

УДК 553.411.071:553.048

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАСЧЁТА ДОСТОВЕРНОГО ОБЪЕМА ШЛАМОВОЙ ПРОБЫ НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ РОССЫПНОГО ЗОЛОТА РУЧЬЯ БАЛАГАННАХ (РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ))

Собянин Иван Юрьевич¹,
iys9@tpu.ru

Гаврилов Роман Юрьевич¹,
GavrilovRY@tpu.ru

Собянин Юрий Петрович²,
yuri_sob63@mail.ru

¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

² ООО «БАЛАГАННАХ ГОЛД»,
Россия, 678730, Республика Саха (Якутия), пгт Усть-Нера, ул. Ленина, 27-41.

Актуальность исследования заключается в необходимости достоверного подсчета запасов россыпных месторождений золота с использованием всей полноты геологической, минералогической и статистической информации, что в дальнейшем позволит применять данный расчёт как основу при проектировании разведочных работ на россыпных месторождениях данного района.

Цель: расчёт необходимого объема шламовой пробы для достижения достаточной достоверности результатов опробования для корректного подсчета запасов. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: выбор и обоснование расчётной формулы объема шламовой пробы; учет характера распределения золота в россыпи, влияющего на объем опробования; расчёт необходимого объема шламовой пробы на примере месторождения россыпного золота.

Методы: минералогические исследования, статистическая обработка данных.

Объект: результаты опробования разведочных скважин и данные, полученные при эксплуатации месторождения.

Результаты. Установлено, что для россыпного месторождения золота Балаганнах объем пробы по одному сечению, необходимый для корректного подсчета запасов, составляет 157 литров. При разведке узких контуров необходимо использовать кустовое бурение скважинами с диаметром долота не менее 191 мм или бурение большим диаметром. Также для получения достоверных данных возможно использование методики размыва горных пород на продуктивном интервале. Для увеличения достоверности подсчёта запасов возможно использование поправочных коэффициентов. Применение специализированных программ для подсчёта запасов с использованием методов математической статистики позволит проводить подсчет запасов, близкий к фактическим значениям. Там, где это позволяет мощность рыхлых отложений, рекомендуется использовать проходку канав, что позволит существенно улучшить качество опробования и получить достоверные результаты.

Ключевые слова:

Месторождение ручья Балаганнах, россыпное золото, шламовое опробование, достоверность результатов опробования, подсчет запасов.

Постановка задачи

В современных экономико-политических условиях вопрос увеличения добычи золота как источника экспорта и пополнения бюджета Российской Федерации является одним из важнейших. Его решение напрямую связано с темпами роста добычи благородного металла [1–6]. Одним из значительных источников добычи золота являются россыпные месторождения [7–14]. Добыча благородного металла из россыпных месторождений, по сравнению с коренными [15–20], за последние десятилетия значительно снизилась, в связи с чем ведутся поиски новых россыпных объектов и вовлечение в эксплуатацию уже известных месторождений [21–22]. Таким образом, не теряет актуальность изучение строения россыпных месторождений золота, а также методических аспектов их разведки и обработки.

На россыпных месторождениях золота опробование, прежде всего, направлено на получение информации о количестве и качестве полезного компонента. Одним из важных параметров при опробовании является

установление минимального объема отбираемой пробы, необходимого для получения достоверного результата. В случае некорректного расчета данного показателя подсчитанные запасы на месторождении будут существенно отличаться от их истинного значения.

Целью настоящей работы является определение необходимого объема шламовой пробы и получение достоверных результатов опробования для последующего корректного подсчета запасов благородного металла. Для достижения поставленной цели на примере месторождения россыпного золота Балаганнах были решены следующие задачи: выбор и обоснование расчётной формулы объема шламовой пробы; учет характера распределения золота в россыпи, влияющего на объем опробования; расчет необходимого объема шламовой пробы.

Геологическая характеристика месторождения

В административном отношении месторождение россыпного золота ручья Балаганнах расположено на

территории Оймяконского района Республики Саха (Якутия) (рис. 1).

В структурно-тектоническом отношении объект расположен в пределах Яно-Колымской складчатой зоны, входящей в состав Верхояно-Чукотской мезозойской складчатой области. Основные черты тектоники района определяются его положением в пределах Аян-Уряхского мегантиклинория.

Район месторождения расположен в пределах Нерской золотоносной зоны. Основным полезным ископаемым является золото. Коренные рудопоявления золота, принадлежащие к малосульфидной золотокварцевой формации, представляют собой жилы или зоны дробления и окварцевания пород. Протяженность жил колеблется в пределах 100...250 м при мощности 0,2...0,8 м.

В геологическом строении района принимают участие отложения верхоянского терригенного комплекса, смятые в складки и прорванные дайками позднемелового возраста, а также рыхлые континентальные четвертичные отложения. Широко распространены гидротермальные образования, несущие золотое и золото-сурьмяное оруденение.

Металлогеническая специализация Нерской зоны определяется наличием многочисленных месторождений золота с доминирующей ролью малосульфидной золото-кварцевой формации.

