

УДК 553.411:551.311.231 (083.133)

© В.Б.Голенев, 2006

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОФАКТОРНЫХ МОДЕЛЕЙ ЗОЛОТОНОСНЫХ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ ПРИ ГЕОЛОГО- ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ

В.Б.Голенев (ЦНИГРИ Роснедра МПР России)

На ранних этапах изучения месторождения (стадии поисков и начало оценки) возможна экспрессная оценка целесообразности вовлечения объекта в промышленное освоение. Отличие ее от геолого-экономической оценки по результатам геологоразведочных работ более поздних стадий заключается, во-первых, в отсутствии варьируемых параметров кондиций и технико-экономических показателей в связи с тем, что для установления влияния того или иного из них на масштабы и качество объекта недостаточно исходных данных и, во-вторых, в широкой возможности использования многофакторных геолого-промышленных моделей.

Оптимальный состав моделей для геолого-экономической оценки еще не оцененных и не разведанных месторождений (рудопроявлений) золота в корях выветривания включает элементы, определяющие выбор:

способа разработки;

минимального среднего содержания золота по выветрелым рудам в целом (аналог предельного содержания  $C_{пр}$  существовавших в бывшем СССР браковочных кондиций [3]);

возможной полной себестоимости добычи и переработки 1 т руды;

ожидаемой себестоимости 1 г золота;

ориентировочного объема капитальных вложений в освоение месторождения.

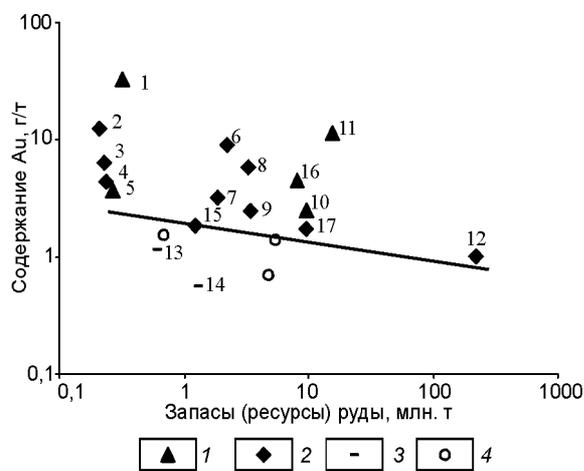
**Модель для определения способа разработки золотоносных кор выветривания.** Основные геологические факторы, определяющие эффективность разработки месторождений — количество и качество запасов. В зависимости от этих параметров для эксплуатируемых или находящихся на стадии составления проекта на разработку месторождений золота в корях выветривания отстроена геолого-промышленная модель (рис. 1), позволяющая прогнозировать возможный способ освоения объ-

екта. Месторождения, целесообразность разработок которых открытым способом доказана государственной экспертизой ТЭО кондиций, на модели располагаются выше линии А–А, а подземным выщелачиванием (ПВ) или объекты, эксплуатация которых открытым способом в настоящее время экономически не эффективна, — ниже этой линии. Линия, разделяющая модель на два поля, задается уравнением:

$$C = 10^{0,31 - 0,1373 \lg Q_r},$$

где  $Q_r$  — геологические запасы (ресурсы) руды в интервале от 0,2 до 200 млн. т;  $C$  — минимальное содержание золота (г/т) в рудах (ресурсах), при котором возможна разработка открытым способом.

