

УДК 622

DOI 10.21285/0130-108X-2016-56-3-29-43

## О НЕКОТОРЫХ ПРИЧИНАХ НИЗКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕОЛОГО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ПОИСКОВО-РАЗВЕДОЧНЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЗОЛОТОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

© В.А. Филонюк<sup>1</sup>, И.А. Дубовская<sup>2</sup><sup>1,2</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

В работе рассмотрены некоторые причины низкой эффективности геолого-методического обеспечения поисково-разведочных и эксплуатационных технологий при поисках, разведке и промышленном освоении золоторудных месторождений, которые обусловлены неадекватностью традиционно применяемых методов геологического обслуживания и природной специфики золоторудных месторождений. К этим причинам отнесены: неучет повышенной сложности внутреннего строения промышленных рудных тел, низкая представительность и достоверность опробования, несовершенство методики опробования и технологии обработки проб, недостаточная эффективность традиционно применяемых методических и статистических приемов для коррекции результата при количественной обработке исходной информации, неадекватность геометрических параметров традиционно используемых форм и размеров блоков при оконтуривании и подсчете запасов промышленных руд параметрам природной прерывистости полей концентрации золота в рудных телах и зонах.

Сделан вывод о необходимости создания для золоторудных месторождений специальной системы геолого-методического обеспечения поисково-разведочных и эксплуатационных технологий.

*Ключевые слова:* золоторудные месторождения, геолого-методическое обеспечение, поисково-разведочные технологии, представительность, достоверность.

**Формат цитирования:** Филонюк В.А., Дубовская И.А. О некоторых причинах низкой эффективности геолого-методического обеспечения современных поисково-разведочных и эксплуатационных технологий в золотодобывающей отрасли // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2016. № 3 (56). С. 29–43. DOI 10.21285/0130-108X-2016-56-3-29-43.

## ON SOME REASONS OF LOW EFFICIENCY OF GEOLOGICAL AND METHODOLOGICAL SUPPORT OF MODERN PROSPECTING, EXPLORATION AND OPERATION TECHNOLOGIES IN GOLD INDUSTRY

V.A. Filonyuk, I.A. Dubovskaya

Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

The paper discusses some reasons of the low efficiency of geological and methodological support of prospecting, and operation technologies under searches, exploration and commercial development of gold deposits, which are caused by the inadequacy of traditional methods of geological service and nature of gold deposits. These reasons include: neglect of the increased complexity of the internal structure of industrial ore bodies; low representativity and accuracy of ore sampling; imperfection of sampling methods and sample processing technology; low efficiency of traditionally used methodological and statistical techniques for result correction under quantitative processing of initial information; inadequacy of geometric parameters of traditionally used shapes and sizes of blocks at resource delineation and estimation of industrial ore reserves to the parameters of natural discontinuity of gold concentration fields in ore bodies and zones.

---

<sup>1</sup>Филонюк Виталий Андреевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры прикладной геологии, e-mail: Filonyuk@hotmail.ru

Filonyuk Vitaly, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor of the Department of Applied Geology, e-mail: Filonyuk@hotmail.ru

<sup>2</sup>Дубовская Ирина Александровна, аспирант кафедры прикладной геологии, e-mail: dubovskaya.i@yandex.ru

Dubovskaya Irina, Postgraduate of the Department of Applied Geology, e-mail: dubovskaya.i@yandex.ru

The conclusion is derived on the need for the creation of a special system of geological and methodological support of prospecting, exploration and operation technologies for the gold industry.

*Keywords:* gold deposits, geological and methodological support, prospecting and exploration technologies, representativity, accuracy

**For citation:** Filonyuk V.A., Dubovskaya I.A. On some reasons of low efficiency of geological and methodological support of modern prospecting, exploration and operation technologies in gold industry. Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences, Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits. 2016. No. 3 (56). Pp. 29–43. DOI 10.21285/0130-108X-2016-56-3-29-43.

Как известно, в практике поисков, разведки и промышленного освоения месторождений полезных ископаемых существуют традиционно укоренившиеся методические и технологические стандарты, закрепленные в соответствующих методических и инструктивных документах. Они используются как основные критерии в процессе экспертных оценок качества проводимых поисково-разведочных работ и в практике геологического обеспечения промышленной эксплуатации месторождений.

Однако для отдельных видов полезных ископаемых эти стандарты не являются оптимальными. Формальное их использование без учета природной специфики объекта порождает проблемы, негативно влияющие на эффективность результатов работ. Данная ситуация наиболее ярко проявлена на золоторудных месторождениях, которые обладают своей спецификой. В условиях традиционно применяемых стандартов при поисках, разведке и промышленном освоении этих объектов как правило возникают проблемные вопросы геолого-методического плана, без правильного решения которых ожидаемый экономический эффект от проведения указанных работ всегда будет находиться в области значительного риска его неподтверждения.

Рассмотрим наиболее актуальные из них.

**1. Неучет повышенной сложности внутреннего строения промышленных рудных тел и месторождений.** Традиционные поисково-разведочные технологии и системы разработки конкретных жильных месторождений золота ориентированы на обычные (обще-

принятые) геологические и горнотехнические условия и относительно упрощенное представление о выявляемом и изучаемом объекте. Самым «слабым» местом в подобных представлениях является укоренившееся допущение о непрерывности распределения полезного компонента в пространстве рудного тела.

