

ДОСТОВЕРНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕГИОНАЛЬНЫХ И ПОИСКОВЫХ РАБОТ ПО ДАННЫМ ИМИТАЦИОННОГО ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИХ ПРИКЛАДНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Охарактеризованы принципы имитационного логико-вероятностного моделирования процесса воспроизводства минерально-сырьевой базы и результаты моделирования. Показана равнозначность *подтверждаемости* результатов поисковых работ и достоверности их конечных результатов, сопряжённость с ними геологических рисков. Результаты моделирования сопоставлены с характеристиками поисковых и разведочных работ в зарубежных странах, на территории СССР 1959–1987 гг. и России с 2002 г. Представительная статистика отчётов по территории СССР отображает достоверность конечных результатов работ на каждый вид полезных ископаемых, согласующуюся с результатами моделирования. Полученные данные предлагается использовать при долгосрочном планировании поисковых и разведочных работ в осваиваемых и подготавливаемых к освоению горно-промышленных регионах.

Ключевые слова: *имитационное логико-вероятностное моделирование, процесс воспроизводства минерально-сырьевой базы, региональный и поисковый этапы, подтверждаемость результатов, достоверность конечных результатов, геологические риски, долгосрочное планирование.*

Describes the principles of simulation logical-probabilistic modeling the process of reproduction the mineral raw material base and modeling results. Shows the equivalence of the true results of prospecting works and the validity of their results, the conjugacy of geological hazards. The simulation results are compared with the characteristics of prospecting and exploration in foreign countries, in the territory of the USSR in 1959–1987 and Russia since 2002. Representative statistics reports on Soviet territory shows the reliability of the end results of works on every type of mineral resources consistent with modeling. The data obtained is used in long-term planning prospecting and exploration in the developed and prepared for development of mining and industrial regions.

Keywords: *simulation logical-probabilistic modeling, process reproduction of the mineral raw material base, regional and search stages, confirmability estimates, the accuracy of the final results, geological risks, long-term planning.*

Введение. Базовая модель имитационного логико-вероятностного моделирования (ИЛВМ) разрабатывалась автором в приложении к процессу воспроизводства минерально-сырьевой базы (ВМСБ) для предсказания реальных значений *подтверждаемости* количественных оценок прогнозных ресурсов и их «смещённости», обусловивших использование при пересчётах на начало 1983 г. понижающих коэффициентов. Данные моделирования применялись в Региональном центре по оценке прогнозных ресурсов (КазИМС, Алма-Ата) и в главке «Казгеология» при очередной (1987 г.) переоценке ресурсов и разработке планов XIII пятилетки [14, 15].

В увязке с разработкой и началом реализации ФЦП «Экология и природные ресурсы России (2002–2010 гг.)» в Лаборатории экономических проблем геологоразведочного производства Института микроэкономики проведена модификация базовой модели. Целью модификации был учёт в ИЛВМ достижений систем отраслевого управления и научно-методического обеспечения ВМСБ, выходящих за рамки пообъектно выполняемых стадийных геологоразведочных работ (ГРП) [2, 11, 16, 17].

Постановка задачи моделирования и подходы к её решению. Циклы последовательно выполняемых при ВМСБ стадийных ГРП, обеспечивающие выявление и разведку каждого месторождения, рас-

тягиваются на сроки до 15–20 лет и более. Поэтому последствия внесения изменений в число стадий, организационные принципы реализации и технологические регламенты ГРП обнаруживаются лишь с накоплением статистически представительной базы за соизмеримые с циклами сроки.

Гидростроители, сталкиваясь с подобными проблемами, создают уменьшенные модели проектируемых сооружений (плотин, водохранилищ) и проводят испытания, имитирующие естественные процессы, возможные в будущем. В ВМСБ также издавна используются уменьшенные геолого-картографические модели территорий и объектов при поисках и разведке. Но в случае ИЛВМ речь идёт о создании виртуальной цифровой модели процесса ВМСБ в целом, раскрывающей ход формирования конечных результатов на каждой последовательно реализуемой *операции*, равнозначной стадии ГРП, с предсказанием их количественно оцениваемых характеристик, включающих и *подтверждаемость/достоверность* результатов.

Возможности использования цифрового моделирования в приложении к процессу ВМСБ изучались в Сибирском отделении АН СССР Ю. А. Ворониным. На базе идей *исследования операций* он предложил несколько направлений оптимизации процесса [1]. Отличительной особенностью ИЛВМ является ориентация на логику, методологию и технологические регламенты собственно гео-

логических исследований с привлечением лишь элементарных составляющих теории вероятности и статистики.

Эквивалентом «предмета труда» для начальной операции ИЛВМ выступает абстрактный регион, содержащий одно или несколько *исходных распределений* рудно-минеральных объектов условных видов твердых полезных ископаемых (ТПИ), отвечающих десятичной классификации месторождений В. И. Красникова [5]. Объекты подразделяются на пять классов (уникальные, крупные, средние, мелкие месторождения, рудопроявления); их масштабы и количество в смежных классах различаются на математический порядок. Увеличение числа *исходных распределений* лишь снижает ошибки округления при вычислениях.

Базовая модель ИЛВМ представляет собой процесс ВМСБ в наборе из пяти операций, равнозначных стадиям ГРП: ГСР-50, детальные поиски, поисково-оценочные работы, предварительная разведка, детальная разведка. Соблюдение этой стадийности при работах на ТПИ в нашей стране во второй половине минувшего столетия обеспечило создание *представительной базы эмпирических данных*.

Операции имитируют идеализированный процесс ГРП, ведущийся постадийно, в режиме «последовательного приближения», и выражающийся в распознавании масштабов условно локализуемых объектов. За искомые принимаются объекты первых трёх классов. Достоверность/вероятность правильного распознавания их масштабов (т. е. оценок количества сосредоточенных в них ресурсов/запасов) возрастает по цепочке реализуемых операций.

Идеализация процесса выражается в том, что предполагаются последовательно завершающимися сначала операция 1, затем 2 и т. д. По итогам операции 1 из *исходного распределения* объектов создаётся *усечённая выборка 1*, по итогам операции 2 — *усечённая выборка 2* и т. д. (усекаются, устраняются объекты, относимые к замыкающим IV и V классам). В каждую очередную операцию вовлекаются все объекты *усечённой выборки*, созданной предшествующей операцией.

ГСР-50 и работы поискового этапа, эквивалентными которым принимаются операции 1, 2 и 3, представляют собой классификацию изучаемых площадей с точки зрения наличия признаков к открытию искомым объектам-месторождениям, приемлемых для освоения (признаками наличия месторождений рассматриваются рудопроявления). Укрупнение масштабов стадийных работ

(1 : 50 000 → 1 : 10 000 → 1 : 2000) сопровождается пятикратным сгущением сети профилей и уменьшением расстояний между местами отбора проб и выполнения геофизических наблюдений в профилях. Это обуславливает одинаковое (25-кратное) возрастание удельной плотности (приходящейся на 1 км²) указанных видов информации, а также геологических и иных наблюдений.

При работах поисково-оценочной и последующих (разведочных) стадий в объёмном пространстве изучаемых месторождений равномерно профилям уподоблять стволы пробуренных скважин. С переходом от стадии к стадии проводится сгущение скважинных пересечений по падению и простиранию рудных тел (к каждой ранее пробуренной добавляются три новых). Таким образом, число разведочных пересечений (и скважин, эквивалентных профилям) возрастает четырёхкратно, что близко к кратности сгущения профилей при площадных работах.