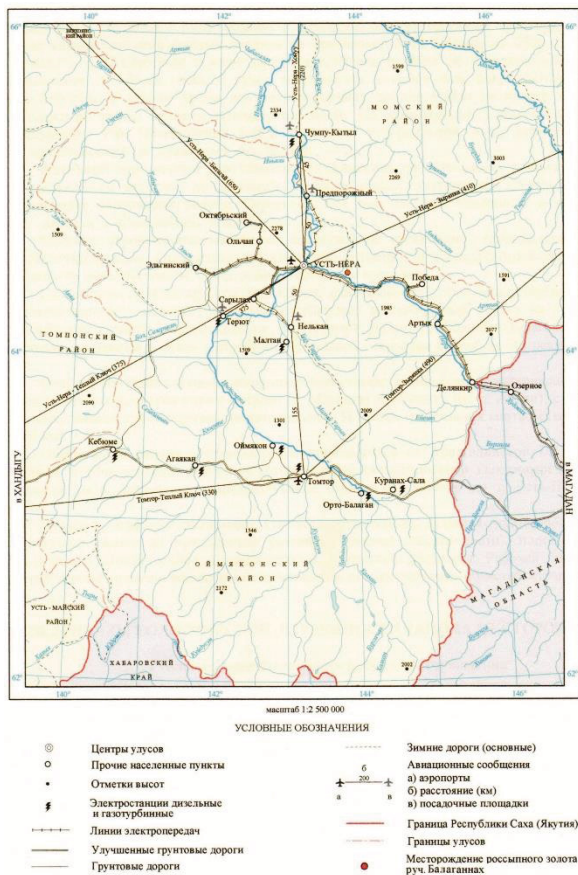


Рис. 1. Обзорная географо-экономическая схема Верхне-Индигирского района

Fig. 1. Overview geographic and economic scheme of the Verkhne-Indigirsky district

Ручей Балаганнах является правым притоком р. Нера. Протяженность ручья около 22 км. Долина ручья имеет северо-восточное простирание, ее ширина, достигающая в створе 500 м, к верховью постепенно сужается до 50 м. Сечение долины асимметричное трапецевидное с крутым левым и более пологим правым склоном. По правому борту долины развиты террасы нескольких уровней, ширина которых от 100 до 900 м соответственно. По левому борту террасы с относительными отметками 15...60 м в значительной степени размыты и сохранились в виде фрагментов.

Террасы первого уровня (высотой 1...3 м) распространены по долине ручья Балаганнах и его притокам (ручьи Арга-Сала, Кызыс, Дорожной). Террасы аккумулятивные. Мощность аллювия до 5 м, ширина до 100 м. Возраст отложений современный.

Террасы второго уровня (высотой 5...7 м) развиты преимущественно в нижнем, меньше в среднем течении ручья. Террасы аккумулятивные. Мощность аллювия до 10 м, ширина до 160 м. Возраст отложений современный.

Террасы третьего уровня (высотой 8...10 м) развиты в приустьевой части долины. Террасы цокольные. Мощность рыхлых отложений 3...10 м, ширина около 200 м. Возраст отложений – поздний плейстоцен.

Террасы четвертого уровня (высотой 15...20 м) сохранились по притокам ручья Балаганнах (ручьи Арга-Сала, Дорожный). Террасы цокольные, мощность аллювия 5...10 м, ширина около 200 м. Возраст отложений – средний-поздний плейстоцен. Террасы пятого–шестого уровня (высотой 50...60 м) пользуются значительным распространением в долинах ручья и его притоков (ручьи Арга-Сала, Кызыс, Дорожный). Террасы цокольные. Мощность аллювия до 20 м. Ширина их до 900 м. Возраст отложений – средний-поздний плейстоцен.

Современная пойма имеет ширину до 300 м, постепенно сужаясь к истоку. Общая мощность рыхлых отложений 2...7 м.

Россыпное месторождение расположено в нижнем и среднем течении ручья Балаганнах. Россыпь приурочена к пойменной части долины. На сегодняшний день россыпь разведана от устья ручья Балаганнах до устья ручья Юморист – правого притока ручья Балаганнах. Один из представительных разрезов приведен на рис. 2.

Сводный разрез отложений, вскрытых горными выработками в пределах разведанного участка россыпи между разведочными линиями №№ 90–102, приведен ниже.

Мощность рыхлых отложений составляет в среднем 4,4 м.

1. Растительный слой. Мощность – 0,2...0,4 м;
2. Илито-глинистые отложения с примесью песка и остатками древесной растительности. Мощность – 1,0 м.
3. Галечно-гравийные отложения с валунами, песком и глиной, сцементированные льдом. Обломочный материал представлен зернами кварца и обломками терригенных пород (песчаники, алев-

ролиты, рассланцованные песчано-глинистые породы). Валуну до 0,5 м в диаметре, количество валунов 3...5 % в верхней части разреза, до 10 % в нижней части разреза. Глина серая, желтая, содержание ее увеличивается сверху вниз от 3...5 до 20...30 %. Галька и гравий различных форм и размеров хорошо окатаны. Лыдистость отложений 5...10 %. Мощность слоя – 2,0 м.

4. Элювиальные отложения, мощностью, не превышающей 0,2 м, представленные щебнем, дресвой песчаников с глиной, песком и редкой галькой, развиты весьма незначительно.
5. Коренные породы плотика представлены песчано-глинистыми сланцами, реже песчаниками, алевро-

литами. Песчаники среднезернистые, серого цвета с зеленоватым оттенком. Коренные породы часто пиритизированы и окварцованы. Для них характерна значительная трещиноватость. Трещины заполнены глинистой примазкой темно-серого цвета, часто с золотом. Мощность трещиноватых коренных пород в среднем составляет 1,0 м, хотя нередко доходит до 1,5...2 м.

Пласт песков месторождения ручья Балаганнах перекрыт торфами небольшой мощности и представляет собой аллювиальную россыпь долинного типа. Происхождение россыпи связано с разрушением коренных золото-кварцевых малосульфидных жил, расположенных в верховьях ручья и в бортах долины.

