемые зоны влияния отдельных эталонных участков, т. е. сами эталонные участки и совокупность тех расчетных участков, которые оценивали с его помощью. Такие группы участков были выбраны не

случайно — именно они представлялись минимальными однородными объектами для анализа вариаций плотности с целью последующего построения интервальных оценок для каждой из таких групп и их комбинаций. Номера и число объектов оценки на Сибирской платформе приведены в табл. 1.

Первостепенный интерес для выбора методики дальнейшей обработки исходных данных, применения конкретных математических моделей представляет установление закономерностей в распределении плотности ресурсов в пределах выбранного объекта оценки (совокупности участков). С этой целью для каждой совокупности была построена ее гистограмма. Типичные примеры этих гистограмм приведены на рис. 1. За редким исключением они имеют одномодальный (одновершинный) характер, причем для зоны влияния эталонных участков примерно половина имеет амодальный (см. рис. 1, А) характер, остальные — логнормальный (см. рис. 1, Б); для объектов, оцененных объемно-статистическим методом, абсолютное большинство гистограмм имеет амодальный тип. Общей особенностью совокупностей является наличие небольшого числа участков с относительно высокой плотностью ресурсов.

Методика обработки данных

Треугольное распределение было использовано R.A. Crovelli и R.H. Balay для вычисления «среднего значения потенциальных ресурсов геологической провинции» (терминология авторов), стандартного отклонения и семи квантилей, отвечающих значениям

Таблица 1

Оценка эталонных и расчетных участков и резервуаров на Сибирской платформе

Методом внутренних аналогий		Объемно-статистическим методом	
номер эталонного участка	число расчетных участков	номер резервуара	число оценочных участков
1	14	1	71
11	60	2	56
101	25	3	61
129	36	4	76
201	46	7	114
301	7	8	56
307	5	9	53
313	14	10	65
401	14	20	104
415	16	23	7
431	8	24	16
442	14	25	15
458	30	26	13
501	27	30	110
512	6	31	89
539	21		
343	19		
350	4		
701	8		
709	7		
2052	15		
2067	4		
2407	4		
2411	8		
2419	8		
2427	4		
2431	11		
801	8		
809	7		

$1-F(x)$: 1,0; 0,95; 0,75; 0,5; 0,25; 0,05; 0 [4]. Разработанная ими методика позволяет, по мнению авторов, получать интервальные оценки ресурсов и комбинированный набор из девяти чисел для пары вместе взятых геологических провинций в случаях идеальной корреляции между ними, полной независимости и в любой промежуточной ситуации. Попытка использовать эту методику и алгоритмическое обеспечение для наших данных к положительным результатам не привела.

Кроме этой методики, была использована обычная статистическая обработка выборок, соответствующих каждому объекту анализа — совокупности плотностей ресурсов. Для каждой из них вычисляли среднее значение, среднеквадратичное отклонение, коэффициенты вариации, асимметрии, эксцесса и ряда других характеристик, а самое главное, набор децилей — оценок ресурсов, для которых вероятность того, что истинные ресурсы будут больше, чем эта оценка, составит соответственно 0,1; 0,2; ...; 0,9. По совокупности этих данных нетрудно построить функцию распределения неизвестной величины, а затем получить интервальные оценки ресурсов. К сожалению, проблема оценивания аналогичных характеристик для двух и более совокупностей в этом случае остается открытой. Кроме тривиального приема простого механического смешивания выборок, никакого способа учитывать корреляцию между ними, как в случае треугольного распределения, нет. Хотя зависимость между объектами анализа иногда, например при оценке