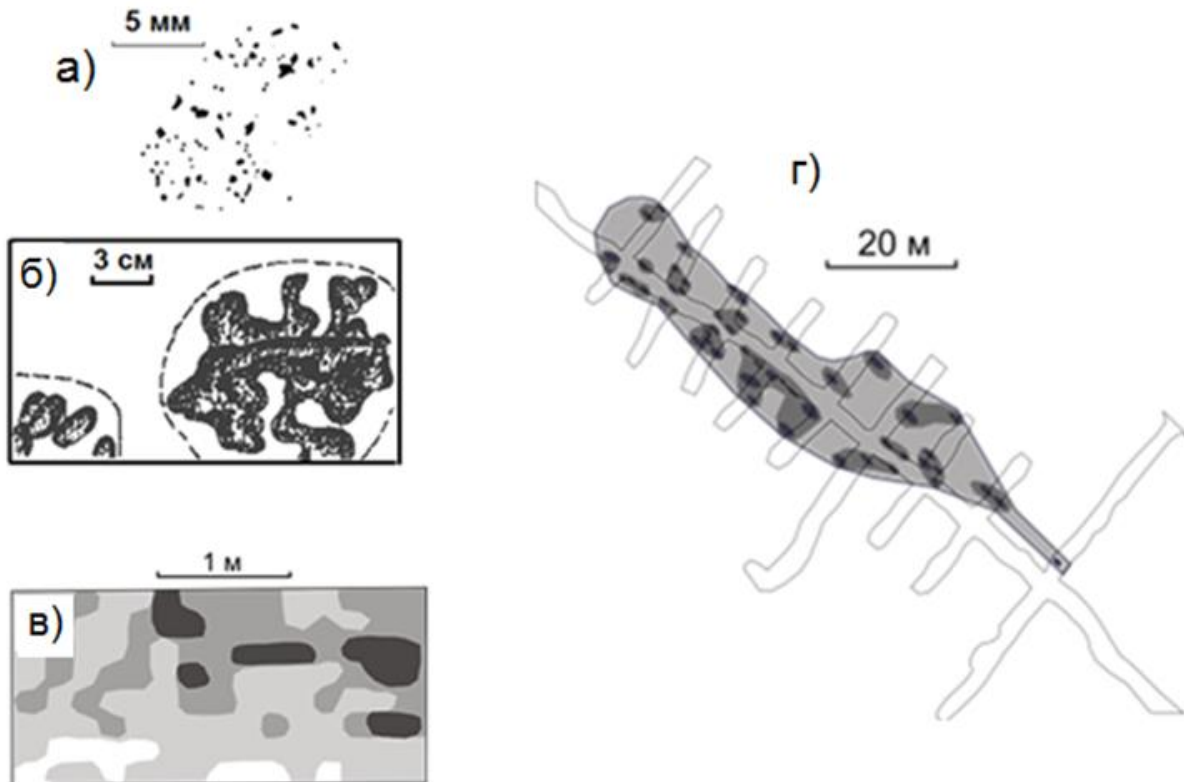
Однако в реальных условиях приходится сталкиваться с тем, что непрерывность носит весьма условный характер. Это приводит к необходимости разработки и принятия особых методических, технологических и технических решений, которые в стандартном наборе отсутствуют.

При разработке таких решений для любого золоторудного месторождения с высококонтрастным оруденением прежде всего необходимо рассматривать конкретные установленные закономерности прерывистого пространственного распределения золота в рудных телах. Они непосредственно влияют на выбор оптимального подхода к получению необходимой информации для проведения геометризации промышленных руд и создания эффективных технологий их разработки. Практический опыт показывает, что в отличие от не совсем четких классификационных определений характера распределения металла «равномерный», «неравномерный», «весьма неравномерный» и т.п. требуется структурная конкретность в этих определениях. Ее отсутствие способствует использованию формальных и поэтому неэффективных в данных условиях приемов оконтуривания промышленных руд и приводит к негативным технологическим и экономическим последствиям.

В процессе углубленного изучения данной проблемы на многих золоторудных месторождениях было установлено, что в очистных блоках (по данным опережающего эксплуатационного опробования) распределение золота обладает закономерной дискретностью. Более того, это распределение иерархично и самоподобно и его общий структурный каркас, контролирующий распределение основного количества металла в пространстве, представляет собой фрактальный кластер. При этом установленный дискретный характер распределения золота проявлен в условиях, когда

визуальные критерии ограничения промышленных руд полностью отсутствуют (рис. 1).

Эта закономерность прослеживается на всех детально изученных нами золоторудных месторождениях. На фоне такого распределения при переводе его в условно непрерывный формат (путем сглаживания или таксономирования) отчетливо наблюдается нелинейный характер уменьшения численных значений его содержания от точек с относительно высоким содержанием в направлении к ближайшим точкам с более низкими его значениями.



**Рис. 1. Характер прерывистости пространственного распределения отдельных золотин, их скоплений и аномальных концентраций золота на разных масштабных уровнях промышленных рудных тел. Золоторудные месторождения Зун-Холба (Бурятия), Сауляк (Украина):**

*а – анилиф из образца богатой руды, автордиография золотин (по А.А. Куликову); б – рудный монолит по результатам непрерывного объемного картирования под микроскопом граней элементарных кубиков размером 2×2×2 см; показана сводная проекция участков максимальной концентрации крупных золотин в параллельных распилах монолита на продольную вертикальную плоскость; в – детальный срез обогащенной части рудного тела, непрерывное опробование квадратными задирками площадью 20×20 см; г – горизонтальный срез промышленного рудного тела по результатам детального эксплуатационного опробования стенок подземных горных выработок.*

*На вкладках в и г более темный цвет заливки соответствует участкам с более высокими концентрациями золота, контролирующими основную часть массы золота в рассматриваемом элементе неоднородности*

Все перечисленные особенности не учитываются в традиционно применяемых инструктивных и методических стандартах.

Оптимальное решение данного проблемного вопроса возможно лишь путем получения необходимой информации для построения обобщенной фрактальной модели распределения металла в пространстве рудного тела и месторождения в целом.

**2. Низкая представительность и достоверность опробования.** Смысл понятий «достоверность опробования», «представительность опробования» в основном исходит из стохастической формализации объекта опробования. Поэтому для условий, когда месторождение или рудное тело представляется в виде структурно детерминированного объекта (фрактального кластера), эти понятия требуют уточнения.

Из анализа этих понятий в работах А.Б. Каждана [1], Л.И. Четверикова [2] и др. можно сделать вывод, с одной стороны, о взаимообусловленности этих понятий и, с другой – об их неопределенности в условиях стохастических моделей формализации месторождений, то есть когда выделение «геологически однородных» участков недр производится весьма условно. И все же общепринятый смысл этих понятий заключается в следующем. Проба считается достоверной, если она с определенной вероятностью будет отображать среднее содержание в некотором «элементарном блоке» или «ближайшем к пробе районе», а ее представительность относительно этого блока или района будет оцениваться величиной случайного отклонения содержания в этой пробе от среднего по блоку или ближайшему району. Естественно, чем выше степень неоднородности (прерывистости) изучаемого объекта, тем ниже представительность проб; по мере роста объемов проб или снижения расстояния между ними будет происходить рост их представительности.

