

О методике определения близких к истинным содержаниям золота в рудных телах

В.О.КОНЫШЕВ (Федеральное государственное унитарное предприятие Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ФГУП ЦНИГРИ); 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1)

В завершеном виде охарактеризована методика определения близких к истинным средним содержаниям золота в рудных телах по балансу металла в продуктах обогащения групповых проб, составленных из полных масс рядовых проб рудных пересечений. Методика предназначена для повышения достоверности оценки прогнозных ресурсов на стадии поисков и как способ контроля качества рядового опробования на других стадиях геологоразведочных работ на объектах с крайне неравномерным распределением крупного золота.

Ключевые слова: рудное тело, рудное пересечение, рядовая проба, групповая проба, лабораторная технологическая проба (ЛТП), достоверность опробования, прогнозныe ресурсы.

Конышев Вилли Оттович



villi.konishev@gmail.com

Method of true gold grade determination in orebodies

V.O.KONYSHEV (Federal State Unitary Enterprise Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, FSUE TsNIGRI)

Method of actual average gold grade determination in orebodies in terms of metal balance in beneficiation products of bulk samples composed of the full masses of run-of-mine samples from exploration intercepts is characterized in detail. The method is intended to improve reliability of inferred resource evaluation at the prospecting stage and as a control of run-of-mine sampling quality at other exploration stages within targets with extremely irregular distribution of coarse gold.

Key words: orebody, exploration intercepts, run-of-mine sample, bulk sample, laboratory technological sample (LTS), sampling reliability, inferred resources.

Для повышения достоверности оценки прогнозных ресурсов рудопроявлений с бонанцевым распределением золота В.О.Конышев, С.С.Вартанян, А.Г.Горелов разработали «Способ определения средних содержаниям золота в рудных телах», признанный изобретением и защищенный патентом RU № 2383889 С1 от 10.03.2010 года [12].

Суть запатентованного способа – уточнение содержаниям золота в золоторудных объектах по балансу металла в продуктах обогащения групповых проб, составленных из полных масс рядовых проб рудных пересечений. В групповых пробах состав руды усредняется и становится менее зависим от гнездового распределения золота, крупности его выделений, наличия включений пустых пород и некондиционных руд в крупнообъемных рудных телах и минерализованных зонах.

По групповым пробам предложенным способом успешно решается основная задача опробования – определение близких к истинным содержаниям золота в рудных пересечениях, рудных блоках, телах, минерализованных зонах и их совокупностях с исключением

систематических и случайных погрешностей определения содержаниям золота в единичных рядовых пробах.

Если ранее бонанцы и гнезда золота размерами до первых метров по падению и простиранию и до первых сантиметров по мощности, нередко проявленные в районах с крупными россыпями золота, обычно рассматривались как самостоятельные тела для кустарной добычи, то усреднением бонанцев запатентованным способом могут быть околонтурены крупнообъемные рудные тела в минерализованных зонах.

Примером служит опытно-промышленная отработка рудных блоков жилы Стержневой месторождения Федоровское-1 [6, 8, 11, 14], показавшая, что бонанцы со средним содержанием 1850 г/т составили 4,5% объема жилы и 99,4% запасов золота в жиле, имеющей среднюю мощность 0,7 м. Бонанцы, с учетом невысоких концентраций золота в кварце между ними, определили средние содержания на уровне 85–97 г/т в жиле. Такое богатство позволяет в десятки раз «разубожить» жилу, ее оперяющие прожилки и сателлиты минерализованными породами зоны, также крайне неравномерно

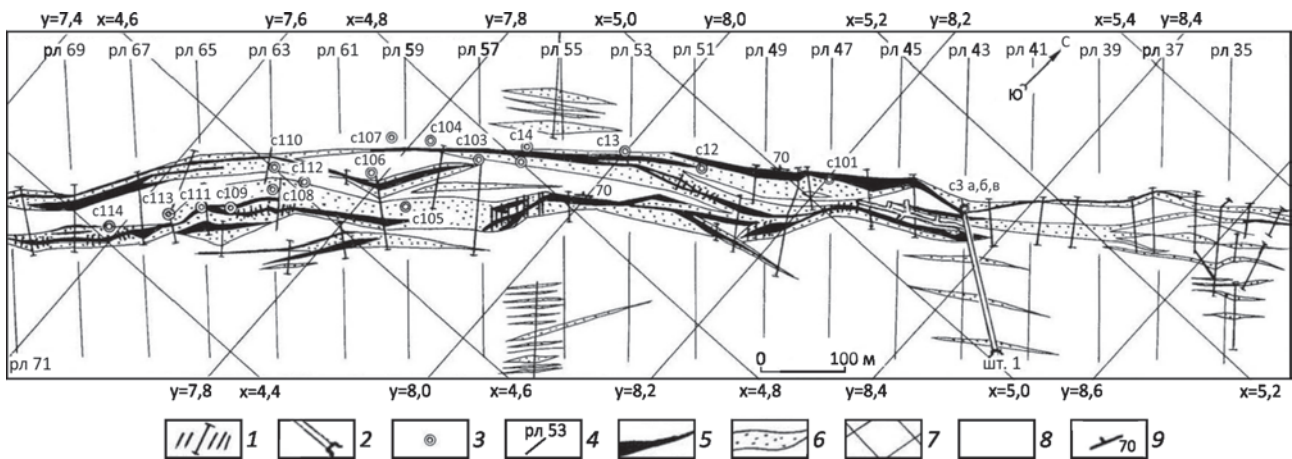


Рис. 1. Изменения параметров минерализованных зон месторождения Федоровское-1 при оконтуривании рудных тел по бортовым содержаниям 0,8 и 0,2 г/т. По В.О.Конышеву, Е.В.Савостьянову, Г.Н.Власову [15] с дополнениями и изменениями автора:

1 – линии бороздowego опробования по разведочным канавам и траншеям; 2 – подземные горные выработки; 3 – разведочные скважины; 4 – система разведочных линий; 5 – рудные тела (средняя мощность 4 м и среднее содержание золота 3,7 г/т), оконтуренные при бортовом содержании золота 0,8 г/т, представленные зонами прожилково-вкрапленных золото-сульфидно-кварц-анкеритовых руд со стержневыми золото-кварцевыми жилами и оперяющими прожилками в брекчированных песчаниках; 6 – крупнообъемная залежь (средняя мощность 66 м и среднее содержание 1,13 г/т), оконтуренная при бортовом содержании золота 0,2 г/т, представленная прожилково-вкрапленными золото-сульфидно-кварц-анкеритовыми рудами в рудоносном горизонте брекчированных грауввакковых песчаников с прослоями черных сланцев, известняков и силлами андезитов во флишевой толще; 7 – координатная сетка; 8 – флишевая известняк-песчаник-алевролит-аргиллитовая углеродистая толща раннего кембрия с силлами андезитов, несущая жильную и прожилково-вкрапленную золоторудную минерализацию в горизонтах брекчированных терригенных пород; 9 – элементы залегания; X, Y – цифровые значения координат, км

золотоносными при оконтуривании крупнообъемных рудных тел, пригодных для отработки рудником с высокой производительностью и предотвращением значительных потерь золота в недрах.

Соответственно, по бортовому содержанию 0,8 г/т на этом месторождении были оконтурены 7 субпараллельных рудных тел средней мощностью 4 м и средним содержанием золота 3,7 г/т (рис. 1). При бортовом содержании 0,2 г/т выявленные рудные тела слились в одну субсогласную с напластованием пород крупнообъемную залежь протяженностью 1560 м средней мощностью 66 м и средним содержанием 1,13 г/т, установленным по результатам пробирных анализов свыше 5 тыс. бороздовых и керновых проб [6, 11, 15]. Для оконтуренной крупнообъемной залежи оценены авторские прогнозные ресурсы категории P_1 – 59,2 т золота до глубины 225 м. До средней глубины зоны окисления (25 м) подсчитаны авторские запасы категории C_2 – 6,4 т золота.

На месторождении Федоровское-1 при заверке бороздовых проб крупнообъемными и валовыми пробами, с определением в заверочных пробах содержаний золота по балансу металла в продуктах обогащения, установлено занижение в 1,5–5,6 раза содержаний золота рядовым опробованием, в зависимости от богат-

ства руд [8–10]. Подобное занижение искажает оценку прогнозных ресурсов и подсчет запасов на аналогичных рудных объектах с крупным золотом во многих золотоносных районах Алтае-Саянской, Енисейской, Байкало-Патомской [2] и других провинций. Для повышения достоверности оценки рудных объектов разработаны изложенные ниже методические рекомендации по определению близких к истинным содержаниям золота в рудных телах по балансу металла в продуктах обогащения групповых проб, составленных из полных масс рядовых проб рудных пересечений.

Методика включает следующие операции:

1. Отбор и обработку бороздовых и керновых проб с выделением из них аналитических проб и навесок для пробирных анализов.

2. Производство пробирных анализов по навескам аналитических проб.

3. Оконтуривание рудных пересечений по различным бортовым содержаниям с выбором оптимального варианта.

4. Составление групповых лабораторных технологических проб из полных масс рядовых проб рудных пересечений и документации к ним с расчетом средне-взвешенных содержаний ($C_{ср}$) по пробирным анализам.

5. Технологические исследования групповых ЛТП с разработкой рациональных схем обогащения и определением близких к истинным ($C_{ист}$) содержаний золота по балансу металла в продуктах обогащения.

6. Расчет достоверности ($D=C_{сп}/C_{ист}$) рядового опробования и коэффициента занижения ($K_{д}=C_{ист}/C_{сп}$) близких к истинным содержаний золота.