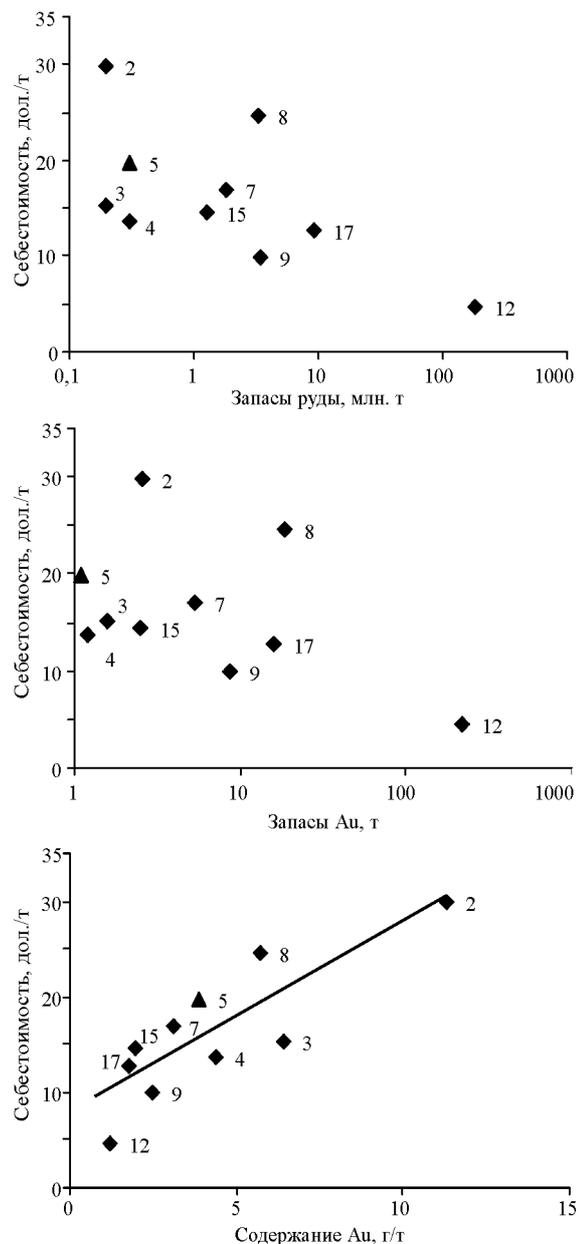
По завершении поисков или в начале стадии оценки имеются данные о количестве и качестве прогнозных ресурсов категории  $P_1$  или даже частично запасов категории  $C_2$ . Простой вынос этих параметров (по сумме запасов и ресурсов) в виде точки на модель «количество–качество» покажет перспективы рассматриваемого объекта в отношении возможного способа его разработки. Если точка окажется в области выше линии А–А, соединяющей



**Рис. 1. Модель для определения способа разработки месторождений золота в корах выветривания, по материалам ТЭО, прошедшим государственную экспертизу:**

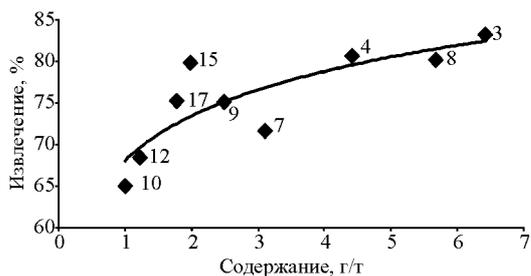
месторождения, разрабатываемые открытым способом с переработкой руд: 1 — на ЗИФ, 2 — кучным выщелачиванием; 3 — месторождения, разрабатываемые ПВ; 4 — объекты, не удовлетворяющие требованиям промышленности к открытой разработке; месторождения: 1 — Тас-Юряхское, 2 — Березняковское, 3 — Кировское, 4 — Самсоновское, 5 — Тамбовское, 6 — Суздальское, 7 — Каменское, 8 — Воронцовское, 9 — Самолазовское, 10 — Светлинское, 11 — Олимпиадинское, 12 — Куранахское, 13 — Гагарское, 14 — Маминское, 15 — Погромное, 16 — Покровское, 17 — Таборное

месторождения Погромное и Куранахское, то объект может быть рентабельно разработан открытым способом. Если ниже — следует рассмотреть вариант повышения бортового содержания, при котором подсчитаны ресурсы (запасы), или возможность применения другого способа разработки (ПВ). Линия А–А проведена при цене золота 300–350 руб. за 1 г. Если на момент оценки цена выйдет за пределы указанного интервала, то необходимо в содержание



**Рис. 2. Модели зависимости полной себестоимости 1 т руды от количества и качества выветрелых руд, по материалам ТЭО, прошедшим государственную экспертизу:**

усл. обозн. см. рис. 1



**Рис. 3. Модель зависимости сквозного извлечения металла кучным выщелачиванием от содержания золота в рудах, по материалам ТЭО, прошедшим государственную экспертизу:**

усл. обозн. см. рис. 1

золота рассматриваемого объекта ввести коэффициент, величина которого вычисляется по формуле:

$$C_{\text{испр}} = C_{\text{факт}} \cdot 325 / C_{\text{тек}},$$

где  $C_{\text{тек}}$  — текущая цена золота в рублях за 1 г.