Опыт опробования золоторудных месторождений показывает, что единич-

ные бороздовые, керновые, штупные (то есть малообъемные) пробы являются непредставительными. Они не воспроизводят природное соотношение богатых, рядовых, бедных и фоновых концентраций золота в естественном их распределении. Поэтому существующие методические указания рекомендуют рассматривать представительность не отдельной пробы, а их совокупности, характеризующей определенные участки рудных тел. Однако в этом случае объективно геометривать участки с промышленными рудами невозможно, особенно при малой мощности рудного тела, малой плотности сети рудных пересечений и наличии таких свойств полей концентрации золота (ПКЗ), как дискретность и структурная автономия.

Таким образом, четкие геологические критерии для выделения геологически однородных блоков при статистической и геостатистической формализации разведываемых месторождений отсутствуют. Поэтому все построения базируются на допущениях о разной степени равномерности распределения полезного ископаемого в рудном теле, что и предопределяет в данной ситуации условный характер понятий «достоверность» и «представительность» отдельной пробы.

При системно-структурной формализации месторождений, когда исследователь имеет дело хотя и с вероятностными, но пространственно детерминированными их моделями, эти понятия обретают вполне конкретный смысл. Здесь они наделяются системным содержанием, то есть приобретают уровневую относительность. Это означает, что для каждого структурного уровня существует свой достоверный и представительный единичный замер. Геометрической базой замера является либо цельный объем недр (блок, крупнообъемная проба) с оптимальной формой, размерами и ориентировкой, либо специально «сконструированная» система обычных измерений малообъемными пробами в тех же оптимальных для конкретного

иерархического уровня размерах пространства, выступающего в качестве единичного замера.

Опираясь на найденные закономерности последовательного структурного вхождения друг в друга элементов различных иерархических уровней и знание примерных геометрических параметров дискретности в распределении мод ПКЗ на каждом уровне структурной организации, можно определить конкретные требования к формированию представительной геометрической базы достоверного и одновременно представительного единичного замера для элементов неоднородности ПКЗ каждого масштабного уровня. Так форма, размеры и пространственная ориентировка геометрической базы достоверного и представительного единичного замера для конкретного уровня должны полностью нейтрализовать влияние дискретности строения поля, предшествующего более детального по масштабу иерархического уровня, выступающего в качестве «эффективной неоднородности» (по А.Б. Каждану). Это может быть достигнуто за счет предельной минимизации или полной ликвидации асимметрии статистического распределения результатов замеров (как источника неслучайных отклонений проб от среднего) путем достоверного воспроизведения каждым из замеров реального для изучаемого уровня соотношения классов количественных характеристик признака. Например, для ПКЗ это соотношение классов «богатых», «рядовых», «бедных» и «фоновых» концентраций золота в пределах геометрической базы замера, соответствующее таковому, скажем, в рудном столбе первого порядка, если именно этот уровень структурной иерархии нас конкретно интересует. При этом геометрическая база достоверного и представительного замера для каждого предыдущего (в порядке увеличения размера) иерархического уровня является элементом таковой для каждого последующего.

К сожалению, в практике пока такие решения отсутствуют.

**3. *Несовершенство методики опробования и технологии обработки проб.*** Поскольку теоретически опробование ориентировано на случайный вид погрешностей, часто возникающие систематические ошибки связываются только с нарушениями технологии опробования.

Влияние различных факторов на достоверность определения содержания золота в пробе рассматривалось многими исследователями. Краткие обзоры этих работ имеются у К.Л. Пожарицкого, М.В. Барышева и др., но наиболее полный анализ их дается Ю.А. Ткачевым, А.А. Шейным [3], А.А. Куликовым [4]. В обзорах подчеркивается, что в операциях по подготовке проб к анализу проявляется влияние главного фактора на достоверность определения содержания золота в пробе – это наличие крупного золота (размер золотины более 0,5 мм) и его количественное соотношение с мелким золотом. Однако наличие крупного золота и его агрегатов может быть причиной появления систематических ошибок как на стадии обработки проб, так и при их отборе.

Снивелировать влияние данного фактора можно лишь путем взятия проб большого объема. Так, П.Л. Каллистов, Н.В. Барышев считали, что наличие в объекте опробования крупного золота, представляющего значительную часть металла в небольшом объеме руды, является главной причиной крайней неравномерности распределения его в рудном теле. Это приводит к необходимости взятия больших проб рудной массы и предварительного извлечения крупных золотин.

Результаты известных опытно-методических работ по отбору и сравнению проб различного объема и геометрии, выполненных на золоторудных месторождениях (Д.А. Зенков, В.П. Бордонов, Л.В. Ли [5] и др.) свидетельствуют о некотором повышении содержания золота по мере увеличения массы (объема)

пробы. Поэтому в условиях ограниченного количества обычных бороздовых, керновых проб, отбираемых на стадии разведки, имеет место тенденция к занижению разведочных данных, особенно на объектах с крайне неравномерным распределением содержаний золота. На это обстоятельство обращали внимание многие исследователи (Б.К. Брешенков, В.Ф. Дубинин, А.В. Поляницын, А.А. Куликов и др.).

Выявленные тенденции и их причинность тесно связываются с наличием левой асимметрии в распределении золота по крупности, установленной П.Л. Каллистовым, поэтому вероятность попадания крупных золотинок в пробы небольшого объема весьма мала. Особенно опасна эта тенденция для объектов с относительно невысоким содержанием золота.

На ряде отечественных месторождений, таких как Советское и другие, а также зарубежных, таких как Витватерсранд, наметилась тенденция занижения содержаний в пробах для относительно бедных участков или блоков руды и завышения для относительно богатых. Это следствие все тех же причин и подтверждение результатов экспериментов упомянутых выше исследователей.

Реальность обсуждаемых тенденций наиболее отчетливо подтверждается результатами контрольного опробования, когда основная и контрольная пробы одного и того же размера, геометрии и ориентировки, отобранные рядом, показывают резко различные результаты. Так, С.А. Денисов и др. [6] установили, что при сопоставлении основных и контрольных проб наблюдается примерно та же тенденция, что и при сравнении основных и контрольных анализов. Это явление авторы назвали «эффектом сортировки». Его сущность заключается в следующем: при разделении опробованных интервалов на сорта по какому-либо уровню содержания наблюдается систематическое неподтверждение средних оценок при повторном

опробовании. В интервалах повышенного качества повторное опробование устанавливает снижение среднего для групп, а в интервалах с убогим содержанием происходит обратное явление – среднее для этой группы при повторном опробовании повышается («корреляционный парадокс» по Секкею).