7. Разработка и уточнение статистических показателей зависимости близких к истинным содержаний ($C_{ист}$) в рудных телах от средневзвешенных содержаний ($C_{сп}$), вычисленных по пробирным анализам рядовых проб.

8. Определение близкого к истинному среднего содержания золота по всей совокупности ЛТП каждого изученного золоторудного объекта для легитимной оценки прогнозных ресурсов с высокой достоверностью.

9. Переоценка прогнозных ресурсов ранее выявленных объектов по статистическим формулам.

Методические приемы при проведении перечисленных операций приведены ниже.

Отбор и обработка бороздовых и керновых проб с выделением из них аналитических проб и навесок для пробирных анализов. Отбор рядовых проб при проведении геологоразведочных работ (ГРП) осуществляется по общепринятой методике [2, 3, 16, 19, 21–26] с применением современного оборудования по выпиливанию и выкалыванию материала проб.

Для рядового опробования золоторудных объектов с крайне неравномерным содержанием золота обычно используется сечение бороздовых проб 5×10 см². Специфика рассматриваемой методики заключается в необходимости производства непрерывного бороздового опробования пройденных горных выработок, поскольку рудные интервалы минерализованных зон с крайне неравномерным гнездовым и бонанцевым распределением крупного золота по внешнему виду мало отличаются от слабоминерализованных вмещающих пород и включений некондиционных руд в крупнообъемных залежах, контуры которых определяются только по результатам опробования.

Прослеживание минерализованных зон на глубину осуществляется колонковыми снарядами с ходовым диаметром 76 мм. Это позволяет получить столбик керна диаметром примерно 50 мм со средней массой одного погонного метра около 5,5 кг, что примерно в 2 раза меньше массы бороздовой пробы такой же длины. Для повышения представительности кернового опробования руд с крупным золотом рекомендуется в пробы отбирать не половинку, а весь столбик керна, за исключением небольших типичных образцов, предусмотренных методикой сокращения керна [3, 16].

Для оценки представительности рядового опробования рекомендуется несколько типичных рудных пересечений опробовать двумя сопряженными рядами бороздовых проб до момента ликвидации поверхностных

горных выработок. Это позволит с помощью математических расчетов сопоставить средние содержания в отдельных рядах бороздовых проб с содержаниями в удвоенном ряду. Представительность кернового опробования оценивается с помощью бурения единичных скважин снарядом диаметром 93 мм, керн которых обычно используется для составления технологических проб. Масса метрового столбика керна при увеличенном диаметре примерно в 2 раза превышает массу керна основного диаметра и сопоставима с массой бороздовой пробы такой же длины. Керн заверочного диаметра распиливается вдоль оси на две половинки.

Пробоподготовка и аналитические исследования материала сопряженного ряда бороздовых проб и вторых половинок керна увеличенного диаметра должны выполняться только после получения результатов анализов по основному ряду проб и в контурах, установленных по основному ряду.

В результате пробоподготовки [2, 3, 6, 8, 16, 19, 22, 24], заключающейся в последовательном измельчении и сокращении материала в соответствии с известной формулой Ричардса-Чечетта, из каждой рядовой пробы формируется навеска массой около одного кг. Из нее после измельчения до -200 меш (менее 0,074 мм), выделяется аналитическая проба и ее дубликат массой порядка 0,5 кг. Аналитическая проба направляется на анализы, а ее дубликат бессрочно хранится. В последние десятилетия для дробления, сокращения, измельчения и отбора аналитических проб используются механизированные пробоподготовочные комплексы фирмы ROCKLABS большой производительности, малооперационные, легко доступные для очистки [21, 24].

Полные массы оставшегося материала каждой рядовой пробы после отбора аналитических проб и дубликатов используются для составления групповых ЛТП, характеризующих усредненный состав рудных тел или разведанных блоков [5, 9, 10, 12, 13]. Аналогичный материал сопряженных рядов бороздовых проб и вторых половинок керна используется для составления дубликатов ЛТП.

Производство пробирных анализов по навескам аналитических проб. Поступивший в лабораторию материал каждой аналитической пробы массой 0,5 кг перемешивается многократным перекачиванием на клеенке от одного угла к другому. Затем, поднятием за концы клеенки, он собирается в центре и разравнивается в тонкий диск вращением широкой линейки, помещенной ребром в вершину конуса.

Полученный диск материала шаблоном делился на квадраты. Из квадратов в шахматном порядке совком отбираются порции на всю толщину слоя, из которых для пробирного анализа формируются 2 навески по 50 г каждая.

Согласно отраслевому стандарту ОСТ 41-08-212-04 пробирные анализы по парам параллельных навесок повторяются до тех пор, пока не будут получены хотя бы

2 значения, различающиеся менее чем на 20%. Среднее содержание по этим двум сближенным значениям пробирного анализа лаборатория официально выдает заказчику. Однако оно может в несколько раз отличаться от содержаний, определенных по минимальным и максимальным значениям.

Например, сопоставление средних результатов по выборке из 44 проб по двум парам основных и повторных анализов руд месторождения Федоровского-1 [8], показало: по ближайшим значениям – 4,65 г/т; по минимальным значениям – 3,38 г/т (коэффициент 0,73); по максимальным значениям – 38,89 г/т (коэффициент 8,36).

Каждый из перечисленных результатов пробирных анализов не может быть неверным, поскольку содержание металла определяется по массе корточка выплавленного золота. Разнобой анализов означает, что в подготовленных аналитических навесках количество золота было неодинаковым.

Частицы золота, извлеченные из многочисленных групповых ЛТП, показали, что они не измельчаются, а только деформируются в кольцевых, стержневых и шаровых мельницах и центробежных истирателях [5, 9]. Как правило, содержания золота занижаются пробирными анализами из-за низкой вероятности попадания его зерен величиной более 0,22 мм в аналитические навески руды массой 50 г, не являющиеся для них представительными или однородными в соответствии с формулой Ричардса-Чечетта.

Методическими рекомендациями ГКЗ [17] и требованиями ОСТ 41-08-212-04 со стороны внешней лаборатории предусмотрен контроль за результатами анализов по классам содержаний основной лаборатории. При расхождении анализов свыше 20% выполняется арбитражный контроль. По результатам арбитражных анализов для исключения абсолютных погрешностей предусмотрено введение коэффициентов коррекции на низкую достоверность рядовых анализов для отдельных классов содержаний. Такие коэффициенты разрешается использовать при подсчете запасов, согласно методическим рекомендациям ГКЗ [17] только при условии, если арбитражные анализы выполняются по более совершенной методике, чем рядовые и контрольные пробирные анализы.

Для предотвращения разнобоя значений пробирных анализов в параллельных навесках проб нередко используется методика предварительного концентрирования золота из части или полной массы каждой рядовой пробы [2, 5, 18, 20, 21–26]. Полученными при этом более достоверными средними содержаниями могут заменяться менее достоверные [24] при подсчете запасов без ввода коэффициентов. Так, при доразведке Наталкинского месторождения для открытой добычи руды [21] ГКЗ утверждены запасы 1800 т золота. Из них 200 т получены за счет повышения среднего содержания, определенного по методике предварительного

концентрирования золота из дубликатов аналитических проб массой 0,5 кг. Вновь полученные значения были признаны более достоверными, чем содержания, определенные по результатам проведенных ранее пробирных анализов.

Однако чаще всего, с учетом ограничения «урганских» значений по известным формулам [3, 4], как следует из работ А.И.Романчука с соавторами [24] и ряда зарубежных коллег [25, 26], методика с предварительным концентрированием золота из рядовых проб, обычно показывает средние содержания в рудных телах, сопоставимые с рассчитанными по пробирным анализам.

Оконтуривание рудных пересечений по различным бортовым содержаниям с выбором оптимального варианта. Специфика оконтуривания крупнообъемных рудных тел с гнездовым распределением золота заключается в обособлении объема, в котором встречаются бонанцы и гнезда с крупным золотом, как правило, расположенные не только в золото-кварцевых жилах и прожилках, но и в обширном ореоле золотоносных метасоматитов с прожилково-вкрапленной минерализацией.

Оконтуривание рудных залежей производится на основании пробирных анализов рядовых проб по вариантам бортовых содержаний с учетом других элементов кондиций или оценочных параметров [4, 19]. Определение контуров крупнообъемных тел с бонанцами золота производится чаще всего по порогу чувствительности пробирного анализа, составляющему 0,2 г/т при весовом определении массы выплавленных корточек золота на аналитических весах. Применение атомно-абсорбционного анализа корольков с корточками золота, подняло чувствительность пробирных анализов до 0,003 г/т. Это позволяет оконтуривать минерализованные зоны метасоматитов по содержаниям 0,1–0,01 г/т и ниже.

Следует отметить, что значение выбранного порога бортового содержания для оконтуривания залежей не является истинным, поскольку при низких концентрациях, как правило, количество золота занижается пробирными анализами, иногда более чем в 10 раз [5, 13].

Важно предусмотреть несколько вариантов оконтуривания минерализованных зон и залежей с выделением сортов убогих, бедных, рядовых, богатых и очень богатых руд в отдельные составные части групповых ЛТП, предназначенных для самостоятельных исследований. В дальнейшем значения бортовых содержаний для балансовых и забалансовых руд определяются по вариантным экономическими расчетами при геолого-экономической оценке.