Руководствуясь логикой и эвристическим принципом простоты и исходя из вышесказанного, постулируется, что пошаговое, гармоничное возрастание объёмов и удельной плотности информации, на основе которой локализируются и классифицируются искомые объекты, предвещает соразмерность приростов достоверности количественных оценок их ресурсов/запасов, а также оценок потенциальной практической значимости перспективных площадей и объектов, содержащих эти ресурсы/запасы.

Фланговые и апикальные части слабоскрытых на срезе дневной поверхности и корневые части уже эродированных месторождений трудноотличимы между собой и от рудопроявлений, на несколько порядков более многочисленных, чем месторождения. Поэтому при моделировании для операции 1 вероятности правильного распознавания объектов (ВПРО) и ошибочного отнесения их к смежным и соседним со смежными классам принимаются одинаковыми, равными 0,2. Для операции 5 дисперсии ошибок принимаются нулевыми, а значения ВПРО равными 1,0. С учётом указанных ограничений значения ВПРО по цепочке операций принимаются равномерно возрастающими: (0,2) → (0,4) → (0,6) → (0,8) → (1,0).

Отнесение классифицируемого объекта не только к своему собственному, но и к более престижным классам **считается** (по смыслу решаемой задачи) правильным. Повышаются интегральные разрешающие способности (РС) моделируемых операций, складывающиеся из ВПРО и вероятно-

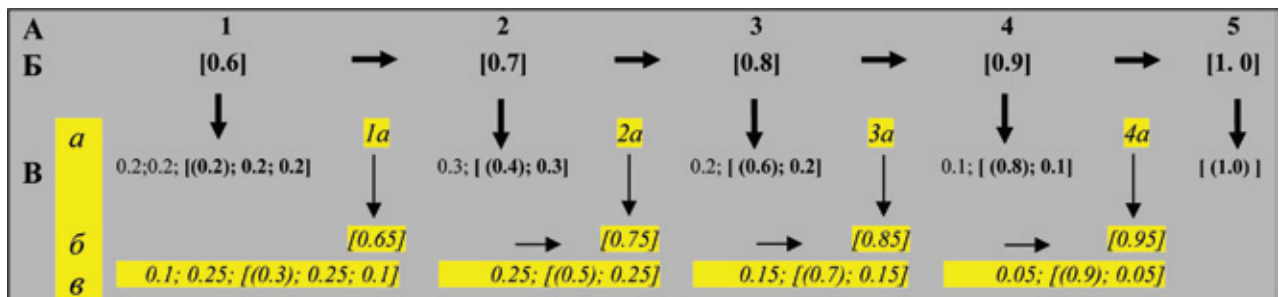


Рис. 1. Схема соотношений базовых (1–5) и модифицирующих (1а–4а) операций, значений ВПРО, РС и дисперсий ошибок распознавания масштабов объектов

Базовые операции (серый цвет): А – номера операций; Б – значения РС [...]; В – значения ВПРО (...). Модифицирующие операции (желтый цвет): а – номера операций; б – значения РС [...]; в – значения ВПРО (...). Распределение ошибок распознавания масштабов объектов соответствует нормальному закону

стей «ошибок», не приводящих к отбраковке перспективных объектов. Тогда значения РС (рис. 1), возрастающие, как и ВПРО, должны иметь в увязке с изменениями дисперсий ошибок значения $[0,6] \rightarrow [0,7] \rightarrow [0,8] \rightarrow [0,9] \rightarrow [1,0]$.

Из сказанного следует, что, кроме *исходного распределения* рудно-минеральных объектов, рамочные условия имитации процесса ВМСБ включают ВПРО, дисперсии ошибок распознавания классов объектов с их вероятностью, значения РС для базовых (1, 2, 3, 4, 5) и рассматриваемых далее модифицирующих (1а, 2а, 3а, 4а) операций. Ошибки распознавания, принимаемые симметрично распределёнными относительно ВПРО, с возрастанием последней уменьшаются.

Процедуры вычисления показателей моделирования по операциям. Моделирование процесса ВМСБ с учётом оговоренных рамочных условий в унифицированной для всех операций форме иллюстрирует табл. 1*. Она подразделена на одинаковые для каждой операции блоки; процесс распознавания масштабов объектов представлен в матрицах, состоящих из 25 клеток. Из-за громоздкости вычислительных процедур они приведены только для операций 1 и 2 базовой модели, а в привязке к усечённой выборке 1, созданной базовой операцией 1, и для операции 1а, являющейся элементом модифицированной модели.

Операция 1. В столбце, ограничивающем матрицу слева, указан номер операции; в верхней строке в обычных скобках приведены, согласно схеме на рис. 1, значения ВПРО и дисперсии ошибок распознавания; во второй строке – значение РС; далее – маркировка строк рабочего поля матрицы и итогов распознавания объектов с их ресурсами/запасами. Поле матрицы разделено на пять столбцов (по числу классов распознаваемых объектов). Три первых столбца матрицы отведены для объектов первых трёх классов, рассматриваемых в качестве искоемых, перспективных; два последних (выделены тонированием) – для мелких месторождений и рудопроявлений, к перспективным не относящихся. *Исходное распределение* распознаваемых объектов приводится в строке 1 матрицы; в строках 2–6 имитируется распознавание объектов соответствующего (своего для каждой строки!) класса; в строке 7 подводятся итоги счёта объектов, отнесённых к трём первым столбцам/классам (N); в строке 8 – количество (Q) условных единиц ресурсов/запасов (в привязке к числу объектов, отнесённых к первым трём классам); в строке 9 – фактическое количество ресурсов/запасов (Q) в каждом классе (за вычетом таковых объектов II и III классов, ошибочно отнесённых к классам IV и V).

Распознавание классов объектов *исходного распределения* (5; 50; 500; 5000; 50 000) иллюстрируют примеры для классов III и IV. Из 500 объектов класса III при ВПРО, равном 0,2, правильно будет распознано 100 ($500 \times 0,2 = 100$); такое же количество с учётом равновероятных по 0,2 математических ожиданий ошибок распознавания будут отнесены к смежным II и IV классам и даже к соседним с ними I и V классам. В числе перспективных (в соответствии со значением РС, равным 0,6) останется 300 объектов, отнесённых к I, II и III классам, а 200 окажутся отнесёнными к бесперспективным IV и V классам. Аналогичная картина будет и с распознаванием 5000 объектов IV класса: 1000 окажется в собственном классе, по 1000 будет ошибочно отнесено в классам II и III, а ещё 2000 к V классу. Объекты, «распознаваемые» как принадлежащие к несуществующему VI классу, суммируются с таковыми, относимыми к V, что обозначает символ Σ ; аналогично в столбце для класса I оказывается не 10, а 20 объектов класса II.

Клетки матрицы для объектов IV и V классов, к которым относятся объекты перспективных (II и III) классов, символизирующие геосферные потери, зачернены. Тонированием выделены и клетки второго и третьего столбцов, к которым отнесены бесперспективные, по условию, объекты IV и V классов. Они «разбавляют» создаваемую и последующие усечённые выборки, предвещая пошагово изживаемые завышенности оценок их перспективности и по счёту объектов, и по количеству ресурсов/запасов.