Причину «эффекта сортировки» авторы видят в дискретности распределения полезного компонента, и поэтому оценки содержаний в пробах носят вероятностный характер. Отсюда они делают важный и абсолютно правильный вывод о том, что граница между сортами руд не может быть проведена точно.

В условиях применения геостатистической модели описания изменчивости содержаний полезного ископаемого при опробовании (Ж. Матерон, Э. Карлье, А.Б. Каждан и др.) влияние крупного золота и его агрегатов, скоплений агрегатов выражается «эффектом самородков» или «эффективной неоднородностью». Их влияние составляет часть общей дисперсии содержаний полезного ископаемого и проявляется в чистом виде только в пределах пространства, ограниченного контурами пробы. По смыслу эти понятия эквивалентны понятию «эффект сортировки».

Неоднородная гранулометрия золотинок в руде и особые физико-механические свойства золота определяют также низкую эффективность традиционной технологии обработки проб и, как следствие, также низкую эффективность геолого-методического обеспечения разведочных и эксплуатационных работ в целом. Конкретно это сказывается в том, что существующая технология подготовки пробы к анализу приводит к низкой достоверности определения содержания золота в единичной пробе, особенно в условиях присутствия в руде относительно крупного золота.

Как известно, предусмотренное традиционной технологией обработки проб измельчение материала пробы производится с целью увеличения количества частиц рудного вещества, обеспечивающего стабилизацию заданной точности

сокращения пробы. Однако известные операции обработки проб, включая и операцию измельчения, являются недостаточно надежными. При дроблении и тонком помоле материала вследствие высокой пластичности золота возможны потери за счет «размазывания» его на рабочих поверхностях дробилок и истирателей. Поведение золота при измельчении тесно связано с формой и размерами золотинок, их строением и чистотой (пробностью) золота. Изучение поведения золота при измельчении свидетельствует об одном: его разрушение по отношению к вмещающим его минералам существенно отстает. Так, опыты М.Н. Савосина и В.А. Саклакова, И.Л. Патушинской показывают, что при достижении крупности материала пробы 0,10–0,15 мм измельчение золота практически приостанавливается, а при дальнейшем истирании материала

до 0,10–0,07 мм золотины не уменьшаются и переходят в техногенные формы (шары, цилиндры) с размерами 0,1–0,2 мм. На стадиях же более крупного дробления искусственно вводимое золото крупностью 0,5–1,0 мм в специально сформированные пробы практически сохранялось в том же классе крупности, приобретая при этом техногенные формы (особенности поведения золота в процессе подготовки пробы для отбора навески для пробирного анализа [5] приведены на рис. 2, 3 и в табл. 1 [7]). Эти опыты также показали, что золотины класса -1,0+0,1 мм в основном разрушаются, размер их уменьшается, в том числе до заданного (-0,074 мм). Количество образовавшихся при этом золотинок увеличивается в среднем в 8–10 раз по сравнению с исходным.

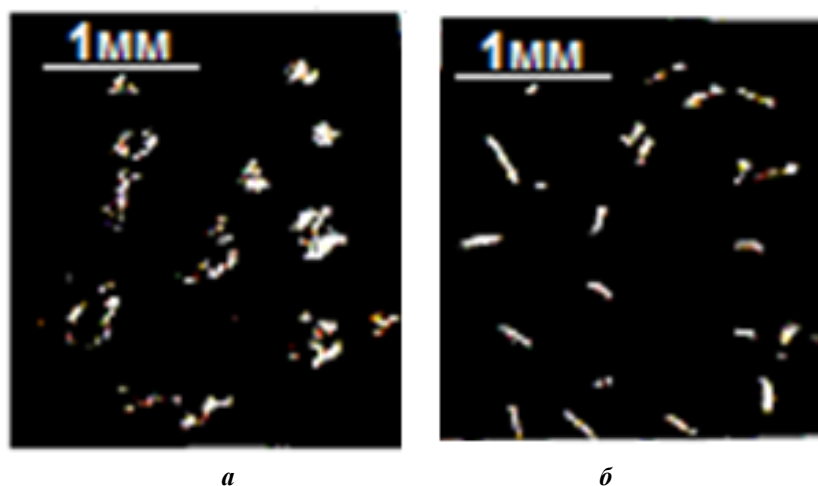


Рис. 2. Форма средних и крупных золотинок до истирания (а) и после истирания материала пробы в дисковом истирателе (б) (по И.Л. Патушинской) [8]

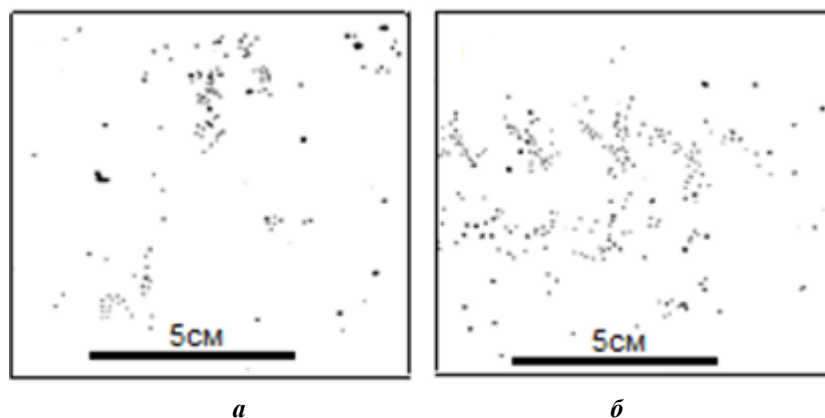


Рис. 3. Авторадиографии распределения золотинок после перемешивания материала пробы, измельченной до -1 мм перед сокращением (а) и итертой до -0,074 мм перед отбором навески на анализ (б) (по А.А. Куликову) [4]