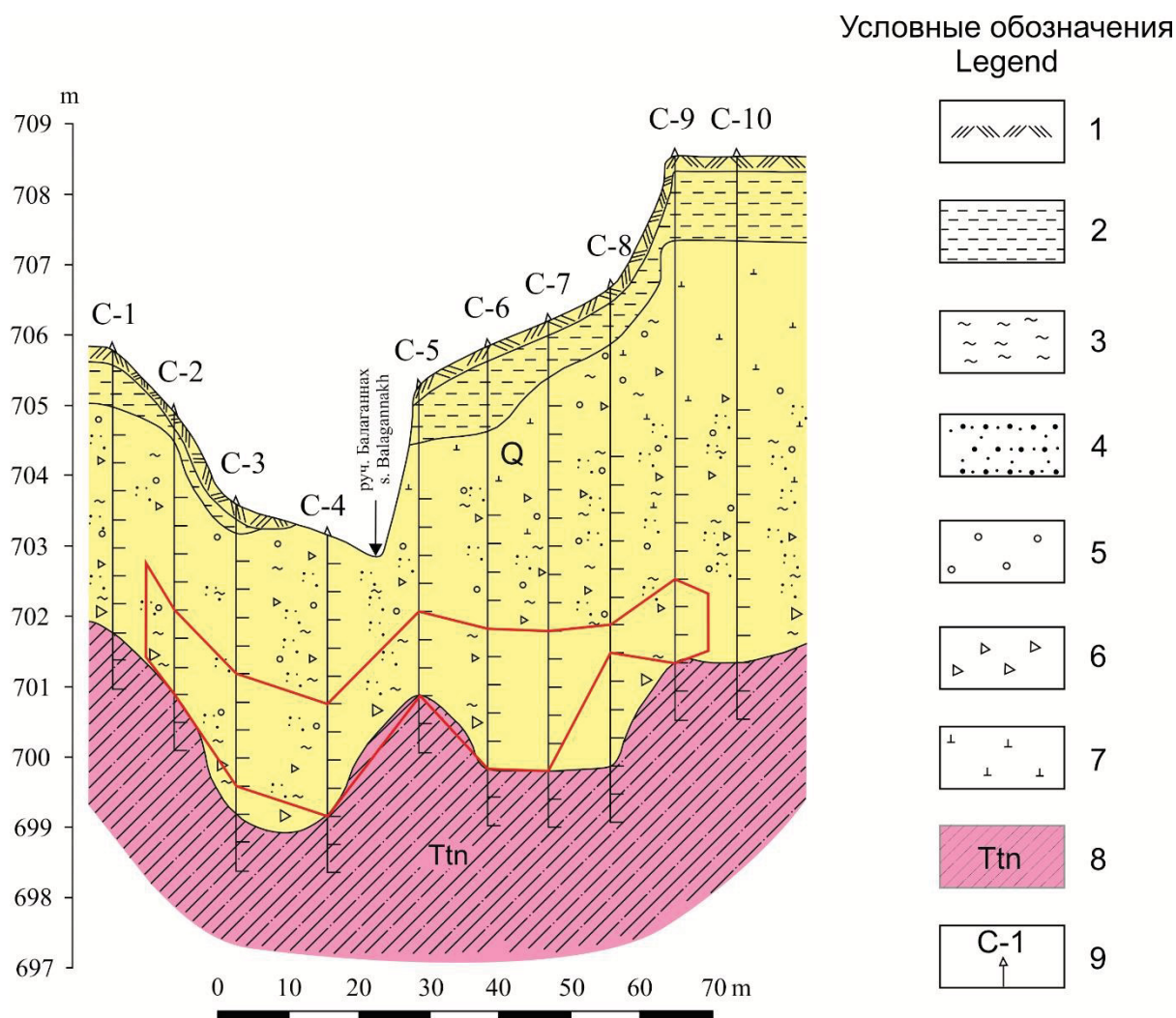


Рис. 2. Разрез по разведочной линии № 126. Четвертичные отложения (Q) 1–6: 1 – почвенно-растительный слой, 2 – ил, 3 – глина, 4 – песок, гравий, 5 – галька, валуны, 6 – щебень, дресва; 7 – лед; 8 – Тонорская свита (Ttn) – алевропесчаники; 9 – скважина и ее наименование; красная линия – контур рудного тела. Вертикальный масштаб 1:100, горизонтальный – 1:1000

Fig. 2. Section along exploration line no. 126. Quaternary deposits (Q) 1–6: 1 – soil-vegetative layer, 2 – silt, 3 – clay, 4 – sand, gravel, 5 – pebbles, boulders, 6 – crushed stone, gruss; 7 – ice, 8 – Tonorskaya suite – silty sandstone, 9 – drillhole and its name; red line – contour of the ore body. Vertical scale 1:100, horizontal – 1:1000

Характеристика россыпного металла

Россыпь месторождения ручья Балаганнах характеризуется неравномерным распределением содержания золота в плане и в разрезе и значительными коле-

баниями мощности пласта. Золото является единственно ценным компонентом россыпи.

В россыпи преобладает среднее и хорошо окатанное пластинчатое золото с плавными очертаниями

краев сторон (рис. 3). Пластины тонкие, округлые и овальные, изредка треугольные. Поверхность золотин шероховатая до гладкой, значительно реже «дымчатая», ямчатая. Имеются отдельные пластинки золотин, поверхность которых покрыта налетом типа «рубашки». Редко наблюдаются комковидные полуока-

танные зерна с бугорчато-ямчатым рельефом. Значительно реже наблюдаются дендриты «двухмерные», плоские, веточковидной формы с хорошо выраженными изогнутым центральным стволом и боковыми веточками. Цвет золота темно-желтый. Размер золотин достигает 10 мм и более.