В столбце, ограничивающем матрицу справа, в левой его части построчно выведены итоги распознавания классов объектов, характеризующие состав создаваемой усечённой выборки 1. Она включает 12 345 объектов, в том числе 345 перспективных, подразделённых на классы I, II и III (соответственно 5, 40, 300 штук), выделяемых жирным шрифтом. Обобщённые итоги распознавания подведены в строках 7, 8 и 9. В правой части столбца приведены расчёты для этой и последующих операций и вычисляется система показателей, равнозначных таковым, используемым для характеристики реальных процессов: N и N – число объектов, распознанных как перспективные и действительно таковыми являющихся; Q и Q – количество условных единиц ресурсов/запасов в объектах, распознанных как перспективные и перспективными являющихся; K⁰ и K^{P3} – относительные доли в создаваемых усечённых выборках объектов, являющихся перспективными, и условных единиц ресурсов/запасов, приходящихся на действительно перспективные объекты; П⁰ и П^{P3} – потери перспективных объектов и заключённых в них ресурсов/запасов (в процентах от их количества в исходном природном распределении).

Операция 2. Содержит все вычислительные процедуры, выполненные при операции 1, повторяемые в приложении к усечённой выборке 1. Согласно

* **Расшифровка буквенных индексов, использованных в тексте, таблицах и рисунках:** N – количество объектов в усечённой выборке (в т. ч. N – относящихся к классам I, II и III), Q – количество у.е. ресурсов/запасов в усечённой выборке (в т. ч. Q – в объектах классов I, II и III); K⁰ – доля объектов (Q) классов I, II и III от их общего числа в усечённой выборке; K^{P3} – доля ресурсов/запасов (P³) в объектах классов I, II и III от их общего объёма в выборке; K^{у.е. P3} – коэффициент удачи, подтверждаемость оценок предшествующей стадии (по счёту объектов или ресурсов/запасов) работами очередной стадии, отнесённая в актив очередной стадии; K^{е. P3} – эффект, равнозначный коэффициентам удачи, отнесённым в актив предшествующей стадии и рассматриваемым как подтверждаемость пообъектных оценок конечных результатов предшествующей стадии работами очередной стадии (относительная достоверность) или как переводной коэффициент постадийно оцениваемых ресурсов/запасов из категории в категорию; K^{ц. P3} – подтверждаемость постадийно оформляемых оценок конечных результатов в привязках к числу объектов (Q) или количествам ресурсов / запасов (P³) аналогичными результатами заключительной стадии (приведённая достоверность); П⁰ – оцениваемые в % потери объектов классов I, II и III исходной выборки (100% = 555 шт.); П^{P3} – оцениваемые в % потери ресурсов/запасов в объектах I, II и III класса исходной выборки, остающихся не открытыми (100% = 15 000 у.е.).

Формирование усечённых выборок и характеристик базовой (операции 1+2) и модифицированной (операции 1+1а) моделей ВМСБ

		Распознавание рудно-минеральных объектов, принадлежащих к классам I, II, III десятичной классификации В. И. Красникова							
Операции моделирования, дисперсии ошибок и процедуры распознавания	Классы Запасы (у.е.) Объекты (шт.) ¹	I	II	III	IV	V	Объекты и ресурсы/запасы классов I, II и III исходного распределения и «усечённых» выборок	Расчёты моделируемых характеристик ²	
		1000 1 ↻	100 10 ↻	10 100 ↻	1,0 1000 ↻	0,1 10 000 ↻			
Σ запасы		5000	5000	5000	5000	5000	Σ 15 000 у.е. Q)		
[0,2 ; 0,2 ; (0,2)] ; 0,2 ; 0,2 ³		5	50	500	5 000	50 000	Σ 555 объекты N) ← Исх. выборка		
О [PC 0,6] П Е Р А Ц И Я 1	Распо- знава- ние мас- штабов объектов	Σ (3)	1	1	-	Π ⁰ 210	Σ 5) Π ^{P3} = 3000 : 15000 = 20%		
		Σ 20	(10)	10	10	Π ^{P3} 3000	Σ 40 345 Π ⁰ = 210 : 555 = 38%		
		100	100	(100)	100	100	Σ 300)		
		-	1 000	1 000	(1 000)	Σ 2 000	Σ 2 000		
		-	-	10 000	10 000	Σ 30000	Σ 10 000		
	Итого : объекты	N	123	1 111	11 111	-	-	Σ 12 345 K ⁰ = 345 : 12345 = 0,028	
ресур- [счет Q		123 000	111 100	111 110	-	-	Σ 345 210) K ^{P3} = 12000 : 345210 =		
сы/запасы [факт Q		5 000	4 000	3 000	-	-	Σ 12 000) = 0,036		
[0,3 ; (0,4)] ; 0,3		5	40	300	2000	10 000	← Усеченная выборка 1		
О [PC 0,7] П Е Р А Ц И Я 2	Распо- знава- ние мас- штабов объектов	Σ (3,5)	1,5	-	-	Π ⁰ 90	Σ 5) Π ^{P3} = 900 : 15000 = 6%		
		12	(16)	12	-	Π ^{P3} 900	Σ 40 255 Π ⁰ = 90 : 555 = 16%		
		-	90	(120) ⁴	90	-	Σ 210) Ky ⁰ = 855 : 12345 = 0,07		
		-	-	600	(800)	600	Σ 600 Ky ^{P3} = 33 570 : 45210 =		
		-	-	-	3 000	Σ (7000)	-	= 0,097	
	Итого : объекты	N	15,5	107,5	732	-	-	Σ 855 K ⁰ = 255 : 855 = 0,30	
ресур- [счет Q		15 500	10 750	7320	-	-	Σ 33 570) K ^{P3} = 11100 : 33 570 =		
сы/запасы [факт Q		5 000	4 000	2 100	-	-	Σ 11 100) = 0,33		
[0,2 ; (0,6)] ; 0,2		5	40	210	600	-	← Усеченная выборка 2		
Модифицированная модель									
[0,1 ; 0,25 ; (0,3)] ; 0,25 ; 0,1		5	40	300	2 000	10 000	Усеченная выборка 1		
О [PC 0,65] П Е Р А Ц И Я 1а	Распо- знава- ние мас- штабов объектов	Σ 3,25)	1,25	0,5	-	Π ⁰ 109	Σ 5) Π ^{P3} = 1450 : 15000 = 9,7%		
		14	(12)	10	4	Π ^{P3} 1450	Σ 36 236 Π ⁰ = 109 : 555 = 20%		
		30	75	(90)	75	30	Σ 195) Ky ⁰ = 1936 : 2345 = 0,16		
		-	200	500	(600)	Σ 700	Σ 700 Ky ^{P3} = 92080 : 345210 =		
		-	-	1 000	2 500	Σ (6 500)	Σ 1000	= 0,27	
	Итого : объекты	N	47,25	288,25	1600,5	-	-	Σ 1936 K ⁰ = 236 : 1936 = 0,12	
ресур- [счет Q		47 250	28 825	16005	-	-	Σ 92080) K ^{P3} = 10 550 : 92080 =		
сы/запасы [факт Q		5 000	3 600	1 950	-	-	Σ 10 550) = 0,115		
[0,3 ; (0,4)] ; 0,3		5	36	195	1700	1 000	← Усеченная выборка 1а		

Примечания. 1. Запасы (у.е.) средних по масштабам объектов для каждого класса, соотношение количества (шт.) объектов в классах. 2. Расшифровка буквенных индексов приведена на с. 106. 3. [0,2 ; 0,2 ; (0,2)] ; 0,2 ; 0,2 – дисперсии ошибок распознавания масштаб объектов: (0,2) – вероятность правильного распознавания класса объекта; [0,2 + 0,2 + (0,2)] = 0,6 – вероятности отнесения объектов в свой собственный и соседние, более престижные классы = РС. 4. Число (см. ниже) ошибочно (а, в) и правильно (б) распознанных объектов: а – отнесены к смежному классу более престижных; в – к классу менее престижных.