Составление групповых лабораторных технологических проб из полных масс рядовых проб рудных пересечений и документации к ним с расчетом средневзвешенных содержаний ($C_{ср}$) по пробирным анализам. Групповая ЛТП, предназначенная для

оценки параметров извлечения золота различными методами обогащения, разработки рациональной схемы обогащения, определения близкого к истинному содержания золота и степени его занижения рядовым опробованием, составляется из полных масс 30 и более рядовых проб одного или нескольких рудных пересечений для статистически надежной характеристики усредненного состава рудного тела или их совокупности.

При указанном количестве бороздовых проб масса групповой ЛТП будет свыше 300 кг, что обычно в 2 раза меньше при аналогичном количестве керновых проб [10]. Верхний предел массы не ограничивается. Согласно формуле Ричардса-Чечетта, ЛТП с подобными массами представительны или однородны даже для самородков величиной более 12–18 мм.

Групповые ЛТП составляются из полных масс раздробленного материала включенных в них рядовых проб, после отбора из них аналитических проб и производства пробирных анализов.

Каждая рядовая проба, предназначенная для составления групповой ЛТП, дополнительно просушивается и взвешивается в упаковке с последующим вычитанием из полученной массы веса пробного мешка. Во избежание потерь золота материал рядовых проб остается в своих пробных мешках, снабженных наружными и внутренними этикетками, и ни в коем случае из них не высыпается и не сыпается в кучу для перемешивания.

Мешки с материалом рядовых проб группируются в ЛТП и их относительно самостоятельные части, предназначенные для различных исследований. Мешки с рядовыми пробами упаковываются в более крупную тару, которая дополнительно маркируется.

Следует помнить, что для предотвращения искажения содержаний при крупном золоте не следует формировать ЛТП из расчетных навесок частных проб, строго пропорциональных их длинам. Небольшие недостатки масс по одним пробам компенсируются некоторыми избытками масс по другим. При этом средневзвешенное на массу содержание в допустимых пределах (до 10–20%) обычно отличается от содержания, средневзвешенного на длину проб.

Для каждой ЛТП оформляется паспорт и акт отбора, которые подписываются составителями и утверждаются руководителем организации. В паспорте групповой ЛТП указывается цель отбора, обоснование необходимости выделения в ее составе нескольких относительно самостоятельных частей, предназначенных для различных исследований, краткая геологическая характеристика объекта и вещественного состава руд, схема расположения включенных в ЛТП рядовых проб, схема обработки материала рядовых проб, дата поверки, марка и номер весов для взвешивания рядовых проб, расчет массы ЛТП и средневзвешенного содержания в табличной форме, заключение о представительности ЛТП, сведения об упаковке и маркировке, порядок

транспортировки и адрес технологической организации, где будет проведено исследование ЛТП.

Технологические исследования групповых ЛТП с разработкой рациональных схем обогащения и определением близких к истинным (Сист) содержаний золота по балансу металла в продуктах обогащения.

При разработке методики определения Сист золота в рудных телах автором проведены испытания 41 ЛТП с использованием полупромышленной гравитационной установки непрерывного действия ОАО «Тульское НИГП» (рис. 2).

На этой установке руда крупностью –2 мм из бункера через дозатор подается питателем для измельчения в мельницу, производительность которой по руде составляет 50–60 кг/ч.

Слив мельницы крупностью 70–75% класса –0,074 мм поступает на отсадочную машину с получением концентрата и хвостов отсадки. Последние направляются в спиральный классификатор.

Пески классификатора (+0,2 мм) возвращаются шнековым питателем в мельницу, а слив 1 идет на обогащение в короткоконусный гидроциклон (ККГЦ).

Концентрат ККГЦ поступает на концентрационный стол с получением трех конечных продуктов: золотой «головки» 1, концентрата гравитации 1 и хвостов 1 гравитации (стола). Промпродукт стола возвращается шламовым насосом в классификатор.

Из золотой «головки» 1 отмывается шлик и из него под бинокляром выделяется самородное золото крупностью +0,14 (0,25) мм. После отбора частиц золота этот шлик возвращается в исходный продукт обогащения.

От слива ККГЦ и хвостов стола 1 через каждые 30 мин отбираются по 3 л пульпы для составления средних проб. После сгущения в ёмкостях определяются объёмы и плотности пульпы, и рассчитываются массы этих продуктов. Концентрат 1 и золотая «головка» 1 целиком сушатся и взвешиваются.

Концентрат отсадки перечищается на концентрационном столе 2. В результате получают следующие продукты: золотая «головка» 2, концентрат гравитации (стола) 2, хвосты 2. Промпродукт 2 возвращается в классификатор и подается шнеком на доизмельчение. Слив ККГЦ (слив 2) сгущается, сушится и анализируется на золото.

Из шлихов золотой «головки» 2 и концентрата 2 также отбирается самородное золото крупностью +0,14 (0,25) мм, а остатки шлихов возвращаются в исходные концентраты.

По завершении испытаний проводится зачистка классификатора, мельницы, отсадочной машины и другого оборудования. Полученный от зачистки материал перечищается на концентрационном столе 3 с получением золотой «головки» 3, концентрата гравитации 3, промпродукта 3, хвостов 3. Из шлихов золотой «головки» 3 и концентрата гравитации 3 также выделяется самородное золото.

Выделенное из шлихов самородное золото рассеивается на ситах, а его фракции взвешиваются на аналитических весах в пробирной лаборатории. Это позволяет определить гранулометрический состав и массу золота в каждом концентрате. Средняя проба лигатурного золота оценивается по микронзондовым рентгено-спектральным определениям 30–50 зерен [7]. По средней пробе производится пересчет состава лигатурного золота на химически чистое.

От высушенных продуктов обогащения отбираются усредненные аналитические пробы массой около 0,7 кг. Они доизмельчаются в стаканах вибрационных истребителей до –200 меш. Из измельченного материала отбираются две аналитические навески массой по 50 г для пробирного анализа и две более представительные навески массой по 200 г для заверочного цианирования.

Для расчета близких к истинным содержаниям золота в первом случае принимаются средние значения пробирных анализов по двум сопряженным 50 г навескам каждого из продуктов обогащения. Количество химически чистого золота, извлеченного из продуктов обогащения, определяется произведением массы продукта на содержание в нем золота по пробирным анализам. Дополнительно учитывается лигатурное золото, извлеченное из концентратов, с учетом средней пробы.

Балансовое количество золота в групповой ЛТП определяется по сумме масс химически чистого золота во всей совокупности продуктов обогащения. Близкое к истинному содержание золота ($C_{ист}$) определяется делением балансового количества золота (в мг) на массу групповой ЛТП (в кг).

Учитывая методическую важность работы, осуществлялась заверка результатов пробирных анализов цианированием более представительных 400 г навесок большинства продуктов обогащения. Пример условий цианирования для концентратов и хвостов приведен в работах [9, 10]. Для удобства цианирования исходная заверочная навеска каждого продукта обогащения делится пополам (по 200 г), и каждая часть цианируется и анализируется отдельно.

В итоге от каждой навески продукта обогащения получают по 2 продукта: золотосодержащий раствор и кек цианирования. Иногда на углеродсодержащих рудах цианирование проводится в присутствии сорбента АМ-2Б. В этих случаях получается дополнительный третий продукт – сорбент с золотом. Содержания золота в растворах определяются атомно-абсорбционными анализами, а в хвостах цианирования и сорбенте – пробирными анализами.

Содержания в заверочных навесках рассчитываются по формуле:

$C = [C_1 \cdot 0,8 \text{ л} + C_2 \cdot 0,4 \text{ кг} + C_3 + C_4] : 0,4 \text{ кг}$, мг/кг (г/т), где:
 C_1 – среднее содержание золота в растворе, мг/л (г/т);
 C_2 – среднее содержание золота в хвостах цианирования, мг/кг (г/т);
 $C_3 + C_4$ – суммарное количество золота, извлеченного двумя навесками сорбента, мг. Для при-



Рис. 2. Общий вид установки ОАО «Тулское НИГП», использованной для полупромышленного гравитационного обогащения 41 ЛТП. Фото автора

родного типа окисленных руд, где сорбент не применяется, C_3 и C_4 в формуле имеют нулевые значения.

Близкие к истинным содержаниям золота в ЛТП, определенные по балансу металла с использованием результатов цианирования представительных навесок (400 г) продуктов обогащения ($C_{ист}^n$), обычно незначительно превышают таковые ($C_{ист}^m$), определенные по балансу металла с использованием результатов пробирных анализов продуктов обогащения (табл. 1). Среднее значение между ними $C_{ист}^m$ и $C_{ист}^n$ принимается в качестве близкого к истинному содержания ($C_{ист}$). По некоторым золотым «головкам» небольшой массы, полностью использованным на пробирную плавку, в заверочных балансовых таблицах используются данные пробирных анализов.

По результатам исследований 41 ЛТП в качестве рациональной и универсальной рекомендована гравитационно-цианистая схема обогащения для первичных малосульфидных и окисленных руд со свободным золотом, поскольку в таких рудах с гнездовым распределением крупных выделений золота присутствует значительное количество тонкого золота, неизвлекаемого гравитацией.

Рациональная схема включает измельчение руды, гравитационное обогащение в отсадочных машинах с перемешкой концентрата отсадки на концентрационных столах. Хвосты гравитационного обогащения после сгущения направляются на выщелачивание в цианистых растворах.

Эффективная работа отсадочной машины в голове гравитационного процесса при полупромышленных испытаниях делает излишней операции обогащения на ККГЦ и концентрационном столе всей массы руды.