Таблица 1

**Степень влияния отдельной золотины разной крупности  
на количественную характеристику содержания золота в пробе  
при попадании ее в навеску для пробирного анализа**

Класс крупности золотины, мм	Средняя масса золотины в классе, г	Доля содержания золота, г/т, в навеске массой 50 г, которую определяет одна золотины разной крупности	Степень влияния
+0,074–0,1	0,0000016	$1,6 \times 10^{-6} : 50 \times 10^{-6} = 0,032$	Несущественное
+0,1–0,5	0,000044	$44,0 \times 10^{-6} : 50 \times 10^{-6} = 0,88$	Несущественное
+0,5–1,0	0,00105	$1050,0 \times 10^{-6} : 50 \times 10^{-6} = 21,0$	Существенное
+1,0–2,0	0,00413	$4130,0 \times 10^{-6} : 50 \times 10^{-6} = 82,6$	Весьма существенное
+2,0–3,0	0,01572	$15720,0 \times 10^{-6} : 50 \times 10^{-6} = 314,5$	
+3,0–5,0	0,07800	$78000,0 \times 10^{-6} : 50 \times 10^{-6} = 1560,0$	

При сокращении пробы количество крупных золотины в оставшейся массе лабораторной пробы (обычно не менее 1 кг) сводится к единицам. Поэтому вероятность попадания крупных золотины в навеску при дальнейшем сокращении этой массы материала весьма низка, что и порождает тенденцию к систематическому занижению содержания золота в пробе. По данным М.И. Савосина и В.А. Саклакова, средние величины занижения для руд с крупным золотом (класс +0,5 мм) составляет 20–30%, а для руд со средней крупностью золота (класс +0,1–0,5 мм) соответственно 10–15%. Эти величины погрешностей установлены опытным путем.

Но даже при весьма малой вероятности пропорционального распределения крупного золота в процессе сокращения пробы и попадания крупных золотины в конечную навеску, анализ покажет явно завышенный результат. Здесь будет резко нарушена пропорция распределения золота в массе навески и абсолютное завышение содержания в этом случае может на порядок и более превысить абсолютное занижение, которое возникает из-за непопадания этой золотины в навеску (см. рис. 2, 3, табл. 1).

Экспериментальная проверка эффективности перемешивания пробы перед сокращением или отбором навески для анализа, проведенная А.А. Куликовым, показала, что перемешивание тонко измельченного материала, в котором плотность полезного компонента (в нашем случае золота) резко отличается от плотности основного материала пробы (19,6 и 2,5 г/см<sup>3</sup>), не приводит к равномерному распределению плотного вещества (см. рис. 2, 3, табл. 1).

Данный феномен усугубляется тем, что крупные золотины, как было показано выше, не измельчаются, а приобретают техногенные формы.

Таким образом, обсуждаемые выше обстоятельства ставят под сомнение корректность определения содержания металла в пробе при наличии относительно крупного золота. Если учесть условия многоуровневой прерывистости ПКЗ в рудных телах, то, как следствие, также под сомнение необходимо ставить корректность выделения границы промышленных тел на основе использования бортового содержания, поскольку содержание в крайней пробе может изменяться в широком диапазоне, и положение контура промышленных руд будет весьма условным.



**4. Недостаточная эффективность традиционно применяемых методических и статистических приемов для коррекции результата при количественной обработке исходной информации.** Неоптимальность традиционных методических стандартов, применяемых при поисках и разведке золоторудных месторождений, приводит к необходимости использования при обработке результатов опробования и получении окончательных количественных результатов по оценке промышленных параметров месторождений различных приемов коррекции для минимизации риска получения недостоверных результатов. Они достаточно широко известны из методической литературы и предусматривают многочисленные подходы к минимизации или подавлению как случайных, так и систематических погрешностей. Как правило, они построены на математических действиях, предусматривающих нейтрализацию влияния левой асимметрии в распределении содержаний при оценке среднего в блоке, оптимизацию весовых функций, детерминирующих влияние различных классов содержаний в объеме оцениваемого блока и за счет этого минимизирующих дисперсию оценки среднего и т.п.

Дадим краткий критический анализ возможностей известных основных приемов коррекции количественных результатов в условиях прерывистого золотого оруденения.

Замена среднеарифметического содержания средневзвешенным на мощность рудного тела многими исследователями рассматривается как прием повышения достоверности оценки среднего в блоке при условии достаточно тесной корреляционной связи между содержанием золота и мощностью рудного тела. Однако в условиях золоторудных месторождений такая связь либо вообще отсутствует, либо, если и существует, то обладает обратным характером (свойство синергизма ПКЗ), когда максимумы мощности рудного тела соответствуют минимумам концентраций золота).

В последнем случае применение взвешивания содержаний на мощность вполне оправдано. Эта процедура хотя бы частично погасит влияние левой асимметрии, поскольку более высокие содержания будут учитываться с меньшим весом.

Применение в качестве среднего по блоку среднегеометрической или среднелогарифмической его оценки. В условиях прерывистости ПКЗ в первом случае мы получаем обратное (правое) смещение среднего значения, а во втором усугубляем левое его смещение, особенно при больших дисперсиях содержаний в блоке. В итоге оценка среднего получается либо слишком пессимистичной, либо весьма оптимистичной. Практика одинаково не приемлет ни то, ни другое.

Как один из возможных методов подавления влияния асимметрии статистического распределения содержаний при оценке среднего в блоке может быть использован способ «расслоенной выборки». Он предусматривает разделение общей выборки, по которой оценивается среднее, на две: фоновую и аномальную. Последняя формируется путем вычитания из всех значений содержаний некоторой постоянной величины, принятой за фоновую концентрацию золота в оцениваемом блоке. В результате получается две статистически однородных выборки с минимизированной асимметрией, что дает возможность оценить среднее в каждой из них с минимальной дисперсией. Общее среднее в блоке оценивается как средневзвешенное из выборочных средних на соответствующие объемы аномальной и фоновой выборок. При этом в среднее по аномальной выборке добавляется ранее вычтенный фон. Общая дисперсия оценки среднего содержания в блоке определяется исходя из свойства аддитивности выборочных дисперсий.

Для минимизации дисперсии оценки среднего в блоке очень часто используют модели, основанные на теории стационарных случайных функций, предусматривающих разделение общей

изменчивости ПКЗ на случайную и неслучайную составляющие. Здесь применяются корреляционные, структурные функции и функции, выражающие спектральную плотность дисперсии при определенной геометрии и размерах проб.