Для исправленного содержания определяется положение объекта на модели. Вводить поправки на содержание следует только в том случае, если изменение цены на металл не сопровождается изменением себестоимости добычи той же направленности, что наблюдается крайне редко.

**Модель экспрессной оценки для разработки ПВ.** В случае принятия решения о целесообразности разработки месторождения ПВ, при отсутствии натуральных геотехнологических испытаний, позволяющих определить величину Ж:Т, минимальное среднее содержание золота по месторождению в целом принимается по аналогии с Гагарским и Маминским месторождениями, равным 0,5 г/т. Если величина Ж:Т определена по лабораторным испытаниям, то минимальное среднее (предельное) содержание золота по месторождению находится по формуле, выведенной с использованием исследований М.В.Шумилина и др. [2] для месторождений урана гидrogenного типа:

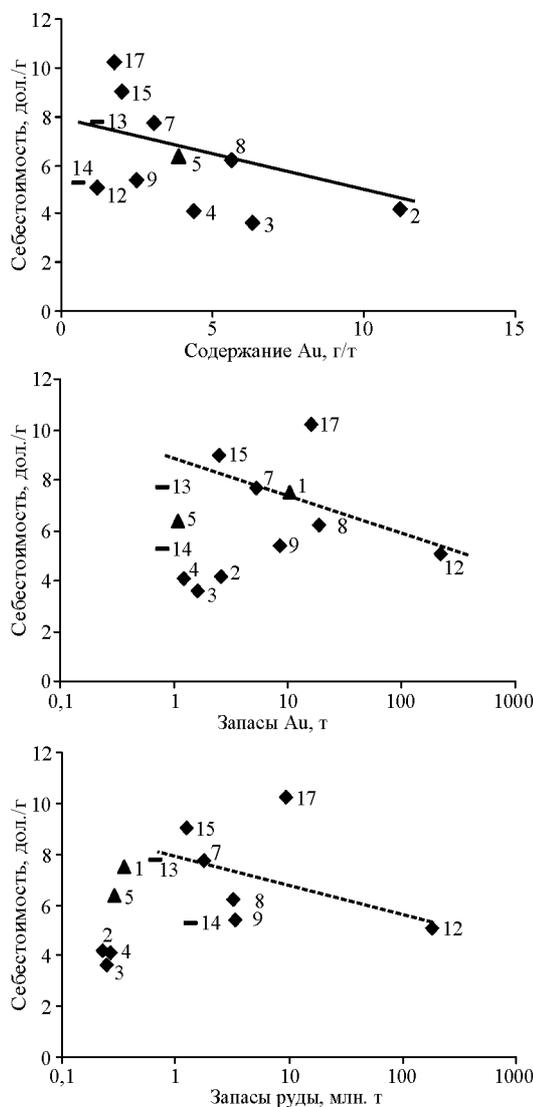
$$C_{\text{пр}} = \frac{C_p \cdot M \cdot F}{I \cdot m},$$

где  $C_p$  — средняя концентрация золота в продуктивных растворах в г/т, не ниже 0,3;  $I$  — извлечение металла в раствор в долях единицы, не более 0,8;  $M$  — средняя мощность рудовмещающего водоносного горизонта;  $m$  — средняя мощность рудного тела.  $M$  и  $m$  принимаются одинаковыми, если отсутствуют фактические их значения.

Оценка производится в пределах геологических границ обводненных кор выветривания (водо-

носного горизонта). При мощности водоносного горизонта более 50 м интервалы с повышенным содержанием золота внутри него рекомендуется выделять при бортовом содержании Au в пробе 0,2 г/т.