90 а (120) б 90 в

схеме на рис. 1, используются значения ВПРО, дисперсии ошибок распознавания и РС [0,3 (0,4)] ; 0,3. С учётом изменившихся рамочных условий меняются соотношения ошибок и правильного распознавания объектов: из 300 объектов класса III правильно распознано и оставлено в этом классе $300 \times 0,4 = 120$ объектов; с вероятностью 0,3 по 90 объектов ($300 \times 0,3 = 90$) отнесено к классам, смежным с распознаваемым.

В столбце, ограничивающем матрицу справа, при этой и последующих операциях из соотношения числа объектов и ресурсов/запасов усечённой

выборки 2 с таковыми усечённой выборки 1 и т. д. по цепочке последующих операций определяются «коэффициенты удачи» Ky^0 и Ky^{P3} . По итогам операции 2 в привязке к количеству рудопроявлений их значения составляют 0,07 и 0,097, а если агрегировать рудопроявления в условные рудные поля (по три рудопроявления в поле), то они возрастают трёхкратно, до 0,21 и 0,29.

При последующих операциях формирование усечённых выборок и вычисление показателей ведутся аналогично. Полные результаты моделирования сведены в табл. 2, где к упомянутому кругу

Результаты моделирования показателей базовой и модифицированной моделей ВМСБ

Модели	Характеристики	Ед. измер.	Операции моделирования и соответственные стадии ГРР										
			0	1	1а	2	2а	3	3а	4	4а	5	
			ГСР-200	ГСР-50	1а	Детальные поиски	2а	Поисково-оценочные работы	3а	4	Предварительная разведка	4а	5
Базовая	N	шт.	12345	4115*		855		333		208.2			196.2
	N	шт.	345			255		213		196.2			196.2
	K ⁰	0.н	0.028 / 0.084			0.30		0.64		0.94			1.0
	Ky ⁰	0.н			0.07 / 0.21		0.39		0.63				0.94
	Kc ⁰	0.н	0.07 / 0.21			0.39		0.63		0.94			1.0
	Kл ⁰	0.н	0.016 / 0.049			0.23		0.60		0.94			1.0
	Π ⁰	%	38			16		7.6		3			Σ84.4%
	Q	у.е.	345 210			33 570		21 240		14 934			10 512
	Q	у.е.	12 000			11 100		10 680		10 512			10 512
	K ^{П3}	0.н	0.035 / 0.104			0.33		0.50		0.704			1.0
Ky ^{П3}	0.н				0.097 / 0.29		0.633		0.703			0.704	
Kc ^{П3}	0.н	0.097 / 0.29			0.633		0.703		0.704			1.0	
Kл ^{П3}	0.н	0.03 / 0.09			0.31		0.495		0.704			1.0	
Π ^{П3}	%	20			6		2.8		1.1			Σ 29.9%	
Модифицированная	N	шт.	12345	4115	1936 / 645	387.5	195.875	133.4	112.19	103.81	100.52	100.52	
	N	шт.	345		236	177.5	143.375	122.9	110.615	103.65	100.52	100.52	
	K ⁰	0.н	0.028 / 0.11		0.12 / 0.37	0.46	0.73	0.92	0.99	≈ 1.0	1.0	1.0	
	Ky ⁰	0.н			0.16	0.2	0.51	0.68	0.84	0.92	0.97	0.97	
	Kc ⁰	0.н	0.07 / 0.21		0.51	0.68	0.84	0.92	0.97	1.0	1.0	1.0	
	Kл ⁰	0.н	0.008 / 0.024		0.42	0.26	0.82	0.76	0.97	0.97	1.0	1.0	
	Π ⁰	%	38		20	10.5	6	3.7	2.2	1.3	0.6	0.6	Σ82.3%
	Q	у.е.	345 210	92080	92080	24 728	19385	16 299	14116.6	12 321	10709.9	9 195.2	9 195.2
	Q	у.е.	12 000	10550	10550	9 965	9623.75	9 419	9296.15	9 226.7	9195.2	9 195.2	9 195.2
	K ^{П3}	0.н	0.035 / 0.104		0.11 / 0.34	0.40	0.50	0.58	0.66	0.75	0.86	0.86	1.0
Ky ^{П3}	0.н			0.27	0.27	0.78	0.84	0.87	0.87	0.87	0.87	0.86	
Kc ^{П3}	0.н	0.097 / 0.29		0.78	0.84	0.87	0.87	0.87	0.86	0.86	0.86	1.0	
Kл ^{П3}	0.н	0.03 / 0.09		0.51	0.38	0.66	0.57	0.76	0.75	0.87	0.87	1.0	
Π ^{П3}	%	20		9.7	3.9	2.3	1.4	0.8	0.5	0.2	0.2	Σ38.8%	

* Здесь и в остальных случаях: первое число — значение характеристики в привязке к полному учёту объектов; второе — значение характеристики в привязке к площадям, содержащим три объекта/рудопроявления (принимаются равнозначными рудным полям). Расшировку буквенных индексов см. на с. 104.

Эмпирические и априорные характеристики реального процесса ВМСБ, сопоставляемые с моделируемыми

Источники данных, названия характеристик, их соответствие моделируемому	Обозначение характеристик	Ед. изм.	Базовые операции моделирования и эквивалентные им стадии ¹					
			ГСР-200	1 ГСР-50	2 ДП	3 ПОР	4 ПР	5 ДР
Эмпирические характеристики								
[8] ² ТПИ Подтверждаемости пообъектных ГЭО по работам 1959–1987 гг. в СССР	Кс ⁰	0.n	–	0,28	0,48	0,74	1,0 (экс.)	1,0
ТПИ Статистика отчётов по ГРР (Казгеолфонд, 1976–1990 гг.)	N	шт.	–	–	1272	387	167	12 4
Относительная достоверность	Кс ⁰	0.n	–	0,30	0,43	0,74	0,4	1,0
[10, 12] ТПИ Относительная достоверность	Кс ^{Р3}	0.n	0,2	0,5	0,8	–	0,9	1,0
Приведенная достоверность	Кц ^{Р3}	0.n	0,07	0,36	0,72	–	0,9	1,0
[16] ТПИ Достоверность оценок ресурсов/запасов	Кс ^{Р3}	0.n	0,2–0,1	0,3–0,2	0,4–0,3	–	0,6–0,4	0,8–0,6
Fe Приведённая достоверность	Кц ^{Р3}	0.n	0,22	0,5	0,6	–	0,7	1,0
Fe Относительная достоверность	Кс ^{Р3}	0.n	0,44	0,83	0,9	–	0,67	1,0
[19] ТПИ Вероятность наличия ресурсов	Ку ^{Р3}	0.n	≤0,1	0,2–0,1	0,4–0,2	0,6–0,4	0,8–0,6	1,0–0,8
Априорные характеристики								
[6, 18] ТПИ Перевод ресурсов/запасов: из категории в категорию	Кс ^{Р3}	0.n	0,5	0,5	0,5	–	0,5	1,0
в запасы С ₂	Кц ^{Р3}	0.n	0,125	0,25	0,5	–	1,0	1,0
в запасы С ₁	Кц ^{Р3}	0.n	0,06	0,125	0,25	–	0,5	1,0
[4] ТПИ Приведённый ряд объектов	N	шт.	–	100	25	–	5	1
Относительная достоверность	Кс ⁰	0.n	–	0,25	0,2	–	0,2	1,0

Примечания. 1. Стадии ГРР: ГСР-200 и ГСР-50 – геологосъёмочные работы м-бов 1 : 200 000 и 1 : 50 000; ДП – детальные поиски; ПОР – поисково-оценочные работы; ПР – предварительная разведка; ДР – детальная разведка. 2. Источник данных (номер согласно списку литературы).