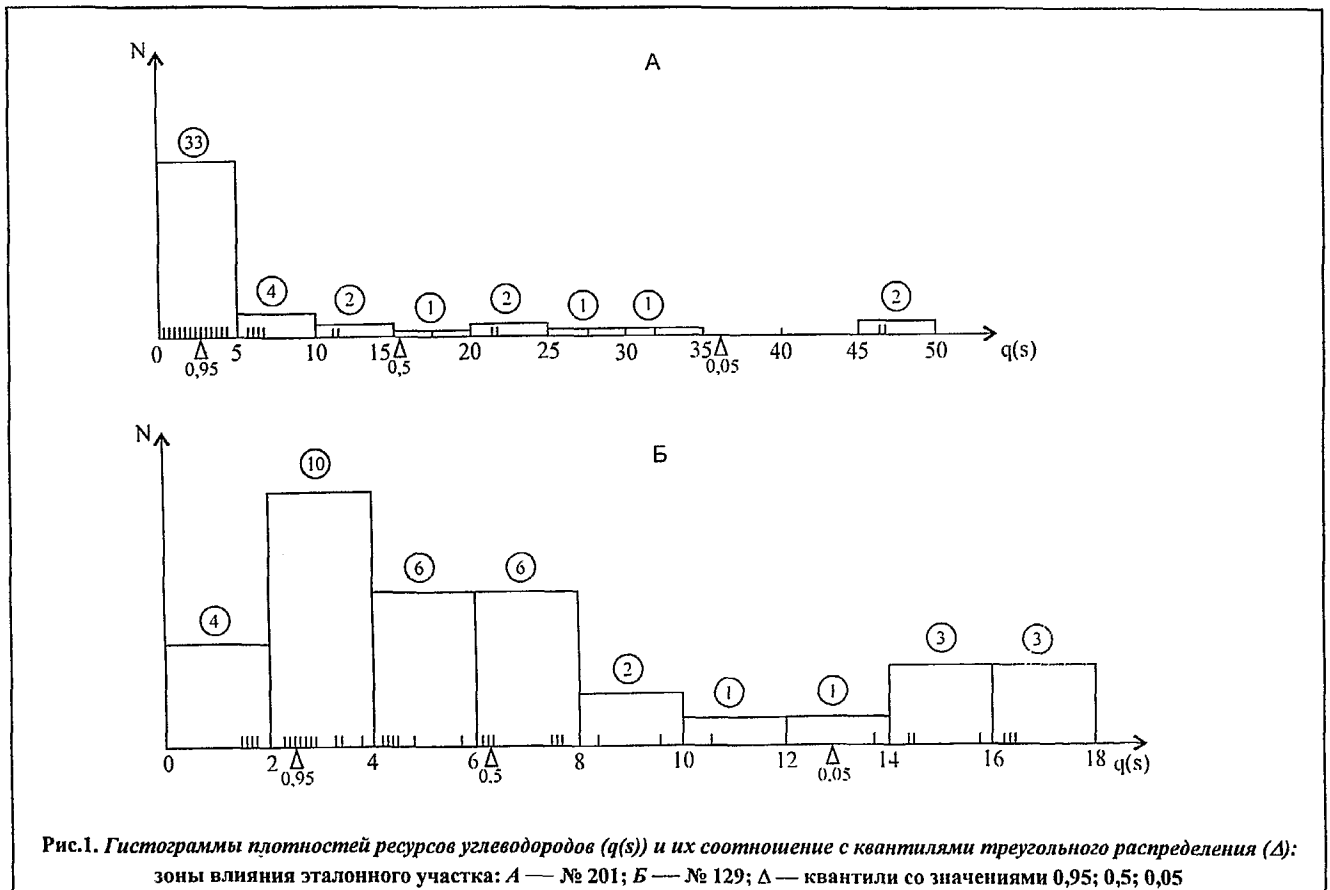


Рис.1. Гистограммы плотностей ресурсов углеводородов $q(s)$ и их соотношение с квантилями треугольного распределения (Δ): зоны влияния эталонного участка: А — № 201; Б — № 129; Δ — квантили со значениями 0,95; 0,5; 0,05