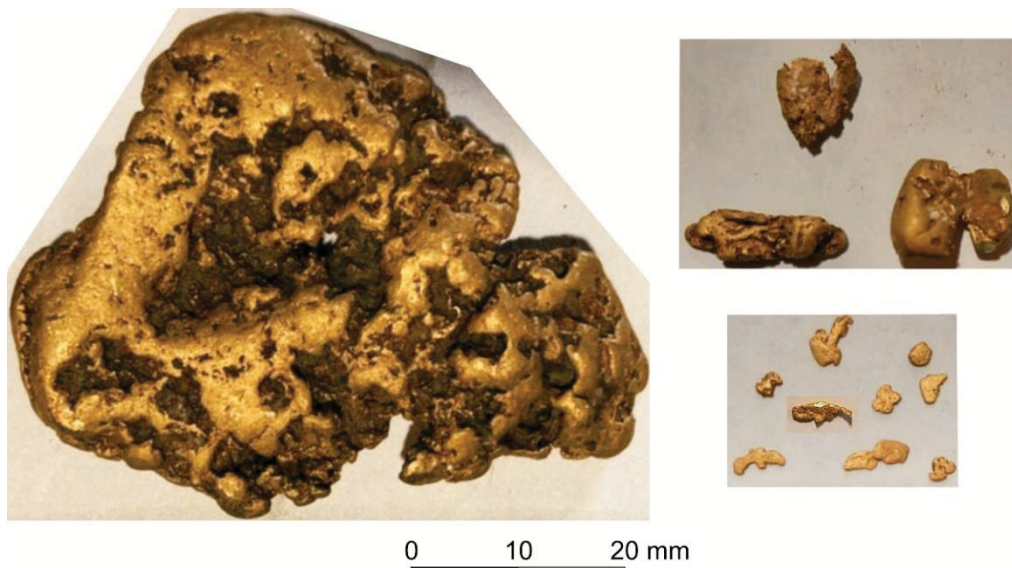


Рис. 3. Морфология золотин различных фракций. Слева – самородок массой 98 граммов
Fig. 3. Morphology of gold particles of various fractions. On the left – a nugget weighing 98 grams

Данные ситового анализа приведены в табл. 2. Средняя медианная крупность золота определена методом линейной интерполяции по формуле, описанной в [23], и составляет 1,71 мм. Фракция размерностью 0,2...2,0 мм является преобладающей и составляет 61,9 %. Средняя проба золота по россыпи – 900.

Согласно методическим рекомендациям ОАО «Иргиредмет», золото относится к средней крупности [24].

На основании минералогического изучения во всех шлиховых пробах в разных количествах обнаружены: кварц, полевой шпат, глинистые минералы, гранат, циркон, эпидот, касситерит, пирит, халькопирит, арсенопирит и самородное золото. Помимо ранее перечисленных, в некоторых пробах отмечается присутствие: пирротина, борнита и гидролимонита.

Процент магнитной фракции от общего веса шлиховой пробы 7,36 % (ручей Балаганнах) и 5,75 % (ручей Кызыс). Основная масса магнитной фракции представлена механической примесью (металлическая стружка и металлические шарики).

В результате разделения в электромагнитную фракцию попали: кварц, полевой шпат, слюда, глинистые минералы, касситерит, циркон, эпидот. Процент электромагнитной фракции от общей массы шлихов 14,66 % (ручей Балаганнах) и 22,83 % (ручей Кызыс). Наибольшим распространением пользуются глинистые минералы, кварц и полевые шпаты. Количество остальных минералов не более 0,15 %.

В неэлектромагнитной фракции встречаются зерна электромагнитной и магнитной фракции, а также гранат, пирит, халькопирит, арсенопирит, борнит, гидролимонит и самородное золото.

Методика исследования

В основу исследования положены результаты опробования шлама 15 разведочных скважин, расположенных на двух линиях 92-го полигона, пробуренных по сети 200×10 м, а также результаты эксплуатационных работ на месторождении россыпного золота ручья Балаганнах (рис. 4).

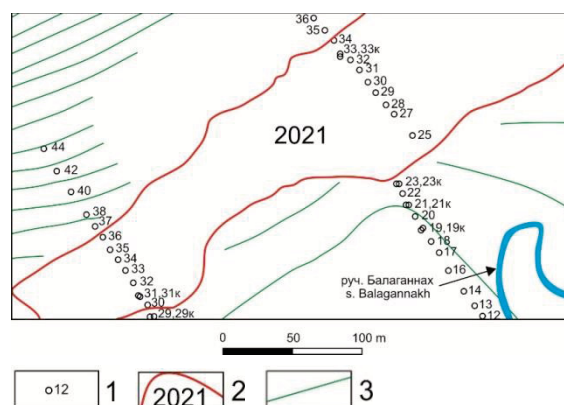


Рис. 4. Разведочный план полигона 92: 1 – скважина и ее наименование, 2 – контур участка, отработанного в 2021 г., 3 – изолинии рельефа
Fig. 4. Exploration plan for landfill 92: 1 – hole and its name, 2 – contour of the area worked out in 2021, 3 – relief contours

По результатам опробования шлама разведочных скважин были определены параметры пласта, как в плане, так и по разрезу, содержания золота по выработкам и блоку. Длина секций шламового опробова-

ния составляла 0,4 м. Среднее содержание золота по месторождению составило 0,65 г/м³.

Пробы, промытые на лотке, при наличии в шлихе золота отдувались и взвешивались, после этого набиралась навеска из золота шлихов и отправлялась в независимую лабораторию на контрольное взвешивание, проведение ситового анализа и определение пробности.

Контрольное взвешивание золота производилось для определения точности взвешивания золота в полевых условиях. Для определения распределения золота по классам крупности на ситах 0,1, 0,2, 0,5, 1,0, 2,0, 5,0 мм проводился ситовый анализ золота. Содержание химически чистого золота в составе самородного (проба) определялось пробирным методом анализа.

Бурение производилось ударно-канатным способом по рыхлым отложениям с углубкой в коренные породы в среднем на 1,2 м. Диаметр скважины по многолетне-мерзлым породам – 195 мм. Для придания вертикального направления скважине, а также для перекрытия таликовых и сушенцовых зон производилось обсаживание скважины колонной труб с наружным диаметром 219 мм и диаметром стандартного башмака 225 мм и усиленного башмака 235 или 245 мм. Шлам из скважины поднимался посредством желонения. Полученный шлам выливался в мерный ящик, после чего проботоривался для удаления глинистых частиц и сокращался. Работа желонки проверялась раз в неделю посредством подплющенной дробы. Допустимыми потерями было принято не более 1 дробинки из 10, а также проверялась работа промывальщика путем промывки по одной ендовой из промытых эфелей и гали со скважины; в случае обнаружения в них золота перемывался весь шлам. Так как объём пробы по замеру отличался не более чем на 10 % от теоретически расчётного, в подсчёт брался объём расчётный для обсаженного интервала на наружный диаметр башмака (225 мм), а для интервала, пробуренного без обсаживания, – на диаметр 195 мм.