показателей добавлены важнейшие производные от Ky^0 и Ky^{P3} – Kc^0 и Kc^{P3} , а также $Kц^0$ и $Kц^{P3}$, смысл которых расшифровывается далее.

Модификация базовой модели. В рамках реальных ГРР изначально присваиваемые площадям и объектам авторские оценки перспективности качественного уровня, сводимые к «да», «может быть» и «нет» с указанием очередности изучения первых, включались в поисковые заделы, аналогами которых являются *усечённые выборки*. В отличие от режима реализации базовой модели содержимое поисковых заделов многократно пересматривалось, худшие устранялись из поисковых заделов и терялись в кадастрах и каталогах без перспектив быть востребованными в дальнейшем.

С 1959 по 1969 г. при ГСР в СССР выявлено 12 211 рудопоявлений; в работы поисковой стадии вовлечено 4296 (35%); перспективными для постановки предварительной разведки признаны 602 объекта, а вовлечено в работы этой стадии 367 (61%) [15]. По данным за 1976–1980 гг. выявлено уже 10,3 тыс. объектов, проверено 4,8 (47%), рекомендовано для дальнейших исследований 2,1 (20,4%) [2].

С переходом к количественным оценкам прогнозных ресурсов были узаконены и сохраняются поныне их пересчёты на начало третьего года каждого пятилетия. В промежутках между пересчётами пересмотр вёлся и ведётся при формировании годовых пообъектных планов. Например, к плану на 2003 г. территориальными подразделениями были предложены 132 объекта (100%); экспертными подразделениями отраслевых НИИ их число сокращено до 38 (29%), а подсекцией МСР НТС МПР оставлены 24 объекта (18%) [11]. Новой формой «фильтрации» в минувшем десятилетии стали несостоявшиеся аукционы, доля которых к 2006 г. достигла 40% и продолжала расти [13].

Последствия «фильтрации» содержимого поисковых заделов имитируются вводом в базовую модель ВМСБ дополнительных операций 1а, 2а, 3а и 4а, модифицирующих соответствующие базовые. Значения РС и ВПРО у модифицирующих выше, чем у предшествующих базовых; закрепляясь очередными базовыми, привносимый ими эффект накапливается, существенно меняя итоговые результаты (рис. 1 и табл. 1, 2).

В реальном процессе ВМСБ модифицирование проявлено не только на рассмотренном организационном уровне, но и воплощено в технологические

регламенты ГРР. Узаконившимися в регламентах стали агрегирование поисковых предпосылок и признаков с выделением перспективных площадей, соразмерных минерагеническим таксонам в рангах рудных районов и полей; формализованное выделение геохимических и геофизических аномалий с агрегированием аномальных проб и замеров, локализирующих площади, где концентрируются заверочные и детализационные работы; разработка временных и постоянных кондиций, обеспечивающих вычленение из природных рудно-минеральных скоплений «вырезок» с повышенными содержаниями полезных компонентов для придания им «товарного» смысла, а по большому счёту и использование дедуктивных принципов в геологических исследованиях.

Важным отличием реального процесса ВМСБ от его *модифицированной* модели является то, что в условиях непрерывности ВМСБ формирование усечённых выборок и *организационные* меры по их *модификации* реализуются при единстве места, времени и действия. Это единство становится таким тесным, что вклад *организационной* составляющей *модификации* нельзя выделить и осмыслить, не прибегая к моделированию.

Принципы расчёта и перечни показателей *базовой и модифицированной* моделей идентичны. Из-за их громоздкости в табл. 2 приведены только обобщающие показатели той и другой модели. В дополняющей её табл. 3 в сопоставимой форме приведены *эмпирические* (ретроспективные) показатели реального процесса ВМСБ и приравненные к ним данные [10, 12, 16, 19], а также *априорные* характеристики новых модификаций ВМСБ, предложенные и утверждённые в минувшем десятилетии [4, 6, 7, 18].

Обсуждение результатов моделирования. Результаты моделирования (табл. 2) позволяют непосредственно проследить развёрнутый по операциям/стадиям процесс формирования *усечённых выборок* и их *модификации*.

Операцией 1 базовой модели создана *усечённая выборка 1*. Она включает 12 345 (N) рудопоявлений (группируется в 4115 условных рудных полей), но фактически содержит только **345 (N)** объектов, принадлежащих к первым трём классам. В ней числится 345 210 у.е. ресурсов (Q), равнозначных P₂, при их фактическом количестве (в **345** объектах) **12 000** у.е. (Q). Относительные доли перспективных объектов K⁰ – 0,028 и 0,084, а ресурсов/запасов K^{P3} – 0,035 и 0,104 (при объектном учёте и группировке объектов в рудные поля). Потери объектов первых трёх классов (Π⁰) составляют 38, а связанных с ними ресурсов/запасов (Π^{P3}) 20%.

По итогам заключительной *операции 5 базовой модели* создана *усечённая выборка 5* с N = N = **196,2** перспективными объектами (в т. ч. 5 – I, 40 – II и 151,2 – III класса) с Q = Q = **10 512** у.е. запасов, с K⁰ и K^{P3} = **1,0**. Общие потери объектов и запасов при формировании *усечённых выборок* предшествующими операциями составили ΣΠ⁰ 64,4 и ΣΠ^{P3} 29,9%.

От характеристик *базовой* существенно отличаются характеристики *модифицированной* модели. Как следствие «филтрации» поисковых заделов, сопровождающейся неизбежными потерями объектов, выявляется вдвое меньшее число место-

рождений, равное **100,52** (5 – I, 36 – II и 59,52 – III класса); несколько (на 12,5%) снижается объём запасов (Q = Q = **9195,2** у.е.) и возрастает (примерно в 1,3 раза) количество потерь объектов и запасов (ΣΠ⁰ 82,3 и ΣΠ^{P3} 38,8%).

При небольшом проигрыше в объёме разведанных запасов (при рассматриваемой версии моделирования к потерям не относятся объёмы забалансовых запасов, учитываемых и преимущественно переходящих во вторичные, техногенные месторождения) достигнуто внушительное сокращение числа объектов в *модифицированных усечённых выборках*. Если согласно *базовой модели* число условных рудных полей, подготовленных для проведения *операции 2*, составляет 4115, то согласно *модифицированной* их только 645 (в 6,4 раза меньше); для *операции 3* эти соотношения уже 855 и 196 (в 4,4 раза меньше); для *операции 4* – 333 и 112,2 (в три раза меньше); для *операции 5* – 208,2 и 100,52 (в два раза меньше).