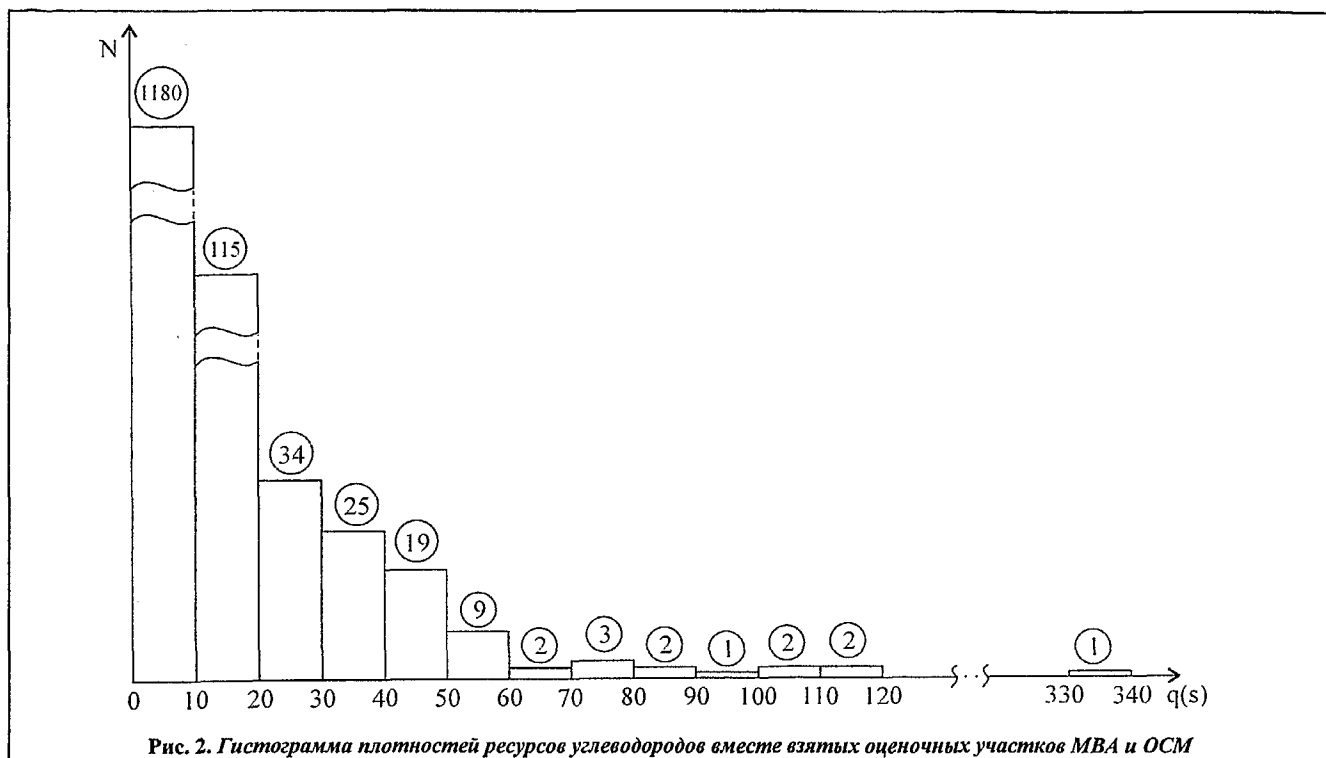


Рис. 2. Гистограмма плотностей ресурсов углеводородов вместе взятых оценочных участков МВА и ОСМ