1. Сопоставление средних содержаний золота, определенных по результатам рядового опробования (Сср) и по балансу металла (Сист) в продуктах гравитационного обогащения крупнообъемных и групповых проб рудопоявлений золотоносных районов Алтае-Саянской металлогенической провинции [14]

Наименование золоторудных объектов и характеризующих их ЛТП	Число и вид проб в составе ЛТП	Массы групповых ЛТП, кг	Средние содержания золота, г/т			Кд
			По пробирным анализам рядовых проб (Сср)	По балансу Au в продуктах обогащения ЛТП		
				Пробирные анализы (Сист ^н)	Данные цианирования (Сист ^н)	
1	2	3	4	5	6	7
Рудопоявления Ортон-Балыксинского золотоносного района Кузнецкого Алатау						
1. Месторождение Федоровское-1, рудный блок № 4С ₁	13 валовых и крупнообъемных, заверивших 82 бороздовые	36200	17,4	97,0	–	5,58
2. Месторождение Федоровское-1, полупромышленная ПТП № 10	1 валовая, заверившая 12 ямковых	23100	6,8	20,7	–	3,04
3. Месторождение Федоровское-1, ЛТП № 10	Групповая, из 14 бороздовых	100	5,09	14,35	–	2,82
4. Участок Кедровский, ЛТП № 1-Кедр	Групповая из 31 бороздовых	343,35	4,06	7,62	8,38	<u>1,88–2,06</u> 1,97
5. Участок Кедровский, ЛТП № 2-Кедр	Групповая из 97 бороздовых	948,93	1,50	2,27	2,60	<u>1,51–1,73</u> 1,62
6. Участок Чашкатский, ЛТП №1-Комсомол	Групповая из 26 бороздовых	292,45	0,78	1,67	1,77	<u>2,14–2,27</u> 2,20
7. Участок Кедровский, ЛТП №3-1-Кедр	Групповая из 68 бороздовых	603,58	1,24	1,31	1,38	<u>1,06–1,12</u> (1,09)
8. Участок Кедровский, ЛТП № 3-2-Кедр	Групповая из 39 бороздовых	327,53	0,08	0,49	0,54	<u>6,29–6,96</u> 6,62
9. Участок Кедровский, ЛТП № 3-Кедр	Групповая из 107 бороздовых	931,11	0,83	1,02	1,09	<u>1,24–1,31</u> 1,28
10. Участок Ортонский, ЛТП № 1-1-Ортон	Групповая из 28 бороздовых	253,75	1,37	1,57	1,60	<u>1,15–1,17</u> 1,16
11. Участок Ортонский, ЛТП № 1-2-Ортон	Групповая из 25 бороздовых	181,75	0,10	0,36	0,37	<u>3,54–3,69</u> 3,61
12. Участок Ортонский, ЛТП № 1-1,2-Ортон	Групповая из 53 бороздовых	435,5	0,84	1,06	1,08	<u>1,26–1,29</u> 1,27
13. Участок Аномальный, ЛТП № 3-Комсомол	Групповая из 40 керновых	160,66	0,13	0,91	1,15	<u>7,02–8,82</u> 7,92
14. Участок Пахомовский, ЛТП № 2-Комсомол	Групповая из 68 керновых без золотой головки 4	217,7	1,77	3,2562	3,34	<u>1,82–1,87</u> 1,85
15. Участок Пахомовский, ЛТП № 2-Комсомол	Групповая из 68 керновых с золотой головкой 4	218,5	1,82	6,38	6,46	<u>3,51–3,55</u> 3,53
16. Участок Кедровский, ЛТП № 5-1-Кедр	Групповая из 28 керновых без золотой головки 4	142,76	2,78	2,62	2,66	<u>0,94–0,96</u> 0,95
17. Участок Кедровский, ЛТП №5-1-1-Кедр	Групповая из 28 керновых с золотой головкой 4	143,20	2,87	4,34	4,38	<u>1,51–1,53</u> 1,52
18. Участок Кедровский, ЛТП № 5-2-Кедр	Групповая из 33 керновых	182,57	0,26	0,42	0,44	<u>1,62–1,69</u> 1,65
19. Участок Кедровский, ЛТП № 5-1,2-1-Кедр	Групповая из 61 керновых без золотой головки 4	325,33	1,37	1,38	1,41	<u>1,01–1,03</u> 1,02
20. Участок Кедровский, ЛТП №5-1,2-2-Кедр	Групповая из 61 керновых с золотой головкой 4	325,77	1,41	2,14	2,17	<u>1,52–1,54</u> 1,53

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
21. Участок Кедровский, ЛТП № 6-1-Кедр	Групповая из 50 керновых	214,41	1,27	1,62	1,66	$\frac{1,28-1,31}{1,30}$
22. Участок Кедровский, ЛТП № 6-2-Кедр	Групповая из 15 керновых	71,69	0,07	0,64	0,73	$\frac{9,14-10,42}{9,78}$
23. Участок Кедровский, ЛТП № 6-1,2-Кедр	Групповая из 65 керновых	286,10	0,97	1,37	1,43	$\frac{1,42-1,47}{1,44}$
Рудопроявление Покосное Шаманского рудного узла, Анзас-Кизасского золотоносного района Кандатской металлогенической зоны Западных Саян						
24. Покосное, ЛТП № 1-2-покос	Групповая из 35 бороздовых	363,60	0,74	1,71	1,36	$\frac{2,32-1,84}{2,08}$
25. Покосное, ЛТП № 1-1-покос	Групповая из 35 бороздовых	453,30	0,74	1,43	2,47	$\frac{1,93-3,34}{2,64}$
26. Покосное, ЛТП № 3-1-покос	Групповая из 111 бороздовых	1506,8	0,31 (0,28)	0,552	0,738	$\frac{1,78-2,38}{2,08}$
27. Покосное, ЛТП № 4-1-покос	Групповая из 31 бороздовых	401	0,49	0,852	1,046	$\frac{1,74-2,14}{1,94}$
28. Покосное, ЛТП № 5-1-покос	Групповая из 45 бороздовых	317,80	0,94	1,357	1,808	$\frac{1,44-1,92}{1,68}$
29. Покосное, ЛТП № 6-1-покос	Групповая из 91 керновых	467,46	0,37	0,927	0,891	$\frac{2,41-2,51}{2,45}$
30. Покосное, ЛТП № 7-1-покос	Групповая из 74 керновых	443,64	0,59	0,647	0,702	$\frac{1,10-1,19}{1,14}$
31. Покосное, ЛТП № 8-1-покос	Групповая из 35 керновых	183,83	0,49	0,671	0,762	$\frac{1,369-1,555}{1,462}$
32. Покосное, ЛТП № 8-2-покос	Групповая из 19 керновых	113,17	0,26	0,635	0,672	$\frac{2,44-2,58}{2,51}$
33. Покосное, ЛТП № 8-покос	Групповая из 54 керновых	297,0	0,40	0,657	0,727	$\frac{1,642-1,819}{1,731}$
Рудопроявления Успенское Верхнеамыльского рудного узла, Верхнеандреевское и Андреевское Хайлыкского рудного узла Кургушибинской металлогенической зоны Западных Саян						
34. Успенское, ЛТП № 1-Амыл	Групповая из 47 бороздовых	416,32	0,61 (1,083*)	0,742	0,563	$\frac{1,216-0,923}{1,069}$
35. Успенское, ЛТП № 2-1-Амыл	Групповая из 39 керновых	185,84	0,962	0,904	1,01	$\frac{0,940-1,05}{0,995}$
36. Успенское, ЛТП № 2-2-Амыл	Групповая из 39 керновых (аналит. навески)	32,32	0,928	1,01	1,020	$\frac{1,088-1,099}{1,094}$
37. Верхнеандреевское, ЛТП № 1-2-Хайлык	Групповая из 16 бороздовых	98,56	1,3	1,930	2,066	$\frac{1,485-1,589}{1,537}$
38. Андреевское, ЛТП № 2-1-Хайлык	Групповая из 32 керновых	184,92	(1,18)*	0,928	0,920	$\frac{0,786-0,780}{0,783}$
Золото-серебряное рудопроявление Водораздельное Алгаинско-Березовского рудного поля, Кабурчакского рудного узла, Тельбесского золото-серебро-железорудного района Горной Шории						
39. Зона Центральная, ЛТП № 1-Алгаин	Групповая из 23 бороздовых	191,7	1,174/10,836**	1,3/9,16**	1,535/17,95**	$\frac{1,11/0,85-1,18/1,66}{1,15/1,26}$
Ак-Мрасская минерализованная зона золото-кварцевых руд в березитизированных гранитоидах Тибечекского рудного поля Мрасского золотоносного района Горной Шории						
40. Ак-Мрасская зона, ЛТП № 1-Тибечек	Групповая из 33 бороздовых	343,3	1,675	2,163	2,344	$\frac{1,291-1,399}{1,345}$
41. Ак-Мрасская зона, ЛТП № 2-1-Тибечек	Групповая из 26 керновых	106,2	0,74	1,07	1,13	$\frac{1,45-1,53}{1,49}$

Примечание. * – по результатам спектрохимических анализов (заверенных позднее пробирными), при отборе материала для первоочередных спектральных анализов производился просев пробы с нарушением технологии обработки проб дроблением с последовательным сокращением, поэтому, использование значений по данной пробе проблематично; ** – данные по попутному серебру; здесь и далее – Кd – коэффициент занижения близких к истинным содержаниям золота: числитель – от-до, знаменатель – средний.

Полупромышленные испытания по гравитационно-цианистой схеме показывают извлечение до 50–65% золота в кондиционные гравикоонцентраты и до 45% золота – в цианистые растворы. После цианирования получаются отвальные хвосты с близкими к истинным содержаниями золота менее 0,2 г/т.