Особое место среди показателей моделирования занимают *коэффициенты удачи* K_y⁰ и K_y^{P3}. В процессе ВМСБ соотношения конечных результатов ГРР различных видов, определяющих цифровые значения этих коэффициентов, иллюстрировались *успешность работ, выявляемость* искомым объектов и ресурсов/запасов, *подтверждаемость* оценок перспективности объектов и количественных оценок прогнозных ресурсов и запасов, *результативность и эффективность* стадийных работ. В дальнейшем таковые, равные значения K_y^{P3}, стали использоваться как *коэффициенты «отхода» ресурсов и запасов* при переводе их из категории в категорию [4, 6, 8, 10, 12, 14, 17, 18].

Моделирование раскрывает сущностные стороны указанных соотношений. Традиционно *подтверждаемость оценок* объектов и ресурсов, численно равная K_y, рассматривалась в качестве *показателя эффективности* реальных ГРР как достижение очередных стадий, как их *успешность*. При моделировании, в противоположность этому, *подтверждаемость* рассматривается как эффект, закладываемый предшествующей стадией, обозначается в приложении к искомым объектам как K_c⁰, а в приложении к ресурсам/запасам как K_c^{P3}. Более высокой, «сквозной» уровень *подтверждаемости* раскрывается соотношением постадийно оформляемых результатов с таковыми заключительной операции/стадии цикла, маркируемый индексами K_ц⁰ и K_ц^{P3}.

Углублённое осмысление рассматриваемых соотношений в увязке с показателями реального процесса ВМСБ позволяет предложить для показателей K_c^{0, P3} и K_ц^{0, P3} новую интерпретацию. Исходя из постулата, что «*нельзя открыть месторождение там, где его нет*», принимая в качестве критерия достоверности результаты предшествующей стадии, по крайней мере очередной следующей, что давно утвердилось в практике работ разведочного этапа, показатели K_c⁰ и K_c^{P3} предлагается рассматривать как количественные оценки *относительной достоверности* результатов каждой предшествующей стадии в их последовательно реализуемой цепочке. Обращает внимание, что работами каждой очередной стадии верифицируются результаты предшествующей [11] и ставится знак равенства между *надёжностью, достоверностью и подтверждаемостью* конечных результатов ГРР [16]. Это соответствует и трактовке *достоверности* научных истин Р. Декар-

та, крошечная, по оценкам его интерпретаторов, «в зорце между первым и вторым шагом на пути познания».

В реальном процессе ВМСБ максимальным уровнем *достоверности*, равным 1,0, многими исследователями предложено наделять запасы C_1 разведанных месторождений [2]. В привязке к ним (а не к позже разведываемым запасам В и А!) рассчитываются постоянные кондиции, обосновывающие «товарную» значимость запасов и целесообразность их освоения (с учётом потерь и разубоживания при добыче, обогащении, глубокой переработке сырья и др.). Перевод *относительной* достоверности в *приведённую* осуществляется перемножением вероятностных характеристик *относительной*: каждая данная умножается на последующие (по цепочке операций/стадий).

Значимость характеристик Кс и Кц и в том, что они содержат информацию о геологических рисках R ($Rc^0 = 1 - Kc^0$ и $Rc^{P3} = 1 - Kc^{P3}$; $Rц^0 = 1 - Kц^0$ и $Rц^{P3} = 1 - Kц^{P3}$). В современных условиях оценки рисков широко используются государственными службами и инвесторами при обосновании приоритетности направлений (программ) ГРР.

Показатели $Kc^0, P3$ и $Kц^0, P3$, полученные по результатам моделирования с аналогичными *эмпирическими и априорными*, характеризующими реальный процесс ВМСБ, сопоставлены на рис. 2. Чтобы улучшить читаемость, он разделён на два блока: один для показателей *базовой*, другой – *модифицированной* модели.

В табл. 3 и на блоке *базовой* модели рис. 2 её показатели сопоставлены с интервально заданными (от – до) характеристиками *надёжности-достоверности* оценок для категорий прогнозных ресурсов и запасов, по данным В. П. Орлова [16], и аналогично заданными значениями *надёжности/вероятности* наличия ресурсов из работы Г. Фетвайса [19]. Последние приведены для шести категорий ресурсов, утвердившихся в США в 70-е годы прошлого века в привязке к оси *геологической достоверности* коробки (box Маккелви). При определённых различиях в абсолютных значениях оценок сопоставляемых вероятностных характеристик очевидна одинаковость их пошагового изменения по цепочке стадий, операций и категорий. Возрастанию ВПРО в 0,2 соответствует 20%-ный рост *надёжности/вероятности* в схеме [19], а пошаговому возрастанию на 0,1 значений РС эквивалентно возрастанию на 10% *надёжности/достоверности* оценок прогнозных ресурсов и запасов C_2 согласно [16], хотя осевая линия интервально заданных значений последних расположена на 0,35 делений шкалы ниже граничной линии значений РС. Аналогично меняются и значения *надёжности/вероятности* для начинающих ряд ресурсов категорий Hypothetical и Speculative [19].

В сектор, ограниченный линиями, отражающими значения РС и ВПРО, вписываются (рис. 2) графики значений Kc^0 и Kc^{P3} *базовой модели*. Первый следует по значениям ВПРО, отдаляясь от них только при *операции 4*; второй – по центральной части сектора, приобретая значения ниже ВПРО также при *операции 4*. Обращает на себя внимание, что графики $Kц^{P3}$ и K^{P3} *базовой модели* трассируются практически строго по средним значениям *надёжности/вероятности* из [19]; к граничным значениям последних близятся только показатели *операций 1 и 5*.

Реперными элементами в блоке рис. 2 для *модифицированной модели* остаются граничные значения *надёжности/вероятности* из работы [19], сектор между линиями с граничными значениями РС и ВПРО, а также значения Kc^{P3} и $Kц^{P3}$ (в нашем понимании) для цветных металлов из работ [10, 12].

Модификация усечённой выборки 1 позволяет определить значения Ky^0 и Ky^{P3} в привязке к ним и значения Kc^0 и Kc^{P3} для ГСР-200, а также $Kц^0$ и $Kц^{P3}$ для всех последующих *операций* (табл. 2). Показательно, что принятые за реперные графики значений Kc^{P3} и $Kц^{P3}$ из [12] оказались лишь несколько ниже *модифицированных*, а для региональных и поисковых работ очень близко к значениям Kc^0 *модифицированных*. Показательно также, что прямолинейный график значений K^{P3} отсекает нижнюю треть сектора, образованного линиями граничных значений РС и ВПРО, и сходится с ними в узле их пересечения. В нём же будут, очевидно, пересекаться графики этого показателя и Kc всех видов ТПИ, образуя пучок между граничными значениями РС и ВПРО.

К характеристикам *базовой и модифицированной* моделей очень близка сводка *эмпирических* данных за 1959–1987 гг. по СССР о *подтверждаемости* оценок результатов стадийных работ Kc^0 для ГСР-50 и поискового этапа из [8] и отчётов А. И. Бурдэ (ВСЕГЕИ) за 1959–1970 гг. и В. К. Павлова (ВИЭМС) за 1983–1987 гг. График их значений буквально параллелен значениям Kc^0 *базовой модели*; имея более высокие (на 0,1) значения, он экстраполируется на значение 1,0 для *операции 4*.