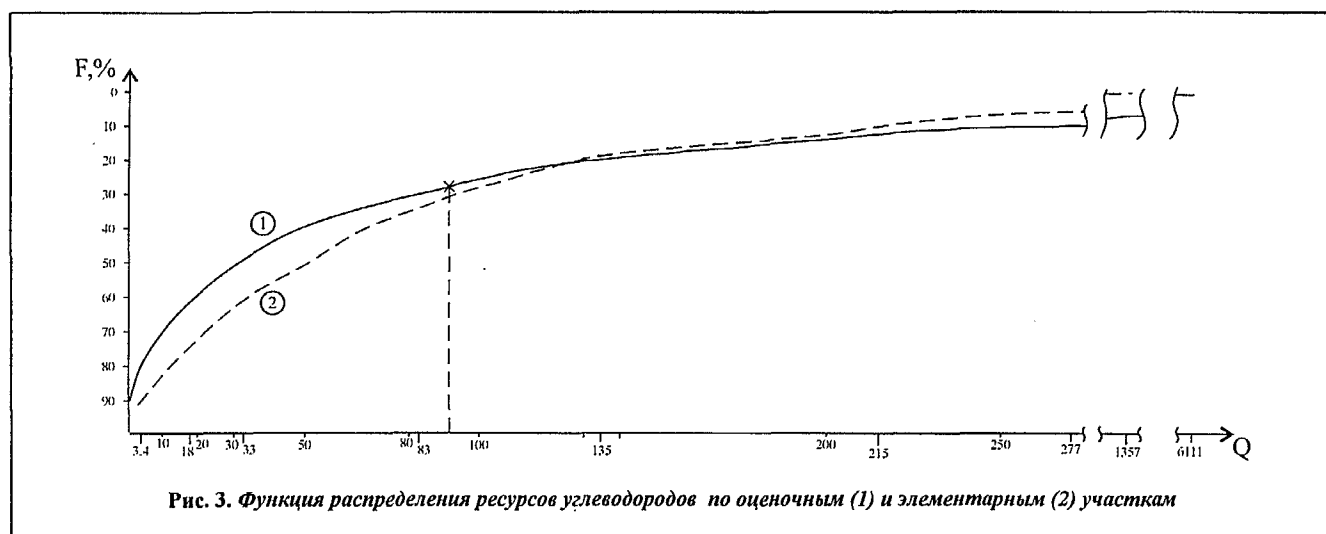


Рис. 3. Функция распределения ресурсов углеводородов по оценочным (1) и элементарным (2) участкам

соседних зон влияния эталонных участков одного и того же резервуара, очевидно, имеется и учитывать ее нужно.

Результаты статистической обработки данных

О количестве и видах характеристик, вычисляемых при статистической обработке однородных совокупностей плотностей, полученных методами внутренних аналогий и объемно статистическим, уже упоминалось. По единой программе были "пропущены" все 44 массива данных. Здесь нет необходимости приводить все результаты вычислений — их объем велик, но основной вывод, который из них вытекает, — это возможность использования результатов обработки и в первую очередь децилей для построения искомой функции распределения, а следовательно, и

получения интервальных оценок ресурсов. Открытым, к сожалению, остается вопрос их комплексирования при построении оценок ресурсов групп резервуаров.

Для построения интервальной оценки ресурсов оцениваемой территории слабоизученной части Сибирской платформы аналогичная процедура статистической обработки была применена к совокупности плотностей ресурсов всех 1398 участков, выделенных на этой территории (рис. 2). Результаты вычислений приведены в верхней строке табл. 2. Однако для получения интервальной оценки ресурсов этих результатов мало. От оценок плотностей ресурсов (в том числе децилей) необходимо перейти к оценкам самих ресурсов, а для этого их необходимо умножить на суммарную площадь их распространения, которая

составляет 18081405 км² и не равна площади оцениваемой части Сибирской платформы, поскольку территории распространения отдельных резервуаров перекрываются. Таким образом, переходим к децилям

распределения самих ресурсов (вторая строка табл. 2), а после изображения их в соответствующей системе координат — и к вероятному виду функции распределения ресурсов (рис. 3).