В данном случае для оценки погрешностей среднего в блоке используется свойство аддитивности дисперсий, которое предусматривает и дает право на вычисление общей дисперсии содержаний в блоке как суммы составляющих дисперсий. Например, общая дисперсия оценки среднего содержания в блоке равна сумме дисперсий содержаний в линейной пробе в пределах рудного пересечения, дисперсии содержаний в рудном пересечении в пределах разведочного сечения, дисперсии содержаний в разведочном сечении в пределах оцениваемого блока. Согласно статистической модели оценки каждое слагаемое в данном случае должно выражать только случайную составляющую изменчивости, которая вычисляется путем вычитания из общей дисперсии закономерной ее части. Последняя может быть определена с использованием автокорреляционной, структурной функции или спектральной плотности дисперсий. Интегральная оценка случайной составляющей общей дисперсии позволяет определить интервальные статистические оценки среднего в блоке.

Однако в условиях установленных свойств ПКЗ случайные функции, описывающие изменчивость поля, нестационарны. Это существенно затрудняет, а по большому счету исключает возможность корректного использования данного аппарата. Главной помехой здесь является уровневый характер ПКЗ, который порождает левую асимметрию всех получаемых выборок при проведении опробования или каких-либо других измерений. Вследствие этого, например, структурная и корреляционная функции приобретают периодический характер. Тем не менее для выхода из положения их использование возможно, а соответ-

ствующая интерпретация позволяет устанавливать лишь средние размеры структурных элементов различных уровней, но без пространственной увязки их в пределах исследуемого ПКЗ.

В условиях повышенной плотности сети измерений (детальная, эксплуатационная разведка, эксплоопробование) возникает возможность появления систематических погрешностей из-за влияния выдающихся значений содержаний металла в отдельных пробах и неучета свойства нелинейности в распределении влияния отдельного содержания в точке на окружающее пространство. В данной ситуации для наилучшей оценки среднего применяют специальные методы нейтрализации влияния выдающихся (ураганных) значений содержаний, а также используют в качестве основы для расчетов детерминированные (геометрические) модели изменчивости исходных содержаний металла и их весов в виде соответствующих карт в изолиниях (модели П.К. Соболевского и др.).

Особый учет и нейтрализация ураганных значений содержаний в блоке является одним из общепринятых приемов подавления систематических погрешностей, возникающих за счет непропорционального влияния отдельных аномальных значений содержаний металла в отдельных пробах при расчетах среднего по блоку или выборке. Данная проблема особенно ярко проявляется на золоторудных месторождениях, и именно в этой области созданы все основные методические приемы ее решения. Этих приемов известно более сорока, и уже этот факт свидетельствует об «искусственном» характере данной проблемы. При рассмотрении ее с позиции выявленных свойств ПКЗ становится очевидным, что эти погрешности порождены, с одной стороны, несоответствием формы и плотности сети наблюдений особенностям внутреннего строения ПКЗ, а с другой – несовершенством технологии обработки проб в условиях специфичности свойств золота как

металла. Потому-то и не существует до сих пор единой научной основы подавления ураганных значений содержаний: создать такую основу применительно к неоптимальной по своим параметрам сети просто невозможно.

Для золоторудных месторождений, особенно тех, которые обладают повышенной контрастностью поля концентраций золота, наличие ураганных значений в большей мере является правилом, а не исключением. Поэтому всякая искусственная нивелировка таких концентраций противоречит логике и в условиях традиционных поисково-разведочных систем будет способствовать еще большему искажению формирующихся представлений об изучаемом объекте. В определенной степени нивелировка высоких значений содержаний оправдана в условиях низкой контрастности ПКЗ, где она является «страховочным» приемом от возможного завышения среднего содержания в блоке, но базируется этот прием только на интуиции исследователя.

При равномерной и достаточно высокой плотности сети измерений (например эксплоопробование) наиболее эффективным способом нейтрализации систематических погрешностей оценки среднего в блоке, связанных с влиянием свойства нелинейности ПКЗ, является расчет его через взвешивание на зоны влияния конкретных содержаний. Они определяются по сортовым планам, составленным с учетом нелинейного изменения содержаний в пространстве. Характер нелинейности устанавливается эмпирическим путем в соответствии с конкретными условиями.

В условиях ПКЗ такие приемы вполне пригодны, если их основа построена путем сглаживания исходных данных скользящим окном, обеспечивающим отображение определенного структурно-иерархического уровня ПКЗ. При этом выбор расстояний между изолиниями должен быть произведен с учетом свойства нелинейности. Наибольший эффект данный прием дает при

обработке измерений в условиях равномерной сети наблюдений (эксплоопробование, реже эксплооразведка).

Возможности использования оптимальных весовых функций для подавления систематических погрешностей разведки как управляемой составляющей фактора риска в условиях традиционных поисково-разведочных систем ограничены, поскольку данный вариант коррекции не в состоянии нейтрализовать главный источник неслучайных погрешностей – несоответствие формы и размеров сети измерений параметрам структуры ПКЗ. Тем не менее, критический анализ зарубежного и отечественного опыта показывает, что путем использования перечисленных приемов как по отдельности, так и в различных сочетаниях может быть достигнута лишь частичная минимизация погрешностей [7].

Математический аппарат геостатистики также предполагает корректную оценку среднего в блоке. Она осуществляется путем минимизации дисперсии за счет оптимальной интерполяции (определения весовой функции) геологоразведочных данных. Здесь нет явного разделения общей изменчивости на составляющие случайную и неслучайную, и один из наиболее пригодных для практического использования аппарат построен на основе идеализированной схемы изотропной изменчивости признака (схема де-Вийса). Он предполагает расчет дисперсий и ковариаций по пробам и в объемах оцениваемых блоков в зависимости от коэффициента абсолютного рассеяния изучаемого признака, а также от геометрии проб, сети наблюдений и величины оцениваемого пространства. При этом расчет суммарной дисперсии рассматривается как последовательное «восхождение» от объема пробы до объема оцениваемого пространства в условиях постепенного изотропного убывания ковариации от точки измерения к его периферии. На этой основе разработаны различные модификации непрерывного и дискретного крайгинга как моделей учета весовых функций, использование

которых для нахождения наилучших оценок среднего в блоке позволяет учесть данные в пробах, расположенных внутри блока и за его пределами.