Заверка качества буровых работ проводилась методом кустового бурения. Объём заверяемых скважин по каждому из классов вертикальных запасов составлял не менее 5 % от количества скважин в данном классе, участвующих в подсчете.

Подсчёт запасов производился методом геологических блоков с использованием программ AutoCAD и Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

В XX в. советскими, а затем и российскими исследователями были предложены многочисленные способы расчета достоверного объема шламовой пробы при опробовании россыпных месторождений золота. Рассмотрим наиболее часто используемые на практике.

В 1948 г. Л.И. Шаманским [25] была предложена формула, которая представляет собой расчёт шламовой пробы в общем виде:

Объём пробы (V) рассчитывается по формуле:

$$V = \frac{P}{C},$$

где P – масса металла по выработке, мг; C – среднее содержание металла, мг/м³.

Возможность ее применения ограничена нормальным распределением полезного компонента. Из формулы следует, что снижение среднего содержания металла ведет к необходимости увеличения объема отбираемого материала для достижения достоверного результата опробования.

Позднее А.П. Божинский [26] предложил рассчитывать объем пробы с использованием средней массы золотины характерных фракций:

$$V = \frac{d_{cp} \times K}{C},$$

где d_{cp} – средняя масса золотины; K – число условных золотины средней массы в пробе (коэффициент надежности); C – бортовое содержание.

Поскольку средний размер золотины и число условных золотины средней массы имеют значительную долю неопределенности, то и вычисленный объем пробы также становится грубо приближенным, малодостоверным и во многом субъективным.

Наиболее обоснованной является формула, предложенная Буровым-Володаровичем [26], которая единственная из представленных позволяет корректно рассчитать необходимый объём пробы на стадии проектирования разведочных работ:

$$V = \frac{K \times q}{C},$$

где K – коэффициент, выбираемый в зависимости от надёжности обнаружения полезного компонента; q – средняя масса золотины медианного класса, мг; C – среднее содержание, мг/м³.

В 1948 г. Л.И. Шаманский для россыпей золота предложил использовать коэффициент надёжности обнаружения полезного компонента равный шести [25].

Подсчёт запасов на месторождении производился традиционным способом с использованием программ AutoCAD и Excel. Коэффициент намыва, с учетом данных табл. 1, составил 63/52=1,21. Сравнивая разведочные и эксплуатационные данные по месторождению, мы наблюдаем фактическую достоверность результатов равную 52/63×100=82,5 %. Большее значения показателя достоверности можно добиться при использовании специализированных программ для подсчёта запасов, таких как Micromine, Datamine и др.

Таблица 1. Сопоставление расчетного и фактически добытого золота

Table 1. Comparison of calculated and actually mined gold

Объем недр Subsoil volume	Расчетное количество, кг (разведка) Estimated quantity, kg (exploration)	Фактически добыто, кг (эксплуатация) Actually mined, kg (exploitation)
Полигон 92 Polygon 92	25	33
Полигон 22 Polygon 22	27	30
Σ	52	63

Суммарный объём промытой пробы по двум линиям 92 полигона составил 287 литров. Среднее содержание по месторождению составляет 650 мг/м³.

Таким образом, руководствуясь формулой Букова-Володаровича, необходимо произвести расчет минимального объема пробы, основываясь на гранулометрических характеристиках золота в россыпи (табл. 2).

Таблица 2. Показатели по классам крупности золота, используемые при расчете минимального объема пробы

Table 2. Indicators by gold size classes used in calculating the minimum sample volume

Показатели Indicators	Размер фракций, мм Fraction size, mm					
	-0,2	+0,2-0,5	+0,5-1,0	+1,0-2,0	+2,0-5,0	+5,0
Количество золота во фракции, г Gold amount in the fraction, g	11	191	1412	3417	2918	155
%	0,1	2,4	17,4	42,2	36,0	1,9
Масса медианной золотины, мг Median gold weight, mg	0,04	0,4	1,2	8,8	155	1740
Необходимый объем, л Required volume, l	0,3	3,6	11,3	82	1435	16061
Достоверность при объеме пробы 287 л Confidence at a sample volume of 287 l	1	1	1	1	0,2	0,018
Процент достоверности Confidence percentage	0,13	2,35	17,42	42,16	7,20	0,03

По мере увеличения класса крупности металла по экспоненциальному закону происходит увеличение массы медианной золотины и необходимого объема пробы. Из этого следует, что на месторождениях россыпного золота больший размер средней золотины требует увеличения объема отбираемой пробы для достаточной достоверности опробования. Можно также отметить, что масса медианной золотины в соседних классах крупности отличается на порядок. Таким образом, гранулометрическая характеристика россыпей существенно влияет на необходимый объем пробы и массу медианной золотины.

Суммарная достоверность по классам крупности золота составила 69,3 % (табл. 2). Достоверность установленных запасов для категории С₁ должна составлять не менее 70 %, что достаточно близко к рассчитанному значению.

Таким образом, на основании имеющихся данных по формуле Букова-Володаровича можно рассчитать достоверный объем шламовой пробы для одного сечения (выработки). Средняя крупность золотины на месторождении составляет d=1,71 мм; минимальное содержание золота в краевой выработке – С_б=129 мг/м³; градиент вскрыши – К_{вскр}=20 мг/м³; средняя мощность вскрыши – М_в=4,3 м; мощность продуктивного пласта – М_{пп}=0,95 м, удельный вес золота при 900 пробности – р=17,9 мг/мм³. Золотина медианного класса условно принимается изометричной формы, коэффициент уплощения К_у=0,14; коэффициент надежности – К=6.