В итоге технологические исследования групповых проб большой массы на полупромышленной установке с рациональной комплектацией оборудования, наряду с оценкой технологических показателей обогащения руд и разработкой промышленной схемы обогащения, позволяют определить балансовое количество золота в ЛТП, рассчитать по нему близкое к истинному содержание ($C_{ист}$) и определить коэффициент занижения этого содержания рядовым опробованием (K_d).

Преимущества использования методики определения близких к истинным содержаниям в рудных телах по балансу металла в продуктах обогащения групповых ЛТП по сравнению с расчетом средних содержаний, полученных альтернативным методом предварительного концентрирования золота из каждой рядовой пробы [22, 24], характеризующей небольшую часть рудного пересечения, заключаются в следующем:

1. Быстрота процесса обогащения групповых ЛТП большой массы позволяет сократить время и деньги по сравнению с отдельным обогащением множества рядовых проб, не дающих полных технологических показателей для разработки рациональной схемы обогащения.

2. Повышается достоверность определения содержания золота в рудных телах за счет исключения влияния систематических и случайных погрешностей определения содержания золота в процессе обогащения частных проб. Существенно уменьшаются коэффициенты вариации и доверительные интервалы к оценкам средних содержаний.

3. За счет усреднения богатых и бедных руд в групповых пробах исключается необходимость ограничения значений «ураганных» рядовых проб «гипотетически» расчетами областей их влияния [4] на содержания золота в контурах рудных тел с гнездовым и бонанцевым распределением золота.

4. Без проведения заверки рядовых проб крупнообъемными и валовыми пробами на стадии поисковых работ определяются близкие к истинным содержания золота в минерализованных зонах и рудных телах, а на стадиях оценочных и разведочных работ осуществляется контроль достоверности пробирных анализов по совокупностям рядовых проб, характеризующих рудные тела и подсчетные блоки.

Расчет достоверности (D) рядового опробования и коэффициента занижения (K_d) близких к истинным содержаниям золота. Экспериментально определенные $C_{ист}$ в процессе технологических исследований 23 ЛТП рудопроявлений Ортон-Балыксинского золотоносного района (выборка 1) и 41 ЛТП (выборка 2) всей совокупности рудопроявлений

ряда рудных районов Алтае-Саянской провинции (см. табл. 1) сопоставлены с $C_{ср}$, рассчитанными по результатам пробирных анализов рядовых проб, полные массы которых использовались для составления ЛТП.

Сопоставления показали [13], что достоверность (вероятность или доля) определения рядовым опробованием близких к истинным содержаниям золота ($D=C_{ср}/C_{ист}$) колеблется в широких пределах и зависит от богатства руд. Коэффициент занижения рядовым опробованием близких к истинным содержаниям является величиной обратной достоверности ($K_d=C_{ист}/C_{ср}$). Зависимости D и K_d от $C_{ср}$ показаны на рисунках 3 и 4.

Полученная диаграмма зависимости D от $C_{ср}$ хорошо коррелируется с последовательными кривыми, описывающими процессы при гидродинамических исследованиях скважин. После нагнетания вещества в окружающую скважину породу до предела ее прочности (левая часть диаграммы) происходит самопроизвольное падение давления при гидроразрыве пласта (правая часть диаграммы). Аналогичные явления наблюдаются в электротехнике при зарядке и разрядке конденсаторов, а в более общих случаях – при процессах релаксации напряженного состояния в материалах по модели Кельвина-Фойгта [13].

По-видимому, в данном случае в рамках этой модели левая часть диаграммы зависимости D от $C_{ср}$ иллюстрирует природное явление нагнетания вдоль тектонических зон рудообразующего флюида в боковые породы с образованием золотоносных метасоматитов в первый момент рудообразования. Во второй момент, при превышении предела прочности пород, в процессе релаксации напряженного состояния (правая часть диаграммы) в метасоматитах возникали трещины, в которых кристаллизовались прожилки и жилы кварца, нередко с видимым золотом и другими рудными и жильными минералами.

Так как, согласно формуле Ричардса-Чечотта, величина частиц самородного золота определяет достоверность пробирных анализов [9], то низкие (от 0,15 до 0,70 доли единицы) значения D предположительно связаны с кристаллизацией крупных выделений золота в начальную стадию метасоматоза (левая часть диаграммы) при $C_{ср}=0,07–0,5$ г/т.

При максимальных мощностях и проработанности зон метасоматитов (центральная часть диаграммы) крупность выделений самородного золота падала до десятых долей миллиметра, судя по высокой достоверности (0,70–0,85 доли единицы) пробирных анализов в диапазоне $C_{ср}=0,5–1,7$ г/т.

При массовом развитии жил и прожилков в метасоматитах, после гидроразрыва пород и релаксации напряженного состояния (правая часть диаграммы) золотоносность руд возрастала ($C_{ср}=1,7–17,4$ г/т) на фоне снижения достоверности пробирных анализов (от 0,85 до 0,18 доли единицы). Такое снижение можно объяснить увеличением крупности выделений самородного золота, вплоть до образования самородков, гнезд и бонанцев [13].

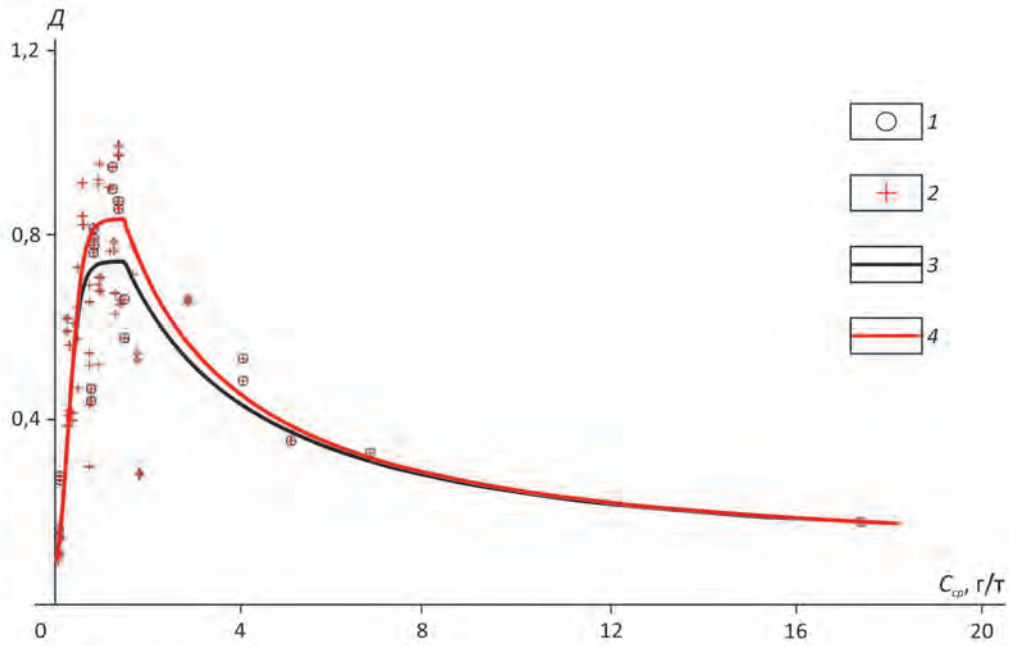


Рис. 3. Диаграммы зависимости достоверности (D , доли единицы) определения близких к истинным содержаниям золота от средних содержаний ($C_{ср}$, г/т), установленных по данным пробирных анализов рядовых проб. По В.О.Конышеву, А.Г.Горелову [13]:

1–2 – точки значений, относящихся к выборкам: 1 – из 23 ЛТП (Ортон-Балыксинский район) и 2 – из 41 ЛТП (рудные районы Алтае-Саянской провинции); 3–4 – диаграммы аппроксимации в терминах модели Кельвина-Фойгта для выборок: 3 – из 23 ЛТП и 4 – из 41 ЛТП

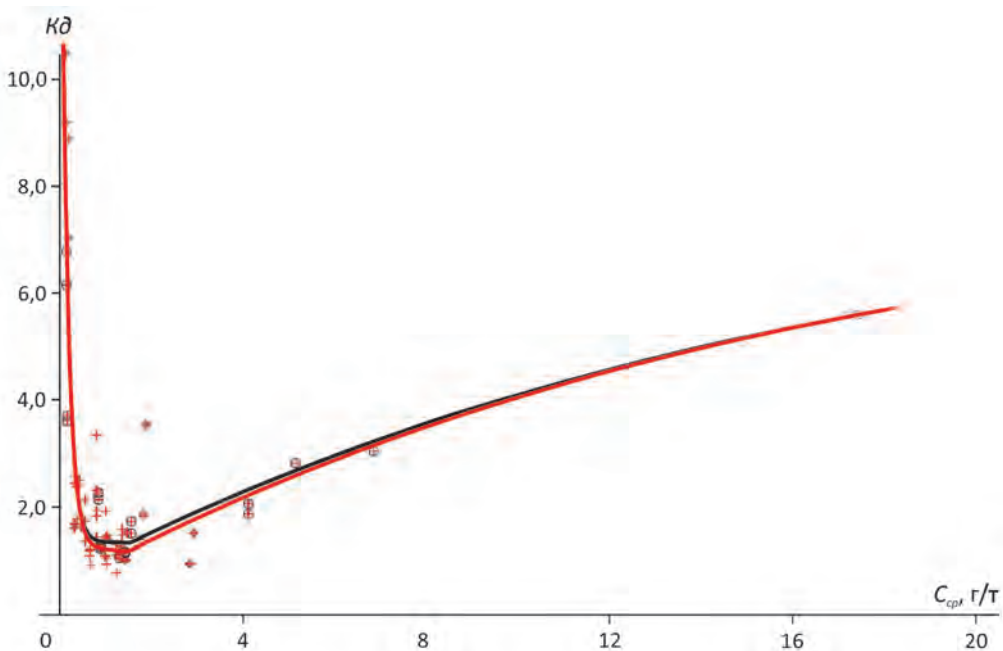


Рис. 4. Диаграммы зависимости коэффициентов занижения ($Kд$) близких к истинным содержаниям от средних содержаний ($C_{ср}$, г/т), установленных по данным пробирных анализов рядовых проб. По В.О.Конышеву, А.Г.Горелову [13]:

см. услов. обозн. к рис. 3

На ранних стадиях разработки методики (до рассмотрения её на ЭТС ФБУ «ГКЗ») автор [5, 9, 10, 12] предлагал использовать для оценки $C_{ист}$ экспериментально определенные коэффициенты занижения близких к истинным содержаниям $K_d = C_{ист}/C_{ср}$. Было показано, что для области бедных руд ($C_{ср} = 0,5-1,7$ г/т) K_d изменяются от 1,3 до 1,6 раза, для рядовых руд ($C_{ср} = 1,7-4$ г/т) – от 1,6 до 2,5 раза, для богатых руд ($C_{ср} = 4,0-8,0$ г/т) – от 2,5 до 3,5 раза, для очень богатых руд ($C_{ср} = 8,0-17,4$ г/т) – от 3,5 до 5,56 раза. Для оценки K_d по $C_{ср}$ предлагались эмпирические диаграммы, аппроксимированные простыми формулами полиномов второй и третьей степени при очень высоких коэффициентах корреляции между зависимыми величинами [5].

Дальнейшими исследованиями в области низких содержаний для убогих руд и околорудных пород ($C_{ср} = 0,07-0,5$ г/т) установлены K_d в 1,7–10,8 раза занижающие $C_{ист}$. Для описания универсальной зависимости D и K_d от $C_{ср}$ потребовались сложные формы диаграмм (см. рисунки 3, 4) и математических формул [13], аппроксимированных по модели Кельвина-Фойгта. Это в значительной степени усложнило использование выявленных зависимостей D и K_d от $C_{ср}$ широким кругом геологов-практиков.

Разработка и уточнение статистических показателей зависимости близких к истинным содержаниям ($C_{ист}$) в рудных телах от средневзвешенных содержаний ($C_{ср}$), вычисленных по пробирным анализам рядовых проб. Значительно более простые статистические диаграммы характеризуют зависимости $C_{ист}$ от $C_{ср}$ (рисунки 5 и 6), выражаемые формулами полинома второй степени для рудных объектов Ортон-Балыксинского (1) и всей совокупности различных золотоносных районов Алтае-Саянской провинции (2):

$$C_{ист} = 0,262C_{ср}^2 + 1,010C_{ср} + 0,276 \quad (1);$$

$$C_{ист} = 0,2629C_{ср}^2 + 0,9988C_{ср} + 0,2619 \quad (2).$$

При высоких коэффициентах корреляции ($R^2_1 = 0,999$ и $R^2_2 = 0,9941$) взаимозависимых параметров эти формулы охватывает диапазон значений средних содержаний от 0,07 до 17,5 г/т. Формулу (2) рекомендуется применять для предварительной оценки близких к истинным содержаний золота в подавляющей части рудопроявлений Алтае-Саянской провинции.

Этому способствуют незначительные различия в близких к истинным содержаниях, оцененных по диаграммам для объектов различных золотоносных районов. Так при вычитании из частной рабочей формулы (1), аппроксимированной для объектов Ортон-Балыксинского района, значений универсальной формулы (2), установленной для всей совокупности изученных рудопроявлений Алтае-Саянской провинции, получаем следующую формулу (3) для расчета поправок:

$$\Delta C_{ист} = -0,001C_{ср}^2 + 0,001C_{ср} + 0,014 \quad (3).$$

При $C_{ср} = 10$ г/т, вычисленная по формуле поправка $\Delta C_{ист}$ незначительна и равна 0,115 г/т, а при более

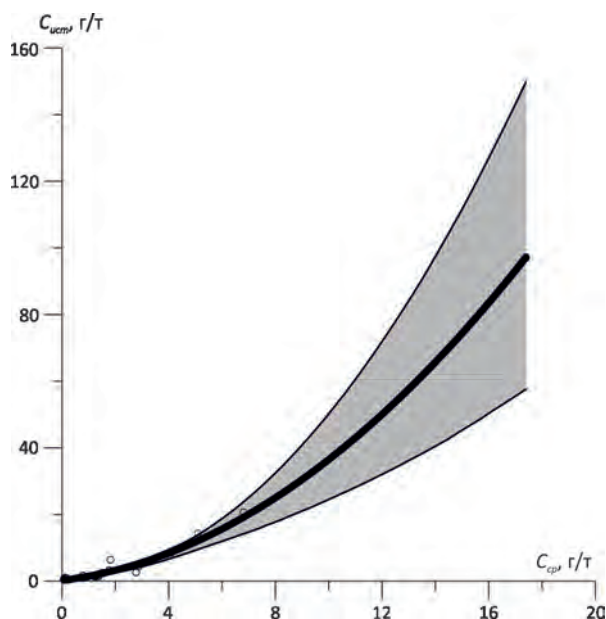


Рис. 5. Диаграмма зависимости $C_{ист}$ от $C_{ср}$, аппроксимированная по результатам исследования 23 групповых ЛТП (43 точки сопоставления) для золоторудных объектов Ортон-Балыксинского золотоносного района, с доверительным интервалом, аппроксимированным при надежности 90%. По В.О.Коньшеву, А.Г.Горелову [14]

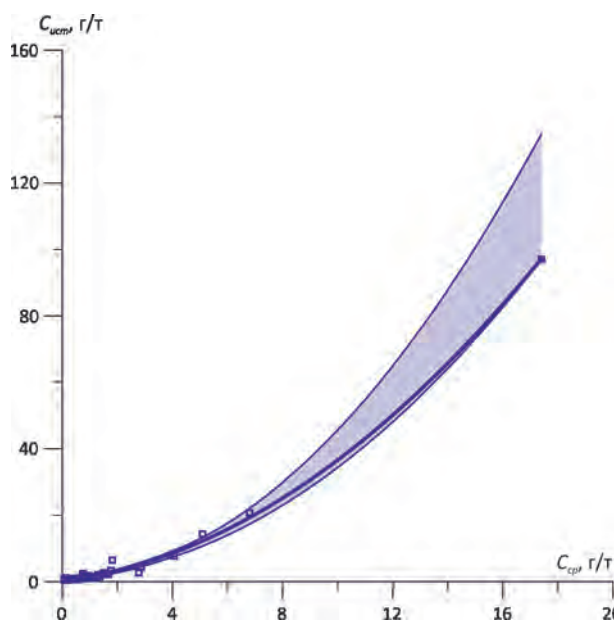


Рис. 6. Диаграмма зависимости $C_{ист}$ от $C_{ср}$, аппроксимированная по результатам исследования 41 групповой ЛТП (79 точек сопоставления) для золоторудных объектов Ортон-Балыксинского и смежных золотоносных районов Алтае-Саянской провинции, с доверительным интервалом, аппроксимированным при надежности 90%. По В.О.Коньшеву, А.Г.Горелову [14]

низких значениях $C_{ср}$ получают еще менее существенные поправки.

Определение близкого к истинному среднего содержания золота по всей совокупности ЛТП каждого изученного золоторудного объекта для легитимной оценки прогнозных ресурсов с высокой достоверностью. Изложенная в данной статье методика определения близких к истинным содержаниям золота по балансу металла в продуктах обогащения групповых ЛТП, составленных из полных масс рядовых проб рудных пересечений, была рассмотрена Экспертно-техническим советом ФБУ «ГКЗ».

Протоколом ЭТС ФБУ «ГКЗ» от 18 ноября 2014 г., наряду с необходимостью доработок, декларировано: «Рекомендовать к внедрению для оценки прогнозных ресурсов на стадии поисков и как способ контроля качества рядового опробования на других стадиях геолого-разведочных работ разработанный и запатентованный авторами способ оценки средних содержаний по балансу металла, извлеченного в продукты обогащения из ЛТП, составленных из полных масс рядовых проб». Другими словами, легитимно разрешено заменять $C_{ср}$ на $C_{ист}$, экспериментально определенные по балансу золота в продуктах гравитационного обогащения групповых ЛТП, составленных из полных масс рядовых проб рудных пересечений и их совокупностей.

В соответствии с рекомендацией ЭТС ФБУ ГКЗ внедрение охарактеризованной методики впервые осуществлено автором на участке Кедровский Ортон-Балыксинского района в рамках производственного отчета ООО «СибГео» (Е.А.Белоножко и др., 2014). В процессе работ

этой производственной организацией были выявлены и оконтурены по оптимальному бортовому содержанию 0,2 г/т 17 пластообразных рудных залежей. В контурах предполагаемого карьера до средней глубины 140 м в этих залежах были локализованы суммарные прогноз-ные ресурсы категории P_1 48,7 т золота при $C_{ср}$ 1,58 г/т.