Однако в условиях прерывистых ПКЗ, обладающих многоуровневым строением, применение геостатистических моделей ограничено. Для рудных тел с повышенной контрастностью ПКЗ возможно применение лишь той части геостатистики, где рассматриваются ситуации, нетипичные для изотропной схемы де-Вийса. Имеются в виду условия с наличием значительного влияния «эффекта самородков». Но для этого необходима специальная теоретическая проработка этого вопроса с учетом уровня строения ПКЗ.

В условиях, когда оценить адекватность системы измерений и внутренней структуры объекта не представляется возможным, а сам опыт фиксирует наличие систематической ошибки, часто в качестве способа эффективной коррекции расчетного среднего используют поправочные коэффициенты. Как правило, они вводятся в те определенные объемы промышленных запасов, где количественные характеристики систематических погрешностей становятся устойчивыми. Такие коэффициенты могут быть определены на основе сопоставления данных разведки и эксплуатации, включающей детальное изучение внутреннего строения объекта по разведочным и эксплуатационным данным и результатам специальной системной детализации. Накопленная при этом информация позволяет затем воспроизвести системно-структурную модель ПКЗ в рудном теле или его части и использовать ее в качестве основы для установления причинности, величины и структуры погрешностей аналогии в условиях конкретной разведочной системы путем имитации ее применения в различных вариантах пространственного положения относительно модели ПКЗ. Только после определения интегральной величины и знака систематической погрешности и того объема блока, в кото-

ром она обретает устойчивость, можно определить величину поправочного коэффициента и условий его оптимального использования.

Наш опыт подавления систематических погрешностей разведки путем введения поправочных коэффициентов по предложенной схеме был реализован на Куранахском золоторудном месторождении еще в 70-х годах прошлого столетия. Данный вариант оказался наиболее простым и достаточно эффективным, поэтому сразу же был принят к внедрению. Предложенная модель расчета и практического использования поправочных коэффициентов осуществляла интегральную коррекцию, то есть одновременно учитывала влияние и прерывистости, и нелинейности ПКЗ. При этом проявились преимущество и недостаток этой модели. С одной стороны, простота операции, а с другой – ограниченность функции управления, негибкость. Тем не менее положительный эффект ее применения, особенно при коррекции качества руды в больших объемах, доказан опытом работы комбината «Алданзолото». В итоге проблема «неотхода» содержания металла по данным эксплопробования в сравнении с данными фабрики была снята.

Есть еще одно обстоятельство, связанное с использованием подобной коррекции разведочных данных. Учитывая тенденцию завышения средних содержания золота в относительно богатых промышленных блоках (по данным разведки) и тенденцию занижения этого показателя в относительно бедных или не промышленных блоках, логично наряду с понижающей поправкой в первом случае вводить повышающую поправку к среднему содержанию во втором случае. Опыт эксплуатации подтверждает это, особенно применительно к объектам с высокой контрастностью ПКЗ.

Таким образом, рассмотренные приемы минимизации дисперсии оценки среднего объединяет общее для всех их обстоятельство, заключающееся в том, что с их помощью можно лишь как-то

повысить эффективность количественной обработки уже полученных каким-то образом исходных данных. Эти приемы никак не влияют на систему отбора исходной информации. Выше нами был сделан акцент на том, что основная причина появления всех погрешностей заключается в неадекватности традиционно применяемых систем отбора информации и природного распределения золота в изучаемых и осваиваемых объектах. Поэтому пределы возможной коррекции погрешностей аналогии у них ограничены самой системой наблюдений.

**5. Неадекватность геометрических параметров традиционно используемых форм и размеров блоков при оконтуривании и подсчете запасов промышленных руд параметрам природной прерывистости ПКЗ в рудных телах и зонах.** Опыт сравнения данных разведки и эксплуатации подобных золоторудных месторождений показал, что геометрические параметры традиционных поисково-разведочных систем не адекватны геометрическим параметрам структурных каркасов фрактальных кластеров, контролирующих распределение золота в пространстве рудных тел и месторождений. На стадии поисков это приводит к превалированию вероятности пропуска промышленных объектов и, как правило, к систематическим ошибкам в определении оценочных показателей на стадии их разведки и промышленного освоения.

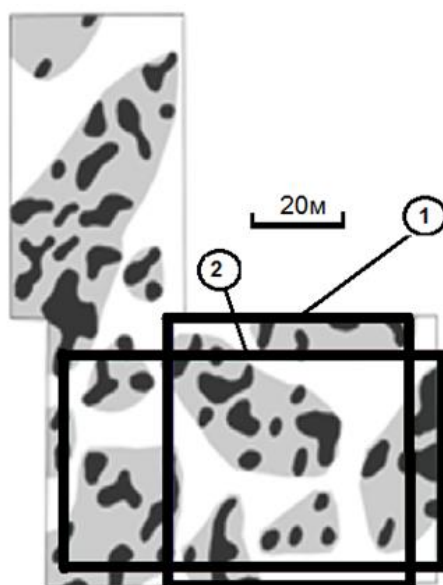
На рис. 4, в табл. 2 показан пример, раскрывающий механизм формирования тенденциозного риска на стадии разведки (или эксплуатационной разведки). Для жильных рудных тел в процессе разведочных работ на их вертикальных (или горизонтальных) проекциях формируются квадратные или прямоугольные блоки, традиционно принятые размеры которых составляют 50×50, 50×100, 25×25 м или другие кратные этим размерам. Информация по опробованию таких блоков сосредоточена по их периметру.

При подсчете запасов средние характеристики мощности промышленной части и среднего содержания металла определяются по данным периметрового опробования и не всегда будут адекватными истинному содержанию внутри блока. Степень соответствия будет зависеть от формы, размеров и пространственной ориентировки блока относительно распределения дискретных неоднородностей ПКЗ, несущих основной запас металла в блоке. В приведенном примере (см. рис. 4, табл. 2) видно, что в наугад выбранных блоках 1 и 2 в условиях воспроизведенной по данным эксплуатационного опробования структуры ПКЗ одного из рудных тел Коневинского месторождения подсчитанные запасы окажутся заниженными. Практика показывает, что вышеприведенные традиционно используемые параметры блоков чаще всего несут завышенные запасы. Но при этом следует иметь в виду, что вклад в общую систематическую погрешность оценки запасов в блоке вносит не только неадекватное отображение объемных долей основных металлонесущих неоднородностей, но и количественные характеристики содержаний металла в этих неоднородностях, где работают, как было показано выше, свои причины.