**Модель экспрессной оценки для разработки открытым способом.** Для открытой разработки экспрессная оценка месторождения производится исходя из условий переработки выветрелых руд кучным выщелачиванием. Бортное содержание золота принимается по аналогии с эталонными месторождениями (табл. 1), а не методом вариантов, как на стадиях оценки и разведки. Оптимальное значение этого параметра должно находиться в ин-



**Рис. 4. Модели зависимости полной себестоимости 1 г золота от количества и качества выветрелых руд, по материалам ТЭО, прошедшим государственную экспертизу:**

усл. обозн. см. рис. 1

1. Состав, параметры кондиций и основные технико-экономические показатели освоения месторождений золота в корях выветривания,  
по данным ТЭО кондиций, прошедшим государственную экспертизу

Наименование показателей	Месторождения									
	Тас-Юрское 1995	Тамбовское 2002	Воронцовское 1999	Кировское 1999	Самсоновское 1999	Самодановское 2000	Березняковское 2000	Каменское 2004	Гагарское 1997	Маминское 2002
Год составления ТЭО	1995	2002	1999	1999	1999	2000	2000	2004	1997	2002
Способ разработки и переработки руд	Открытый с последующей переработкой руды									
Буртовое содержание Au в пробе, г/т	3,0	1,0	1,4	1,0	1,0	0,6	0,75	0,8	Подземное выщелачивание	
Минимальная мощность рудного тела, м или минимальный меэтрамм, м/г/т	2,0	2,0	3,0	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	Геологические границы	
Максимальная мощность прослоя пустых пород, м	6,0	2,0	4,2	2,5	2,0	1,2	1,5	1,6	-	6,6
Минимальное содержание в краевой выработке, г/т	5,0	2,0	6,0	2,5	5,0	5,0	3,0	4,0	Не используется	
Минимальное промышленное в блоке, г/т	Равно бортовому в пробе									
Коэффициент рудоносности	Не используется									
Геологические запасы:	Нет	Исп.	Исп.	Нет	Исп.	Исп.	Нет	Исп.	Нет	Нет
руда, тыс. т	357,5	293,2	3325,0	249,1	269,2	3401,0	233,5	1759,4	660,3	1384,8
среднее содержание Au, г/т	29,5	3,9	5,7	6,4	4,4	2,54	11,3	3,1	1,2	0,56
Au, кг	10 544	1088	18 833	1589	1195	8655	2643	5400	806	783
Потери, %	1,0	3,0	2,6	4,4	4,0	1,2	4,0	4,0	Не используется	
Разубоживание, %	18,75	13,0	14,6	7,7	9,3	10,5	18,0	10,0	То же	
Коэффициент вскрыши, м <sup>3</sup> /т	Нет данных									
Сквазное извлечение Au, %	90	84	80	83*	80,5	75	75	72	67,6**	67,6**
Годовая производительность: по руде, тыс. т по Au, кг	75,2	53	700	100	50	350	160	313	130	71,2
Себестоимость добычи и переработки: 1 т руды, дол. 1 г Au, дол.	182,5	19,8	24,6	15,2	13,7	9,9	29,9	17,0		
Капитальные вложения, млн. дол.	7,6	6,4	6,2	3,6	4,1	5,4	4,2	7,7	7,7	5,2
Срок окупаемости запасами, лет	30,0	0,6***	66,9	2,3	1,0	3,8	6,1	5,2	0,8	0,4
Срок окупаемости капитальных вложений, лет	6,0	4,8	4,9	2,6	5,7	10,6	1,7	6	3,5	7,2
Годовой доход, млн. дол.	3,0	2,9	5,6	>1	1,8	3,9	1,7	4,1	2,1	1,5
Чистый дисконтированный доход, млн. дол.	-	0,27	9,0	1,5	0,65	0,38	3,45	-	0,37	0,75
Индекс доходности	1,0	0,4	-	2,6	0,5	0,9	1,6	1,9	-	-
Внутренняя норма доходности, %	-	2,0	-	-	1,52	2,2	1,3	-	-	2,7
Уровень рентабельности: к капитальным вложениям, % к эксплуатационным затратам, %	39,0	15,7	-	-	66,1	15,7	39,3	24,0	-	80,0
	18,3	45,3	13,5	67,6	65,0	9,9	56,5	17,1	46,7	187,5
	-	25,8	52,5	100,3	94,7	12,0	71,6	-	37,4	197,6

\* Фактическое по результатам разработки месторождения.

\*\* Достигнуто на Гагарском месторождении за пять лет опытной разработки, процесс не завершен.

\*\*\* Только рудник и оборотные средства (без фабрики и сопутствующей ей инфраструктуры).

тервале 0,5–1,0 г/т. При выборе значения бортового содержания следует учитывать географо-экономическое положение месторождения. В районах с развитой инфраструктурой его значение должно быть ближе к 0,5 г/т, а в удаленных — к 1 г/т.