Таблица 2

Результаты статистической обработки ресурсов и их плотностей по всем оценочным и элементарным участкам Сибирской платформы

Участки	Параметр	Объем выборки	Оценки		Децили, %								
			μ	σ	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Оценочные	Плотность	1398	6,23	14,97	0,01	0,19	0,55	1,01	1,82	2,79	4,59	7,47	15,37
	Ресурсы				0,18	3,44	9,94	18,26	32,91	50,44	82,99	135,1	277,9
Элементарные	Плотность	5472	26,88	40,23	0,78	3,74	6,80	10,60	15,98	20,72	25,15	41,51	67,44
	Ресурсы		86,0		2,5	12,0	21,7	34,0	51,1	66,3	80,5	132,8	215,8
	Логарифмическая плотность		2,39	1,67	-0,25	1,32	1,92	2,36	2,77	3,03	3,22	3,73	4,21

Таблица 3

Интервальные и нижние оценки ресурсов углеводородов (млрд т условного топлива)

Вид функции распределения	Доверительные вероятности $P=1-\alpha$													
	1,0		0,9		0,8		0,7		0,6		0,5			
По всем оценочным участкам	0	6111,0	0	277,0	0	135,0	0	83,0	0	50,0	0	33,0		
			0,2	6111,0	0,2	277,0	0,2	135,0	0,2	83,0	0,2	50,0		
					10,0	6111,0	10,0	277,0	18,3	6111,0	10,0	135,0	18,3	135,0
По всем элементарным участкам	0,01	1357,0	0,01	216,0	0,01	133,0	0,01	80,0	0,01	66,0	0,01	51,0		
			2,5	1357,0	2,5	216,0	2,5	133,0	2,5	80,0	2,5	66,0		
					12,0	1357,0	12,0	216,0	22,0	1357,0	22,0	133,0	22,0	133,0
										34,0	1357,0	34,0	216,0	
											51,0	1357,0	51,0	1357,0

Для построения аналогичной кривой — функции распределения ресурсов, также на основе статистической обработки были использованы и иные исходные данные: совокупность плотностей по так называемым элементарным участкам — ячейкам (клеткам) равномерной сетки, которая была нанесена на карту оцениваемой части Сибирской платформы. Таких плотностей ресурсов (ячеек) было 5472. Как и в случае плотностей по расчетным участкам, совокупность плотностей по элементарным ячейкам была подвергнута статистической обработке и результаты ее приведены в третьей строке табл. 2. Для перехода к распределению ресурсов здесь также нужно использовать площадь, однако теперь это будет уже площадь перспективной на нефть и газ части территории Сибирской платформы. Таким образом, в результате также получаем децили распределения самих ресурсов углеводородов (четвертая строка табл. 2), нанеся которые на ту же систему координат (см. рис. 3), получим их функцию распределения.

Обе функции распределения близки как по виду, так и по принимаемым ими значениям. Это является

следствием амодального, точнее логнормального, распределения плотностей ресурсов и по участкам и по ячейкам, что становится очевидно, если вычислить децили для логарифмов плотностей ресурсов (пятая строка табл. 2) и по ним нарисовать их функцию распределения (см. рис. 3).

Интервальные оценки ресурсов углеводородов

С помощью вычисленных децилей и построенных функций распределения могут быть получены интервальные оценки ресурсов углеводородов Q . Эти оценки могут быть двоякими. Первый тип оценок — двухсторонние — от a до b . Второй тип — односторонние, а точнее — нижние (свыше c), поскольку практический интерес представляет оценка ресурсов именно снизу. Обе оценки должны быть указаны при заданном уровне доверительной вероятности $1 - \alpha$:

$$P\{a < Q < b\} = 1 - \alpha$$

или

$$P\{Q > c\} = 1 - \alpha,$$

где α — уровень значимости оценки — вероятность того, что истинные ресурсы окажутся вне выделенно-

го интервала (a , b) или меньше нижней границы (c). Нижняя оценка ресурсов является частным случаем интервальной, когда верхняя граница (b) последней является максимально возможной, фиксированной, величиной.