Объем золотины рассчитывался по формуле:

$$V_3 = \pi \times (D/2)^2 \times K_y = 3,14(1,71/2)^2 \times 0,14 = 0,32 \text{ мм}^3.$$

Масса золотины рассчитывалась по формуле:

$$q = V_3 \times p = 0,32 \times 17,9 = 5,74 \text{ мг.}$$

Среднее содержание рассчитывалось по формуле:

$$C = \frac{M_b}{M_{пп}} \times K_{вскр} + C_b = \frac{4,3}{0,95} \times 20 + 129 = 219,5 \frac{\text{мг}}{\text{м}^3}.$$

Объем пробы составил:

$$V = \frac{K \times q}{C} = \frac{6 \times 5,74}{219,5} \times 1000 = 157 \text{ л.}$$

В результате расчета минимальный объем пробы при таких параметрах должен составить не менее 157 литров.

В свою очередь, объем пробы единичной выработки (скважина) при разведке 191-м диаметром долота и мощности продуктивного пласта 0,95 м составил 28,4 литра – это меньше расчетных 157 литров. Достоверность результатов для оконтуривающей выработки при таких параметрах составляет (28,4/157)×100=18 %. Отсюда следует, что при разведке краевых выработок и узких контуров необходимо увеличивать объем отбираемого материала не менее чем в 5,5 раз (157/28,4=5,5). Таким образом, к запасам категории С₁ можно относить блоки, в подсчете которых участвуют шесть и более скважин, из которых возможен отбор минимально необходимого материала в объеме не менее 157 литров.

Заключение

Установлено, что для россыпного месторождения золота ручья Балаганнах объем пробы по одному сечению, необходимый для корректного подсчета запасов, составляет 157 литров.

При разведке узких контуров массы отбираемой пробы недостаточно. В данном случае необходимо использовать кустовое бурение скважинами с диаметром долота не менее 191 мм или бурение большим диаметром. Также для получения достоверных данных возможно использование методики размыва горных пород на продуктивном интервале.

Для увеличения достоверности подсчета запасов возможно использование поправочного коэффициента. Такой вариант предусмотрен методическими рекомендациями при достаточно жестком обосновании коэффициента.

Применение специализированных программ для подсчета запасов, таких как Datamine, Micromine, Leapfrog, позволит, используя весь арсенал статистических методов обработки данных, проводить подсчет запасов, близкий к фактическим значениям.

Там, где это позволяет мощность рыхлых отложений, рекомендуется использовать проходку канав, что существенно улучшит качество опробования и достоверность результатов.

Перечисленные мероприятия наряду с приведенными расчетами позволят увеличить сходимость данных разведочных работ с фактическими показателями содержания золота по месторождению. Полученные результаты могут успешно применяться на россыпных месторождениях Нерской золотоносной зоны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перспективы развития минерально-сырьевой базы алмазов и золота Российской Федерации / А.И. Иванов, С.С. Вартамян, А.И. Черных, А.Г. Волчков, Ю.К. Голубев, В.С. Звездов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2016. – № 3. – С. 15–23.
2. Иванов А.И., Черных А.И., Вартамян С.С. Состояние, перспективы развития и освоения минерально-сырьевой базы золота в Российской Федерации // Отечественная геология. – 2018. – № 1. – С. 18–28.
3. Иванов А.И., Черных А.И., Вартамян С.С. Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы золота в Российской Федерации // Смирновский сборник. – 2018. – С. 10–29.
4. Черных А.И., Иванов А.И., Алексеев Я.В. Развитие минерально-сырьевой базы золота субъектов Российской Федерации в 2005–2018 гг. // Отечественная геология. – 2020. – № 1. – С. 21–28.
5. Алексеев Я.В., Попов И.В. «Заявительный принцип», основные результаты работ на алмазы, благородные и цветные металлы // Отечественная геология. – 2021. – № 4–5. – С. 3–10.
6. Благородные металлы Российской Федерации – состояние минерально-сырьевой базы и перспективы её развития / А.И. Иванов, Я.В. Алексеев, А.И. Черных, Е.А. Наумов, Д.А. Куликов, А.С. Тарасов, О.М. Конкина, К.М. Минькин, И.В. Попов // Отечественная геология. – 2022. – № 1. – С. 3–25.
7. Youngson J.H., Craw D. Variation in placer style, gold morphology, and gold particle behavior down gravel bed-load rivers: an example from the Shotover/Arrow-Kawarau-Clutha River system, Otago, New Zealand // Economic Geology. – 1999. – V. 94. – № 5. – P. 615–634.
8. Morphology and chemistry of placer gold from Attappadi Valley, Southern India / M. Nakagawa, M. Santosh, C.G. Nambiar, C. Matsubara // Gondwana Research. – 2005. – V. 8. – № 2. – P. 213–222.
9. Geophysical survey of deep alluvial gold in terms of bolotist deposit / I.Yu. Rasskazov, N.G. Shkabarnya, V.S. Litvintsev, G.N. Shkabarnya // Eurasian Mining. – 2017. – V. 2. – P. 3–7.
10. Geostatistical and GIS analysis of the spatial variability of alluvial gold content in Ngoura-Colomines area, Eastern Cameroon: implications for the exploration of primary gold deposit / J.D. Takodjou Wambo, S. Ganno, Y.S. Djonthu Lahe, G.D. Kouankap Nono, D.H. Fossi, M.S. Tchouatcha, J.P. Nzenti // Journal of African Earth Sciences. – 2018. – V. 142. – P. 138–157.
11. Small-scale surface mining of gold placers: detection, mapping, and temporal analysis through the use of free satellite imagery / E. Ibrahim, L. Lema, P. Barnabé, P. Lacroix, E. Pirard // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2020. – V. 93. – 102194.
12. Characterisation of alluvial gold exploration data to improve gold recovery in Ghana / G. Foli, K. Agyemang, B.A. Brako, S.K.Y. Gawu, P.M. Nude // Arabian Journal of Geosciences. – 2020. – V. 13. – № 20. – 1105.
13. Exploration methodology using morphology and alloy composition of alluvial gold: a case study from quaternary deposits of the Nowshera District, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan / L. Ali, R. Chapman, M. Farhan, M.T. Shah, S.A. Khattak, A. Ali // Mining, Metallurgy and Exploration. – 2021. – V. 38. – № 1. – P. 367–377.
14. Nikiforova Z. Criteria for determining the genesis of placers and their different sources based on the morphological features of placer gold // Minerals. – 2021. – V. 4. – P. 1–23.
15. Оленченко В.В., Осипова П.С. Электротомография аллювиальных отложений при поисковых работах на россыпное золото // Геология и геофизика. – 2022. – Т. 63. – № 1. – С. 117–129.
16. Semeihan T., Bold U. Placer Gold Deposits // Modern Approaches in Solid Earth Sciences. – 2021. – V. 19. – P. 103–128.
17. Epithermal gold deposits: styles, characteristics and exploration / J.W. Hedenquist, E. Izawa, A. Arribas, N.C. White // Resource Geology. – 1996. – V. 1. – P. 1–15.
18. Савчук Ю.С., Асадуллин Э.Э., Волков А.В., Аристов В.В. Уникальное месторождение золота Мурунтау (Узбекистан): геодинамическая позиция и происхождение рудообразующей системы // Геология рудных месторождений. – 2018. – Т. 60. – № 5. – С. 413–447.
19. Волков А.В., Сидоров А.А. Прогнозно-поисковая модель месторождений золота, связанных с интрузивами гранитоидов арктической зоны России // Арктика: экология и экономика. – 2018. – № 3 (31). – P. 84–99.
20. Mineralogy of the Svetloye epithermal district, Okhotsk-Chukotka volcanic belt, and its insights for exploration / T.Yu. Yakich, Y.S. Ananyev, A.S. Ruban, R.Y. Gavrilov, D.V. Lesnyak, D.V. Levochkaia, O.V. Savinova, M.A. Rudmin // Ore Geology Reviews. – 2021. – V. 136. – 104257.
21. Malloch K., Kerr G., Craw D. Placer gold in the Cretaceous Blue Spur Conglomerate at Waitahuna, southern New Zealand // New Zealand Journal of Geology and Geophysics. – 2017. – V. 60. – № 3. – P. 239–254.
22. Колпаков В.В., Нестеренко Г.В., Неволько П.А., Жмодик С.М. Минералого-геохимическая характеристика и вероятные коренные источники самородного золота россыпей Кельбес-Золотокитатского района (северная часть Кузнецкого Алатау) // Геосферные исследования. – 2021. – № 3. – С. 42–55.
23. Лавров Н.П., Милентьев В.В. Практическое пособие по эксплуатации промывочных установок и шлюхообогажительных фабрик. – Магадан: Кордис, 2005. – 206 с.
24. Кавчик Б.К. Ситовый анализ и определение гранулометрических характеристик россыпного золота. Методические рекомендации. – Иркутск: Иргиредмет, 2001. – 15 с.
25. Шаманский Л.И. Способы определения содержания металла в россыпи по результатам бурения – Иркутск: тип. «Вост.-Сиб. правда», 1948. – 44 с.
26. Учитель М.С. Разведка россыпей. – Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1987. – 246 с.