С осмыслением *организационных* составляющих *модификации* в реальном процессе ВМСБ и результатов моделирования определилась исключительность данных о статистике пообъектно выполненных работ на стадиях поискового и разведочного этапов по видам ТПИ. *Натуральные* и «*приведённые*» перечни изученных по стадиям объектов не только опосредованно учитывают эффект проявления *организационной* составляющей *модификации*. Они одновременно несут уникальную информацию о значениях Ky^0 , Kc^0 и $Kц^0$ за четыре десятилетия работ в противовес значениям Ky^{P3} , Kc^{P3} и $Kц^{P3}$, остающимся не подтверждёнными убедительной статистикой. Объективность первых подтверждает перечень отчётов по работам на ТПИ в Казахстане за 1976–1990 гг.; в привязке к нему определяются значения Kc^0 (табл. 3, рис. 2), очень близкие к таковым по СССР за 1959–1987 гг.

В целом тенденции изменения характеристик Kc^0 , $Kц^{P3}$ и K^{P3} *базовой модели* ИЛВМ, K^{P3} *базовых и модифицирующих операций* и даже Kc^0 , определяемых в привязке к приведённым или натуральным рядам отчётов/объектов работ в реальном процессе ВМСБ, аналогичны тенденциям изменения и даже значениям *достоверности/вероятности* оценок ресурсов/запасов [19]. Специфичность изменения значений Kc^{P3} объясняется тем, что моделированием не учитывается перевод на разведочном этапе части запасов в забалансовые.

Натуральные ряды отчётов по работам поискового и разведочного этапов отображают идеализированный модифицированный ход процесса ВМСБ, адекватный реализованному при моделировании, где в приложении ко всей выборке объектов, признанных «перспективными» (без создания поисковых заделов и их филътрации!), реализуются распознавательные процедуры очередной операции

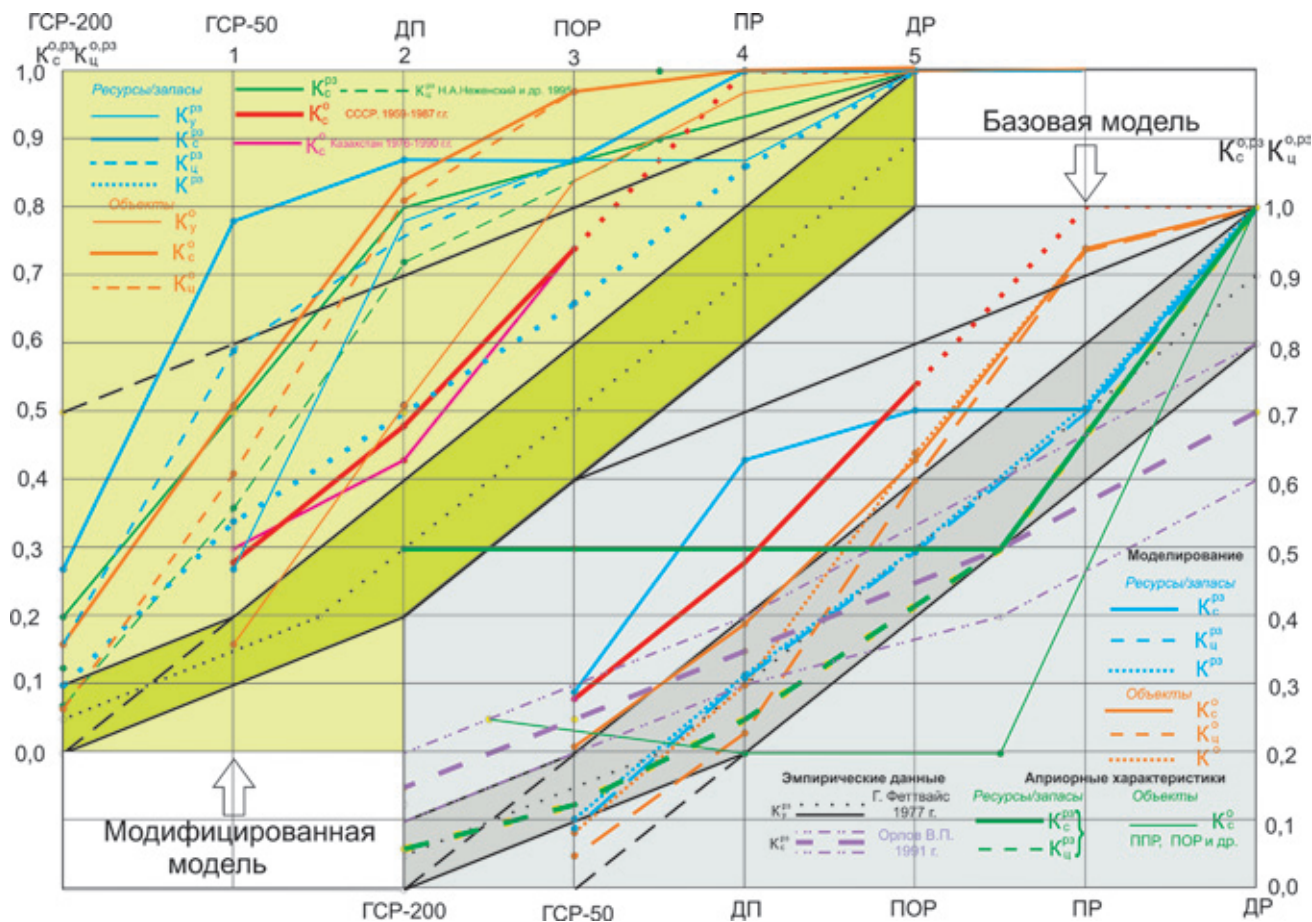


Рис. 2. Сопоставление эмпирических и априорных показателей воспроизводства МРСБ с результатами логико-вероятностного моделирования

с созданием новой выборки и т. д. В случае использования натуральных рядов объектов вычисления K_c проводятся как бы «вспять». Частное от деления числа отчётов по детальной разведке на таковые предварительной «реставрирует» значение K_c^0 при работах поисково-оценочной стадии и т. д. по цепочке, вплоть до воссоздания K_c^0 для ГСР-50, уже за рамками поискового этапа.

За «подтверждаемостями» оценок объектов по территории СССР за 1959–1987 гг., присваивавшихся на стадиях, эквивалентных операциям 1, 2 и 3 моделирования, определился ряд значений K_c^0 (0,28–0,48–0,74). Им близки (0,30–0,43–0,74) значения K_c^0 , полученные в привязке к натуральному ряду отчётов по Казахстану за 1976–1990 гг. Эти же значения (0,30–0,50–0,72) имеют характеристики K_c^0 , рассчитанные в привязке к РС, и они же (0,28–0,46–0,70), если моделируя операцию 1, агрегировать в рудные поля не 3, а 4 рудопроявления. Таковы на сегодня результаты решения прямых и обратных задач при тестировании работоспособности ИЛВМ, содержащие также и косвенную оценку уровня работ по ВМСБ в базовом периоде (рис. 1, 2 и табл. 1–3).

Априорные данные о значениях рассматриваемых характеристик, представленные в табл. 3 и на рис. 2 в блоке базовой модели, утвердившиеся с начала минувшего десятилетия, представляются спорными. Настораживают одинаковые для всех категорий прогнозных ресурсов и запасов C_2 коэффициенты «отхода» при переводе из категории в категорию, равные 0,5, использованные при

вёрстке показателей «Долгосрочной государственной программы... (2005–2020 гг.)» ВМСБ, хотя их значения противоречат данным (табл. 3 и рис. 2) авторитетной работы [12]. Спорными представляются и характеристики введённой с 2001 г. модели процесса ВМСБ в наборе четырех стадий (подготовка геологических основ недропользования, прогнозно-поисковые работы, поисково-оценочные работы, разведочные работы) [4]. Они «заданы» приведённым рядом объектов 100 → 25 → 5 → 1, которым соответствуют значения K_c^0 0,25 → 0,2 → 0,2 → 1,0 при значении K_c^0 0,01 для начальной стадии.