Минимальное среднее (предельное) содержание золота в целом по месторождению определяется по известной формуле исходя из принципа равенства ценности продукции, извлекаемой из единицы запасов руды в недрах, и затрат на ее получение:

$$C_{пр} = \frac{З_p}{Ц \cdot И \cdot (1 - R)},$$

где  $З_p$  — полная себестоимость 1 т руды (в дол. США) с учетом факторов, приведенных на рис. 2. Предпочтение отдается модели, отражающей зависимость полной себестоимости от содержания золота в рудах по формуле:

$$З_p = 7,8 + 2,05C_r,$$

$C_r$  — среднее содержание золота в прогнозных ресурсах (запасах), г/т;  $Ц$  — цена реализации золота на момент оценки, дол. США;  $И$  — извлечение золота в долях единицы. При отсутствии технологического опробования принимается в зависимости от содержания золота по соответствующей модели (рис. 3) или расчетным путем по формуле:

$$И = (7,7 \ln C_r + 68) / 100,$$

$R$  — разубоживание руды в долях единицы. Принимается на основании действующих нормативных документов.

Ожидаемая себестоимость (в дол. США) 1 г золота ( $З_m$ ) при открытой добыче может быть снята с модели «себестоимость–содержание золота», приведенной на рис. 4, или вычислена по формуле:

$$З_m = 7,0 - 0,285C_r.$$

Кроме того, при выборе аналога для определения ожидаемой себестоимости конечной продукции горнорудного предприятия можно воспользоваться всей совокупностью многофакторных моделей, приведенных на рис. 4. По этим же моделям определяется ожидаемая себестоимость 1 г золота, получаемого при ПВ.

По совокупности факторов, приведенных на рис. 5, определяется ориентировочный объем капитальных вложений (в дол. США) в освоение месторождения как открытым способом, так и ПВ. Капи-

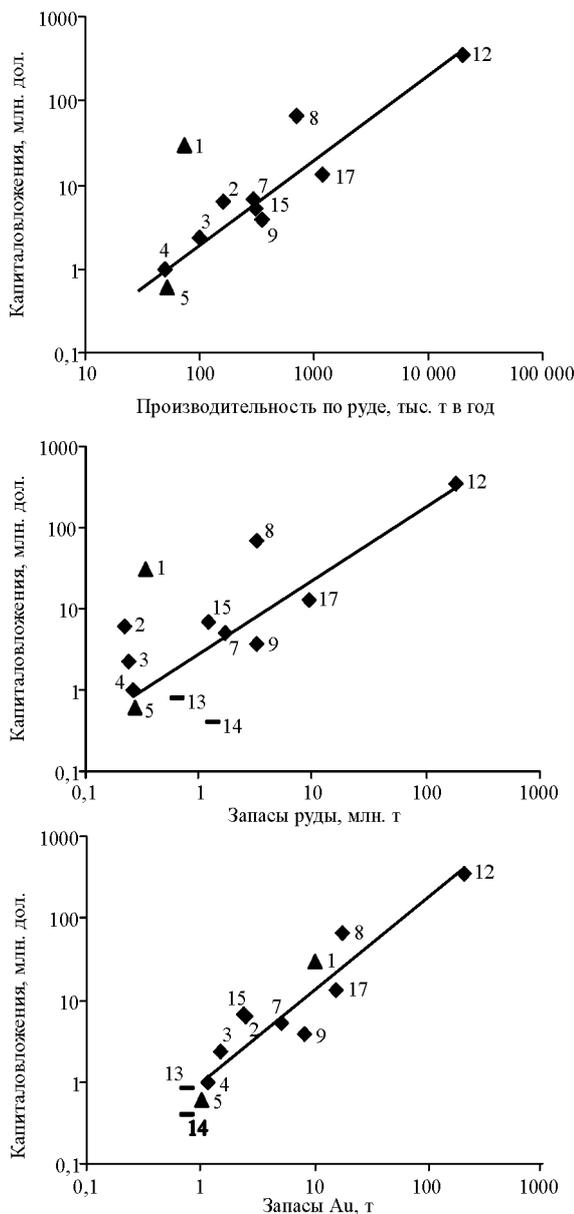


Рис. 5. Модели зависимости общих капитальных вложений в проектируемое предприятие по добыче и переработке руд из кор выветривания от его производительности и масштабов месторождения, по материалам ТЭО, прошедшим государственную экспертизу:

усл. обозн. см. рис. 1

тальные вложения для открытой разработки рекомендуется определять по модели «капиталовложения–запасы (ресурсы) золота» или вычислять по формуле:

$$K = 10^{0,1548 + 1,01361gP_r},$$

где  $P_r$  — ресурсы (запасы) золота, т.