Поступила 10.07.2022 г.

Информация об авторах

Собянин И.Ю., студент отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Гаврилов Р.Ю., кандидат геолого-минералогических наук, доцент отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Собянин Ю.П., главный геолог ООО «БАЛАГАННАХ ГОЛД».

UDC 553.411.071:553.048

METHODOLOGICAL ASPECTS OF CALCULATING THE RELIABLE VOLUME OF A SLUDGE SAMPLE ON THE EXAMPLE OF A PLACER GOLD DEPOSIT IN THE BALAGANNAKH STREAM (REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA))

Ivan Yu. Sobyenin¹,
iys9@tpu.ru

Roman Yu. Gavrilov¹,
Gavrilovry@tpu.ru

Yuri P. Sobyenin²,
yuri_sob63@mail.ru

¹ National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.

² LLC Balagannakh gold,
27-41, Lenin street, Republic of Sakha (Yakutia), Ust-Nera, 678730, Russia.

The relevance of the study lies in the need for reliable calculation of the reserves of placer gold deposits using the entirety of geological, mineralogical and statistical information, which in the future will allow using this calculation as a basis for designing exploration work on placer deposits in this area.

The purpose: calculation of the required volume of a sludge sample to achieve sufficient reliability of the sampling results for a correct calculation of reserves. To achieve this goal, the following tasks were solved: the calculation formula for the volume of the sludge sample was selected and justified; the nature of gold distribution in the placer, which affects the volume of sampling, was taken into account; the required volume of a sludge sample was calculated using the example of a placer gold deposit.

Methods: mineralogical studies, statistical data processing.

Object: the results of testing exploration wells and data obtained during the operation of the field.

Results. It was established that for the Balagannakh placer gold deposit, the sample volume in one section, which is necessary for the correct calculation of reserves, is 157 liters. When exploring narrow contours, it is necessary to use cluster drilling with wells with a bit diameter of at least 191 mm or drilling with a large diameter up to 400 mm. Also, to obtain reliable data, it is possible to use the method of rock erosion in the productive interval. To increase the reliability of the calculation of reserves, it is possible to use correction factors. The use of specialized programs for calculating reserves using the methods of mathematical statistics will make it possible to calculate reserves that are close to actual values. Where the thickness of loose sediments allows, it is recommended to use ditching, which will significantly improve the quality of sampling and obtain reliable results.

Key words:

Balagannakh stream deposit, placer gold, sludge sampling, reliability of sampling results, inventory count.