По субподрядному договору ФГУП ЦНИГРИ автором статьи разрозненные рудные тела, выявленные ООО «СибГео» в контурах проектного карьера, были объединены в 4 крупнообъемных блока при среднем коэффициенте рудоносности 0,236 (рис. 7). По 6 групповым ЛТП общей массой 3184 кг, близкое к истинному средневзвешенное содержание ($C_{ист}$) составило 2,46 г/т (табл. 2).

По $C_{ист}$ 2,46 г/т, в 1,56 раза превышающему $C_{ср}$ (1,58 г/т), была дана более достоверная новая оценка прогнозных ресурсов категории P_1 77,0 т золота. Уточненные прогнозные ресурсы категории P_1 77,0 т золота со средним содержанием 2,46 г/т апробированы ФГУП ЦНИГРИ (Протокол №14 от 11 ноября 2014 г.).

Переоценка рудопроявления по $C_{ист}$ позволила улучшить ожидаемые экономические показатели освоения будущего Кедровского месторождения (табл. 3). Без существенного увеличения планируемого срока его отработки и капиталовложений в рудник ожидается, что расчетная годовая добыча золота возрастет с 2,6 до 4,1 т, окупаемость снизится с 10 до 6 лет, внутренняя норма доходности увеличится с 10,1 до 19,7%, а индекс доходности – с 1,6 до 2,6.

Переоценка прогнозных ресурсов ранее выявленных объектов по статистическим формулам. Уточнение содержаний по формуле (2) выполнено автором

2. Сопоставление средних содержаний золота, определенных по результатам рядового опробования ($C_{ср}$) и по балансу металла ($C_{ист}$) в продуктах гравитационного обогащения групповых ЛТП участка Кедровский

ЛТП	Число и вид проб в составе групповых ЛТП	Массы групповых ЛТП, кг	Средние содержания золота, г/т			Кд
			По пробирным анализам рядовых проб ($C_{ср}$)	По балансу Au ($C_{ист}$) в продуктах обогащения ЛТП		
				Пробирные анализы	Данные цианирования	
1. ЛТП №1-Кедр	31 бороздовая	343,35	4,06	7,62	8,38	$\frac{1,88-2,06}{1,97}$
2. ЛТП №2-Кедр	97 бороздовых	948,93	1,50	2,27	2,60	$\frac{1,51-1,73}{1,62}$
3. ЛТП №3-1-Кедр	68 бороздовых	603,58	1,24	1,31	1,38	$\frac{1,06-1,12}{1,09}$
4. ЛТП №3-Кедр	107 бороздовых	931,11	0,83	1,02	1,09	$\frac{1,24-1,31}{1,28}$
5. ЛТП №5-1-1-Кедр	28 керновых с золотой головкой 4	143,20	2,87	4,34	4,38	$\frac{1,51-1,53}{1,52}$
6. ЛТП №6-1-Кедр	50 керновых	214,41	1,27	1,62	1,66	$\frac{1,28-1,31}{1,30}$
Сумма	381	3184,58				
Средневзвешенное			1,58	2,35	2,57	$\frac{1,49-1,63}{1,56}$
Принятое при апробации прогнозных ресурсов				2,46		

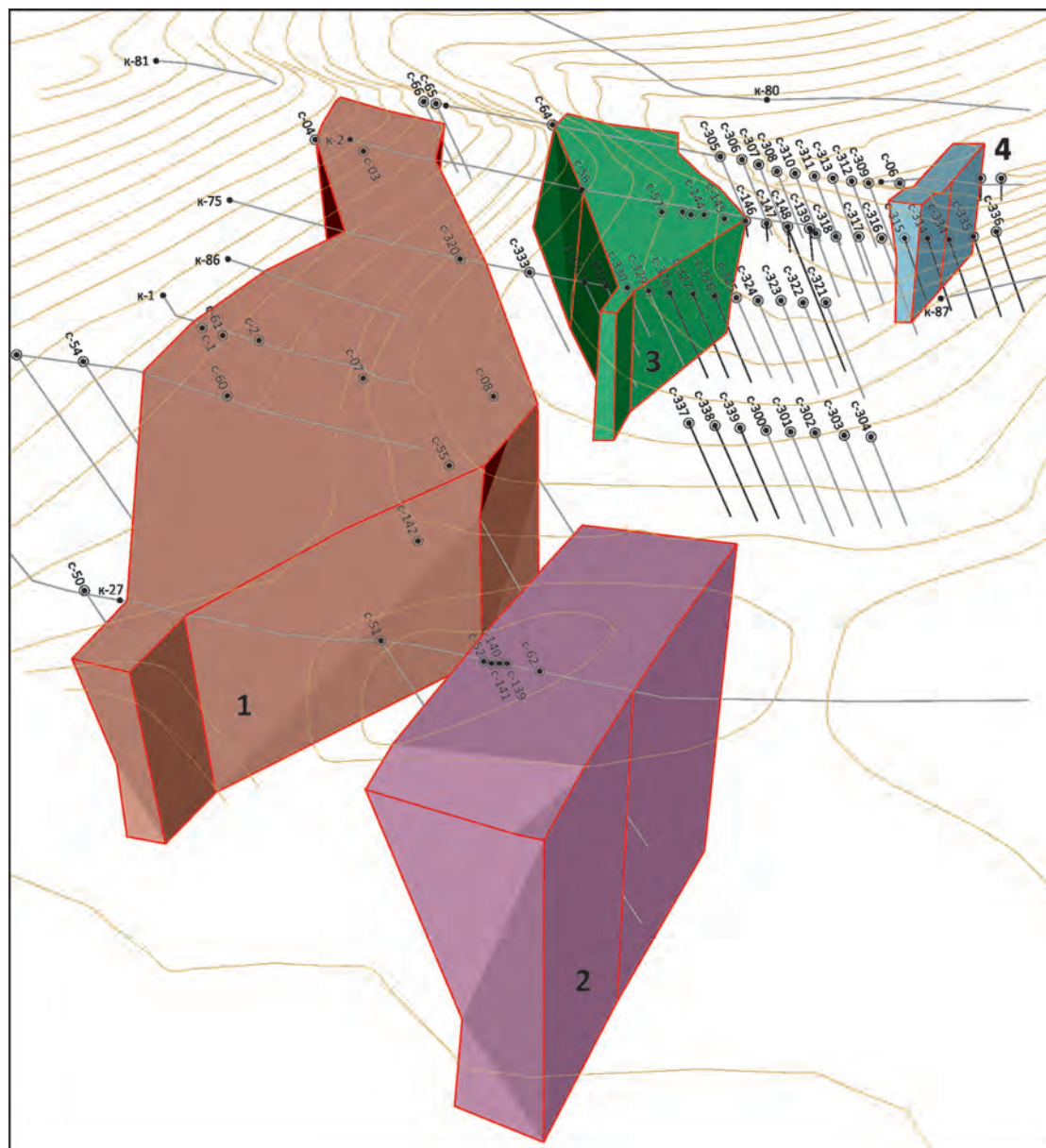


Рис. 7. Блоки прогнозных ресурсов категории P_1 участка Кедровский:

1 – 60% общего количества, 2 – 29%, 3 – 10%, 4 – 1%

на примерах Чашкатского и Пахомовского участков, а также Федоровского-1 месторождения Ортон-Балыксинского района [13], представляющих собой минерализованные зоны прожилково-вкрапленных руд, нередко вмещающие стержневые жилы.

На Чашкатском участке по результатам рядового опробования ООО «СибГео» были оценены и апробированы во ФГУП ЦНИГРИ прогнозные ресурсы категории P_1 11,6 т золота в 4,765 млн. т руды со средним содержанием 2,43 г/т и категории P_2 3,2 т золота в 1,125 млн. т руды со средним содержанием 2,82 г/т.

Часть разведочных пересечений этого участка была охарактеризована групповой ЛТП №1-Комсомол, по которой $C_{ист}$ превысило $C_{ср}$ в 2,2 раза.

На Пахомовском участке буровыми работами ООО «СибГео» выявлено 3 пластообразные залежи, оконтуренные по бортовому содержанию 0,2 г/т со средними содержаниями 1,38, 2,11 и 1,50 г/т, для которых апробированы прогнозные ресурсы категории P_1 14,7 т при $C_{ср}$ 1,41 г/т. ЛТП №2-Комсомол, составленная из 68 ядерных проб части разведочных пересечений этих залежей, показала близкое к истинному содержание

3. Сопоставление основных результатов оценки участка Кедровский по данным рядового и более достоверного группового опробования разведочных пересечений, оконтуренных по бортовому содержанию 0,2 г/т

Показатели	По данным опробования	
	рядового	группового
Ресурсы руды, млн. т	31,3	31,3
Средневзвешенные содержания Au, г/т	1,58	2,46
Прогнозные ресурсы Au, т	48,7	77,0
Достоверность опробования, доли единицы	0,63	1,00 (условно)
Коэффициент занижения <i>Сист</i>	1,56	1,00 (условно)
Результаты укрупненной геолого-экономической оценки		
Срок отработки, лет	15	15
Годовая добыча Au, т	2,6	4,1
Капиталовложения, млрд. руб.	6,3	7,5
Окупаемость, лет	10	6
Внутренняя норма доходности (ВНД), %	10,1	19,7
Индекс доходности (ИД)	1,6	2,6

золота 6,42 г/т, что в 3,53 раза превышает *Сср* 1,82 г/т в этой групповой ЛТП, содержащей одну рядовую пробу с гнездом видимого золота.