С такими априорными характеристиками трудно обосновывать реалистичные объёмы работ, необходимые и достаточные для ВМСБ, и затраты на их проведение, а также убедать инакомыслящих в сопоставимости наших прогнозных ресурсов P_1 с ресурсами *inferred* [3, 9].

Заключение. Базовая ИЛВМ ВМСБ создавалась в связи с осознанием проблемы «смещённости» авторских оценок прогнозных ресурсов, учреждённых при проведении стадийных работ с 1980 г., а также при их пересчёте на 01.01.1983, для выяснения количественных характеристик и устранения «смещённости», кроющейся за показателями K^{P3} и K^0 . Кроме предметного подхода, оперирующего оценками ресурсов/запасов, в дополнение к нему уже тогда определился объектный, оперирующий подтверждаемостями геолого-экономических оценок объектов поис-

ковых и разведочных работ, имеющий надёжную статистическую базу, формирующуюся с начала 1960-х годов.

Углублённый анализ ретроспективной базы при создании модифицированной ИЛВМ позволил рассматривать показатели Kc^{P3} и Kc^0 в качестве *относительной*, а производные от них $Kц^{P3}$ и $Kц^0$ в качестве *приведённой* достоверности конечных результатов ГРР и определять значения *геологических рисков*. Одновременно в рамках *объектного* подхода определилась исключительная роль данных о натуральных рядах отчётов по стадиям поискового и разведочного этапов, несущих информацию о Kc^0 и $Kц^0$. Значения показателей Kc^0 идентичны верхнему пределу таковых ИЛВМ, заданных значениями РС, а графики Kc^0 и $Kц^{P3}$ нижнего предела ИЛВМ перемежаются с таковыми верхнего предела показателей, предложенных Г. Феттвайсом. Это свидетельство более высокого уровня достоверности конечных результатов ГРР, обеспечивавшихся отечественной моделью ВМСБ, по сравнению с зарубежной.

В регионах с истощённой сырьевой базой целесообразно раскрывать значения ГСР/ГДП-50 показателем в привязке к остаточному минералогическому потенциалу.

Вступление России в ВТО, привлечение в ВМСБ заёмных, в том числе и зарубежных инвестиций обостряют вопросы увязки наших классификаций стадийности и ресурсов/запасов с зарубежными и внимание к *достоверностям* результатов ГРР и *рискам*. Этим определяется интерес к данным Г. Феттвайса, базирующимся на классификациях стадийности и ресурсов США и Канады, учтённых в дальнейшем международной системой CRIRSCO. Создание увязанной системы классификаций ГКЗ – CRIRSCO даёт возможность прикрепить к ней и стадии поискового этапа с их многозначными показателями Kc^0 и $Kц^0$, основанными на статистике отчётов, дифференцировав их по видам ТПИ. Это позволит закрепить завоевания отечественной геологической школы в ВМСБ, оспариваемые *компетентными лицами*.

Первоочередные шаги в практическом использовании и совершенствовании ИЛВМ: обоснование показателей достоверности конечных результатов ГРР и эффективности работ по ВМСБ в регионах с истощённой сырьевой базой; разработка программного обеспечения для широкого использования электронных баз данных геолфондов при обосновании ретрогнозных и прогнозируемых значений $Kc^0, P3$, $Kц^0, P3$ и геологических рисков по работам на каждый вид ТПИ; объединение возможностей ИЛВМ и программно-целевых подходов для оптимизации планирования ВМСБ и реализации планов.

1. Воронин Ю.А. Исследование операций при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых. – Новосибирск: Наука, 1983. – 286 с.

2. Геологическая служба и развитие минерально-сырьевой базы. – М.: ЦНИГРИ, 1993. – 617 с.

3. Джеймс Д. Росс. Единая система классификации и дефиниций для энергетических и минеральных ресурсов: мечта или реальность? Вып. 3. – М.: НП НАЭН, 2007. – 79 с.

4. Зиннатулин М.З. О геологической и экономической эффективности геологоразведочных работ // Минеральные ресурсы России. 2003. № 1–2. – С. 8–13.

5. Красников В.И. Основы рациональной методики поисков рудных месторождений. 2-е изд. – М.: Недра, 1965. – 400 с.

6. Кривцов А.И., Беневольский Б.И., Кочнев-Первухов В.И., Лобач В.И. К методике определения ценности прогнозных ресурсов твёрдых полезных ископаемых для воспроизводства запасов // Минеральные ресурсы России. 2008. № 2. – С. 32–35.

7. Кривцов А.И., Беневольский Б.И., Михайлов Б.К. Ресурсы, запасы и стадийность геологоразведочных работ на твёрдые полезные ископаемые // Отечеств. геология. 2003. № 2. – С. 16–23.

8. Кривцов А.И. К методике оценки результативности и качества геологоразведочных работ // Сов. геология. 1986. № 12. – С. 21–27.

9. Малухин Г.Н., Хенли С. Отчётность о российских запасах и ресурсах для международного рынка // Недропользование – XXI век. 2010. № 5. – С. 40–44.

10. Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов твёрдых полезных ископаемых. Ч. 1: Принципы и методы оценки. – М.: ВСЕГЕИ, 1989. – 183 с.

11. Михайлов Б.К. Геологоразведочные работы по воспроизведению запасов твёрдых полезных ископаемых // Минеральные ресурсы России. 2003. № 1–2. – С. 20–28.

12. Неженский И.А., Павлова Н.Г. Методические основы оценки стоимости российских недр // Минеральные ресурсы России. 1995. № 4. – С. 23–26.

13. Никитина Н.К. Эффективность функционирования государственной системы лицензирования права пользования недрами в Российской Федерации. – М.: ООО «Геоинформмарк», 2009. – 187 с.

14. Овчинников В.В. Теоретическая модель и показатели эффективности воспроизводственного процесса // Принципы, методы и опыт прогнозирования и оценки прогнозных ресурсов твёрдых полезных ископаемых. Алма-Ата: КазИМС, 1988. – С. 76–87.

15. Овчинников В.В. Свойства и проблемы прогнозных ресурсов // Геология и полезные ископаемые Южного Казахстана. Вып. 8. – Алма-Ата: Наука, 1988. – С. 211–226.

16. Орлов В.П. Геологическое прогнозирование. – М.: Недра, 1991. – 166 с.

17. Пашкевич Н.В. Экономическая эффективность геологоразведочных работ и пути её повышения. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1980. – 166 с.

18. Принципы, методы и порядок оценки прогнозных ресурсов твёрдых полезных ископаемых. – М.: ЦНИГРИ, 2010. – 95 с.

19. Fettweis G.B. Weltkohlenvorräte. Eine vergleichende Analyse ihrer Erfassung und Bewertung. – Essen: Verlag Glückauf, 1976.

Овчинников Виктор Васильевич – канд. геол.-минер. наук, зам. зав. отделом, ФГУП «Геолэкспертиза».
<vv-ovchinnikov@mail.ru>.