Сравнительный анализ различными методами данных табл. 1 и рис. 1–5 с результатами оценки ко-

вого объекта позволит определить ближайший аналог для него среди месторождений, участвующих в создании геолого-промышленных моделей, и установить основные технико-экономические показатели оценки.

**Ограничительные условия применения многофакторных геолого-промышленных моделей для экспрессной оценки.** Предлагаемая экспрессная оценка имеет ряд ограничений. В первую очередь, они касаются физико-географических условий и уровня хозяйственной освоенности района расположения объектов оценки. При открытом способе разработки предлагаемые модели для определения себестоимости единицы продукции и капитальных вложений действуют в относительно освоенных в хозяйственном отношении районах Алтайского, Красноярского (юг) краев, Амурской, Иркутской (юг), Кемеровской, Новосибирской, Оренбургской, Свердловской, Тюменской, Челябинской, Читинской областей, Башкортостана, республик Бурятия, Коми, Якутия (Саха) (самые южные, непосредственно прилегающие к железной дороге территории) и других, близких к ним по климатическим, географическим и экономическим условиям, регионов.

Опираясь на данные Е.В.Блиновой и др. [1] о влиянии физико-географических условий и уровня хозяйственной освоенности отдельных районов на параметры геолого-экономической оценки, можно предположить следующее. При расположении объекта геолого-экономической оценки на неосвоенных территориях тех же регионов по физико-географическим условиям, для которых разработаны многофакторные модели, следует увеличить себестоимость добычи и объемы капиталовложений до 20%. Укрупненные среднерегionalные поправочные коэффициенты на себестоимость и капитальные затраты по отношению к нормированным условиям (приняты за единицу) приведены в табл. 2.

Рекомендации по оценке эффективности ПВ разработаны на примере освоенных в промышленном отношении районов Свердловской области. При переносе их по аналогии на другие регионы России также необходимо руководствоваться изложенными выше принципами районирования по указанным факторам.

При планировании открытой добычи следует учитывать, что область действия многофакторных моделей распространяется на карьеры с эксплуатационным коэффициентом вскрыши до 7,9 м<sup>3</sup>/т.

## 2. Региональные поправочные коэффициенты к показателям себестоимости продукции и капитальных затрат, с использованием материалов Е.В.Блиновой [1]

Административно-территориальные единицы	Поправочный коэффициент
Иркутская область (север)	1,20
Камчатская область	1,75
Корякский автономный округ	2,00
Магаданская область	
север	2,50
запад	2,10
северо-восток	2,40
восток	2,00
юг	1,75
Приморский край	1,20
Сахалинская область	2,00
Таймырский автономный округ	2,00
Хабаровский край	
север	1,75
юг	1,20
Чукотский автономный округ	2,30
Республика Саха	
север	2,50
центр	2,10
юг	1,75

Себестоимость и капитальные вложения определены по состоянию на конец 2005 г. При использовании моделей необходимо вводить соответствующие инфляционные коэффициенты.

Вместе с тем, предложенные модели позволяют отбраковать заведомо непригодные для освоения открытым способом проявления золота в корях выветривания и решить вопрос о целесообразности проведения работ по уточнению возможности вовлечения объекта в промышленное освоение.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов рудного золота. Раздел: Геолого-экономическая оценка прогнозных ресурсов рудного золота.* – М.: ЦНИГРИ, 2002.
2. *Разведка месторождений урана для отработки методом подземного выщелачивания / М.В.Шумилин, Н.Н.Муромцев, К.Г.Бровин и др.* – М.: Недра, 1985.
3. *Хрущов Н.А.* Основные принципы разработки оценочных (браковочных) кондиций для рудных месторождений на стадиях поисковых и поисково-оценочных работ // Советская геология. 1969. № 6. С. 125–130.