Оценки такого типа приведены в табл. 3. Для последовательных значений доверительных вероятностей от 1 до 0,5 с шагом 0,1 указаны соответствующие интервалы и нижние границы. При этом интервальные оценки имеют плавающий характер, поскольку при заданной доверительной вероятности, например, 0,7 такой интервал может быть задан не единственным способом, например, (0,2; 135,0) или (10,0; 277,0) и т. д. Нижней оценкой при заданной доверительной вероятности, например, 0,7 является левая граница нижней интервальной оценки — 18,3.

Теперь сделаем одно очень существенное для данного исследования замечание. Дело в том, что все приведенные выше результаты к решению основной задачи — получению интервальной оценки ресурсов углеводородов части территории Сибирской платформы — имеют косвенное отношение. Это следует из того, что до сих пор речь шла о случайной величине — ресурсах, которые получали путем распространения плотности ресурсов на одном отдельно взятом участке, на площадь всей оцениваемой части территории Сибирской платформы. В то время как на самом деле нас интересует оценка величины, которая является математическим ожиданием упомянутой выше случайной величины. Не имея возможности более подробно здесь обсуждать эту проблему, укажем лишь на аналогию возникшей ситуации с задачей подсчета запасов углеводородов в отдельном их скоплении (залежи) [1]. Таким образом, стоит задача оценки математического ожидания логнормальной случайной величины — плотности ресурсов углеводородов.

С этой целью воспользуемся известными выражениями, связывающими $M\xi$ и $D\xi$ исходной случайной величины с аналогичными значениями μ и ϑ^2 для случайной величины $\eta = \ln\xi$:

$$M\xi = e^{\mu + \frac{1}{2}\vartheta^2}; \quad D\xi = e^{2\mu + \vartheta^2} \cdot (e^{\vartheta^2} - 1).$$

Из табл. 2 для μ и ϑ^2 имеем следующие их оценки: $\mu = 2,39$; $\vartheta^2 = 1,67$. Подставив их в приведенные выражения и выполнив вычисления, получим: $M\xi = 44,2$; $D\xi = 29853,0$. Отсюда путем умножения среднего значения плотности ресурсов по всем элементарным участкам оцениваемой части территории Сибирской платформы — (44,2 т условного топлива / км²) на площадь — (3,2 млн км²), получаем первую, точечную, оценку ресурсов углеводородов оцениваемой части территории платформы — 141,6 млрд т условного топлива (тут).

Для получения интервальной оценки ресурсов используем, естественно, значение среднеквадратичного отклонения $\sqrt{D\xi} = 172,8$ и тот факт, что дисперсия математического ожидания случайной величины в n раз ($n=5472$) меньше дисперсии самой случайной величины. Таким образом, используя выражение вида $M\xi = \pm \vartheta_{M\xi} \cdot 1,65$, получаем для ресурсов углеводородов той же части территории Сибирской платформы с доверительной вероятностью, близкой к 0,9, следующую интервальную оценку: $a=112,6$ млрд т условного топлива, $b=170$ млрд т условного топлива. Отметим в заключение, что принятая в настоящее время прогнозная оценка этой территории меньше, чем нижняя граница интервальной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демин В.И., Конторович А.Э. Применение математических методов и ЭВМ при подсчете запасов нефти и газа промышленных категорий // Геология и геофизика. — Новосибирск, 1973. — № 10. — С.3—13.
2. Методическое руководство по количественной и экономической оценке ресурсов нефти, газа и конденсата России. — М.: ВНИГНИ, 2000. — 189 с.
3. Рыжик В.М., Фейгин М.В. Вероятностные методы прогнозной оценки потенциальных ресурсов нефти и газа за рубежом. — М.: ВНИИОЭНГ, 1987. — 54 с.
4. Crovelli R.A., Balay R.H. A microcomputer program for energy assessment, and aggregation using the triangular probability distribution // Computers & Geosciences. — 1991. — Vol. 17, No. 2. — P. 197—225.