Таким образом, рассмотренные проблемные вопросы тесно переплетаются между собой и их эффективное решение возможно лишь на основе проведения комплексных исследований, учитывающих их взаимосвязь.

На основе вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1. Наиболее ярко проявленная на золоторудных месторождениях разномасштабная (многоуровневая) прерывистость оруденения является главной помехой в оптимальном решении проблемы повышения эффективности геолого-методического обеспечения технологий поисков, разведки и промышленного освоения объекта. При существующем факте неадекватности геометричес-



*Рис. 4. Влияние структуры ПКЗ на достоверность определения содержания металла в блоках по данным опробования по их периметру при различных размерах и формах в условиях закономерно прерывистого ПКЗ (проекция рудного тела на вертикальную плоскость, месторождение Коневинское, Восточные Саяны)*

**Таблица 2**

**Модельный пример сопоставления данных разведки и эксплуатации в зависимости от геометрических параметров блоков, по которым мог быть осуществлен подсчет запасов в условиях прерывистого ПКЗ**

Блок	Доля пространства, несущего основной запас металла, %		Относительная ошибка, % $\frac{ПБ-БПБ}{БПБ}$
	Периметр блока (ПБ) (данные разведки)	Боковая поверхность блока (БПБ) (данные эксплуатации)	
1	19,0	20,0	-5,0
2	25,0	28,0	-11,0

ких параметров иерархически структурированной системы прерывистости природного объекта параметрам традиционно применяемой сети поисков, разведки и опробования, включая и технологию подготовки проб к проведению аналитических измерений, не обеспечивается главное требование – достижение сквозной представительности всей системы измерений в соответствии с иерархической структурой прерывистости промышленного рудного объекта, без чего корректно выявить и геометризовать его вообще невозможно.

2. Используемые приемы коррекции последствий влияния факта неадекватности не определяют объективное ре-

шение проблемы эффективного геолого-методического обеспечения поисково-разведочных и эксплуатационных технологий и приводят лишь к частичной нивелировке этих последствий. Адекватное решение может быть получено лишь при условии использования такой поисково-разведочной технологии и соответствующего геолого-методического ее обеспечения, которая способна обеспечить сквозную представительность всей сопровождающей ее системы измерений.

*Статья написана по результатам выполнения научно-исследовательской работы № 1418 в рамках госзадания Министерства образования и науки РФ ГЗ № 2014/53 за 2014 год.*

## Библиографический список

1. Каждан А.Б. Методологические основы разведки полезных ископаемых. М.: Недра, 1974. 271 с.
2. Четвериков Л.И. Теоретические основы разведки недр. М.: Недра, 1984. 160 с.
3. Ткачев Ю.А., Шеин А.А. Обработка проб полезных ископаемых. М.: Недра, 1987. 190 с.
4. Куликов А.А. Опробование золотоносных конгломератов (методика оценки золотоносности). Новосибирск: Наука, 1981. 135 с.
5. Бордонос В.П., Ли Л.В. К методике промышленной оценки золотого оруденения жильно-прожилковых зон на примере месторождений Енисейского
- кряжа // Труды СНИИГТИМС. Вып. 144. Красноярск, 1974. С. 147–152.
6. Денисов С.А., Архипкина Т.Д., Володин А.Н. Вопросы достоверности опробования и разведки рудных месторождений. Ташкент: Изд-во ФАН УзССР, 1974. 83 с.
7. Филонюк В.А. Основы управления факторами риска при освоении месторождений полезных ископаемых: учеб. пособие. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2014. 114 с.
8. Патушинская И.Л. Поведение золота при истирании золотосодержащих проб // Обогащение руд. Иркутск: Изд-во ИПИ, 1985. С. 85–89.

## References

1. Kazhdan A.B. *Metodologicheskie osnovy razvedki poleznykh iskopaemykh* [Methodological bases of mineral exploration]. Moscow, Nedra Publ., 1974. 271 p.
2. Chetverikov L.I. *Teoreticheskie osnovy razvedki nedr* [Theoretical foundations of subsoil exploration]. Moscow, Nedra Publ., 1984. 160 p.
3. Tkachev Yu.A., Shein A.A. *Ob-rabotka prob poleznykh iskopaemykh* [Mineral sample processing]. Moscow, Nedra Publ., 1987. 190 p.
4. Kulikov A.A. *Oprobovanie zolotonosnykh konglomeratov (metodika otsenki zolotonosnosti)* [Testing of gold-bearing conglomerates (gold content valuation methodology)]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1981. 135 p.
5. Bordonosov V.P., Li L.V. K metodike promyshlennoi otsenki zolotogo orudneniya zhil'no-prozhilkovykh zon na primere mestorozhdenii Eniseiskogo kryazha [On the methods of commercial evaluation of vein-veinlet zone gold mineralization on example of Yenisei Ridge deposits].
- Trudy Sibirskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta geologii, geofiziki i mineral'nogo syr'ya* [Proceedings of Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Raw Materials], V. 144. Krasnoyarsk, 1974. P. 147–152.
6. Denisov S.A., Arkhipkina T.D., Volodin A.N. *Voprosy dostovernosti oprobovaniya i razvedki rudnykh mestorozhdenii* [Problems of ore field testing and exploration reliability]. Tashkent, FAN Publ., 1974. 83 p.
7. Filonyuk V.A. *Osnovy upravleniya faktorami riska pri osvoenii mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh* [Fundamentals of risk factor management under mineral deposit development]. Irkutsk, IrGTU Publ., 2014. 114 p.
8. Patushinskaya I.L. *Povedenie zolota pri istiranii zolotosoderzhashchikh prob* [Behavior of gold under gold ore sample bucking]. *Obogashchenie rud* [Mineral processing]. Irkutsk, IPI Publ., 1985, pp. 85–89.

Статья поступила 08.06.2016 г.  
Article received 08.06.2016.