По рабочей формуле (2) *Сист* в рудных телах составили 2,17, 3,57 и 2,38 г/т. Для совокупности этих тел оцениваются суммарные прогнозные ресурсы категории P_1 23,2 т золота по *Сист*=2,22 г/т. Полученное по формуле *Сист* только в 1,57, а не в 3,53 раза превышает среднее. Уточненные прогнозные ресурсы участка Пахомовский могут быть рекомендованы на повторную апробацию.

На *месторождении Федоровское-1* пластообразная залежь прожилково-вкрапленных руд, оконтуренная по бортовому содержанию 0,2 г/т, имеет среднюю мощность 66 м, протяженность по простиранию 1560 м и по падению – 225 м (см. рис. 1). Объем минерализованной зоны составил 19,2 млн. м³, а масса руды – 52,4 млн. т. При среднем содержании 1,13 г/т оценивались авторские прогнозные ресурсы категории P_1 – 59,2 т золота [4].

По рабочей формуле (2) *Сср*=1,13 г/т соответствует *Сист*=1,73 г/т, которое в 1,55 раза превышает *Сср*, определенное по пробирным анализам свыше 5000 борздовых и керновых проб. По уточненному таким образом содержанию, крупнообъемная залежь месторождения Федоровское-1 предстала с прогнозными ресурсами категории P_1 90,5 т золота [5]. Это один из наиболее крупных объектов Ортон-Балыксинского рудного района. В настоящее время на участке Федоровский-1, без учета новых данных по оценочным работам ОАО «КЕМО» 2003 г., пока числятся прогнозные ресурсы лишь категории P_3 30 т.

По материалам статьи можно сделать следующие выводы:

1. Охарактеризованный способ определения близких к истинным содержаниям золота по групповым пробам в крупнообъемных рудных телах, защищенный патентом на изобретение № 2383889 от 10 марта 2010 г., ре-

комендован протоколом ФБУ ГКЗ от 18 ноября 2014 г. для оценки прогнозных ресурсов на стадии поисков и контроля качества рядового опробования на других стадиях геологоразведочных работ.

2. В соответствии с охарактеризованной в статье методикой, определяемые близкие к истинным содержания золота в усредненных рудах групповых проб нивелируют крайне высокие и низкие концентрации в рудных телах при гнездовом распределении крупного золота. Использование этого способа привело к обнаружению за последние 20 лет в Ортон-Балыксинском золотоносном районе крупнообъемных золоторудных объектов, суммарные прогнозные ресурсы которых оцениваются по категории P_1 210 т. Из них половина апробирована, а другая половина может быть апробирована при производстве ревизионных поисковых работ в процессе внедрения легитимной рекомендации о целесообразности определения близких к истинным содержаниям по групповым пробам.

3. Ранее проводимыми на протяжении XX в. поисковыми работами в Ортон-Балыксинском районе были выявлены только отрезки золоторудных жил, в которых гнезда и бананцы золота из-за мелких размеров рассматривались лишь в качестве объектов для кустарных разработок. Доля бананцев в запасах золота жил существенно занижалась, как и содержания крупного золота в околожилных зонах метасоматитов, не только низкой достоверностью пробирных анализов, но и использованием приемов ограничения ураганных содержаний. После подобных ограничений, а не усреднений, рекомендованных представленной в статье методикой, перспективные рудные объекты искусственно обеднялись и преобразовывались в убогозолотоносную матрицу с прожилково-вкрапленной золото-сульфидно-анкерит-кварцевой минерализацией.

4. Разработанную методику оценки близких к истинным содержаниям золота рекомендуется использовать не

только в Алтае-Саянской, но и в других металлогенических провинциях России (Енисейской, Байкало-Патомской, Верхояно-Колымской), для которых оценка прогнозных ресурсов коренных источников крупных и богатых россыпей была неэффективна при использовании традиционных методов поисков без применения группового опробования.

Автор глубоко признателен коллегам: В.В.Кяргину, В.К.Кондрину, Е.А.Бедножко за организацию и проведение полевых работ по качественному опробованию рудных тел и составлению ЛТП; М.Н.Сычевой и коллективу технологов АО «Тульское НИГП» за баланс золота в продуктах обогащения ЛТП при полупромышленных испытаниях; А.Г.Горелову и В.С.Кряжеву за математическую обработку эмпирических данных; С.С.Вартаняну, А.И.Иванову, А.И.Черных, Б.И.Беневольскому, Ю.М.Щепотьеву, П.И.Кушнареву, А.И.Романчуку за поддержку исследований, всестороннее обсуждение методики и ценные советы по ее оптимизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов А.И. Золото Байкало-Патома (геология, оруденение, перспективы). – М.: ФГУП ЦНИГРИ, 2014.
2. Кавчик Б.К. Схемы пробоподготовки при пробирном анализе на золото // Золотодобыча. 2008. № 119. С. 12–14.
3. Каждан А.Б. Разведка месторождений полезных ископаемых. – М.: Недра, 1977.
4. Каллистов П.Л., Камышев Ю.И. К проблеме выравнивания показаний проб при подсчете запасов месторождений с высокой изменчивостью оруденения // Руды и металлы. 1995. № 4. С. 84–94.
5. Коньшев В.О. К методике оценки содержания Au в рудопоявлениях с крупным золотом Ортон-Балыксинского района, Кузнецкий Алатау // Руды и металлы. 2014. № 2. С. 46–66.
6. Коньшев В.О. О граничных условиях определения золота методом предварительного извлечения // Отечественная геология. 2005. № 3. С. 84–87.
7. Коньшев В.О. О составе самородного золота в минеральных ассоциациях золоторудных месторождений Алтае-Саянской области // Руды и металлы. 2010. № 6. С. 42–57.
8. Коньшев В.О. Опыт оценки погрешностей опробования и совершенствование методологии разведки месторождения с бонанцевым распределением золота // Отечественная геология. 2004. № 6. С. 22–35.
9. Коньшев В.О. Пути повышения достоверности опробования руд с крупным золотом // Руды и металлы. 2007. № 2. С. 40–54.
10. Коньшев В.О. Расчет коэффициента коррекции на достоверность опробования рудных залежей с крупным золотом // Горный журнал. 2008. № 6. С. 18–23.
11. Коньшев В.О. Федоровско-Кедровское рудное поле (литолого-стратиграфический контроль и потенциал золотоносности) // Отечественная геология. 2006. № 2. С. 22–28.
12. Коньшев В.О., Вартанян С.С., Горелов А.Г. Способ определения среднего содержания золота в рудных телах // Патент на изобретение RU № 2383889 С1. 10.03.2010. Бюл. № 7.
13. Коньшев В.О., Горелов А.Г. Информационно-методические аспекты оценки истинных содержаний золота в рудных телах (на примере рудопоявлений Ортон-Балыксинского района. Кузнецкий Алатау) // Геоинформатика. 2014. № 3. С. 39–55.
14. Коньшев В.О., Горелов А.Г. Информационно-методические аспекты прогноза крупнообъемных месторождений с бонанцами золота в золотороссыпных районах Алтае-Саянской провинции // Геоинформатика. 2016. № 3. С. 17–28.
15. Коньшев В.О., Савостьянов Е.В., Власов Г.Н. Месторождение Федоровское-1 в Кемеровской области и особенности методики разведки объектов с крупным золотом // Руды и металлы. 2003. № 5–6. С. 20–34.
16. Методика разведки золоторудных месторождений // В.Н.Иванов, В.П.Кувшинов, В.И.Батрак и др. – М.: ЦНИГРИ, 1991.
17. Методические рекомендации по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Золото рудное. ГКЗ, 2007. Утверждены распоряжением МПР России от 05.06.2007 г. № 37-р.
18. Многофакторная модель крупнообъемного золоторудного месторождения Дегдекан (Магаданская область) / Б.К.Михайлов, С.Ф.Стружков, М.В.Наталенко, Н.Б.Цимбалюк // Отечественная геология. 2010. № 2. С. 20–31.
19. Опробование руд коренных месторождений золота // В.П.Кувшинов, Ю.А.Бакулин, В.Н.Иванов и др. – М., 1992.
20. Оценка достоверности опробования руд на крупнообъемных золоторудных месторождениях в терригенных толщах на примере Дегдеканского месторождения / Л.А.Остапенко, С.Ф.Стружков, О.Б.Рыжов и др. // Руды и металлы. 2004. № 2. С. 42–55.
21. Применение технологических методов пробоподготовки для оценки запасов большеобъемных золоторудных объектов на примере Наталкинского месторождения / М.П.Казимиров, Е.М.Никитенко, В.Е.Лукиных, Т.М.Новикова // Золотодобыча. 2008. № 119. С. 16–21.
22. Савостин М.Н., Саклаков В.А., Захваткин В.А. Временное методическое руководство по обработке геологических проб золоторудных месторождений с предварительным извлечением металла. – М.: ЦНИГРИ, 1975.
23. Системы оценки и разведки россыпных месторождений золота и платиноидов на основе многофакторных моделей // В.И.Куторгин, В.А.Джобадзе, С.А.Емельянов и др. – М., 2002.
24. Сравнительная оценка достоверности определения содержания золота в рудах Дегдеканского рудного поля традиционным пробирным анализом и по методике с предварительным гравитационным концентрированием свободного золота / А.И.Романчук, В.А.Богомолов, Е.И.Никитенко, П.И.Кушнарев // Недропользование XXI век. 2011. № 3. С. 58–63.
25. Dominy S.C., Platten I.M. Gold particle clustering – a new consideration in sampling applications // Trans Inst Min Metall. 2007. 116. B130-B142.
26. Pitard F.F. Sampling Theory and Methods // A short Course presented at the University of the Witwatersrand. 2006. Vol. I. 2002.