REFERENCES

- Ivanov A.I., Vartanyan S.S., Chernykh A.I., Volchkov A.G., Golubev Yu.K., Zvezdov V.S. Prospects for the development of the mineral resource base of diamonds and gold in the Russian Federation. *Mineral resources of Russia. Economics and Management*, 2016, no. 3, pp. 15–23. In Rus.
- Ivanov A.I., Chernykh A.I., Vartanyan S.S. Status, prospects for the development and development of the mineral resource base of gold in the Russian Federation. *Otechestvennaya geologiya*, 2018, no 1, pp. 18–28. In Rus.
- Ivanov A.I., Chernykh A.I., Vartanyan S.S. Sostoyanie i perspektivy razvitiya mineralno-syryevoy bazy zolota v Rossiyskoy Federatsii [Status and prospects for the development of the mineral resource base of gold in the Russian Federation]. *Smirnovsky collection*, 2018, pp. 10–29.
- Chernykh A.I., Ivanov A.I., Alekseev Ya.V. Development of the mineral resource base of gold in the constituent entities of the Russian Federation in 2005–2018. *Otechestvennaya geologiya*, 2020, no. 1, pp. 21–28. In Rus.
- Alekseev Ya.V., Popov I.V. «Declaration principle», the main results of work on diamonds, precious and non-ferrous metals. *Otechestvennaya geologiya*, 2021, no. 4–5, pp. 3–10. In Rus.
- Ivanov A.I., Alekseev Ya.V., Chernykh A.I., Naumov E.A., Kulikov D.A., Tarasov A.S., Konkina O.M., Minkin K.M., Popov I.V. Precious metals of the Russian Federation – the state of the mineral resource base and the prospects for its development. *Otechestvennaya geologiya*, 2022, no. 1, pp. 3–25. In Rus.
- Youngson J.H., Craw D. Variation in placer style, gold morphology, and gold particle behavior down gravel bed-load rivers: an example from the Shotover/Arrow-Kawarau-Clutha River system, Otago, New Zealand. *Economic Geology*, 1999, vol. 94, no. 5, pp. 615–634.
- Nakagawa M., Santosh M., Nambiar C.G., Matsubara C. Morphology and chemistry of placer gold from Attappadi Valley, Southern India. *Gondwana Research*, 2005, vol. 8, no. 2, pp. 213–222.
- Rasskazov I.Yu., Shkabarnya N.G., Litvintsev V.S., Shkabarnya G.N. Geophysical survey of deep alluvial gold in terms of bolotisty deposit. *Eurasian Mining*, 2017, vol. 2, pp. 3–7.
- Takodjou Wambo J.D., Ganno S., Djonthu Lahe Y.S., Kouankap Nono G.D., Fossi D.H., Tchouatcha M.S., Nzenti J.P. Geostatistical and GIS analysis of the spatial variability of alluvial gold content in Ngoura-Colomines area, Eastern Cameroon: implications for the exploration of primary gold deposit. *Journal of African Earth Sciences*, 2018, vol. 142, pp. 138–157.
- Ibrahim E., Lema L., Barnabé P., Lacroix P., Pirard E. Small-scale surface mining of gold placers: Detection, mapping, and temporal analysis through the use of free satellite imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2020, vol. 93, 102194.
- Foli G., Agyemang K., Brako B.A., Gawu S.K.Y., Nude P.M. Characterisation of alluvial gold exploration data to improve gold recovery in Ghana. *Arabian Journal of Geosciences*, 2020, vol. 13, no. 20, 1105.
- Ali L., Chapman R., Farhan M., Shah M.T., Khattak S.A., Ali A. Exploration Methodology Using Morphology and Alloy

- Composition of Alluvial Gold: A Case Study from Quaternary Deposits of the Nowshera District, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. Mining, Metallurgy and Exploration, 2021, vol. 38, no. 1, pp. 367–377.
14. Nikiforova Z. Criteria for determining the genesis of placers and their different sources based on the morphological features of placer gold. *Minerals*, 2021, vol. 4, pp. 1–23.
 15. Olenchenko V.V., Osipova P.S. Electrical Resistivity Tomography of Alluvial Deposits during Prospecting for Placer Gold. Russian Geology and Geophysics, 2022, vol. 63, no. 1, pp. 117–129. In Rus.
 16. Semeihan T., Bold U. Placer Gold Deposits. *Modern Approaches in Solid Earth Sciences*, 2021, vol. 19, pp. 103–128.
 17. Hedenquist J.W., Izawa E., Arribas A., White N.C. Epithermal gold deposits: styles, characteristics and exploration. *Resource Geology*, 1996, vol. 1, pp. 1–15.
 18. Savchuk Y.S., Asadulin E.E., Volkov A.V., Aristov V.V. Unique gold deposit Muruntau (Uzbekistan): geodynamic position and origin of the ore-forming system. *Geology of Ore Deposits*, 2018, vol. 60, no. 5, pp. 413–447.
 19. Volkov A.V., Sidorov A.A. Predictive-search model of gold deposits associated with granitoid intrusions of the Arctic zone of Russia. *Arctic: ecology and economy*, 2018, no. 3 (31), pp. 84–99. In Rus.
 20. Yakich T.Y., Ananyev Y.S., Ruban A.S., Gavrillov R.Y., Lesnyak D.V., Levochskaia D.V., Savinova O.V., Rudmin M.A. Mineralogy of the Svetloye epithermal district, Okhotsk-Chukotka volcanic belt, and its insights for exploration. *Ore Geol. Rev.*, 2021, vol. 136, 104257.
 21. Malloch K., Kerr G., Craw D. Placer gold in the Cretaceous Blue Spur Conglomerate at Waitahuna, southern New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 2017, vol. 60, no. 3, pp. 239–254.
 22. Kolpakov V.V., Nesterenko G.V., Nevolko P.A., Zhmodik S.M. Mineralogical-geochemical characteristic and the potential ore sources of placer native gold in kelbes-zolotokitat region (North Kuznetsk Alatau). *Geosfernye Issledovaniya*, 2021, no. 3, pp. 42–55.
 23. Lavrov N.P., Milentiev V.V. *Prakticheskoe posobie po ekspluatatsii promyshlennykh ustanovok i shlikhoobogatitelnykh fabrik* [A practical guide to the operation of washing plants and schlichho-concentrating factories]. Magadan, Kordis Publ., 2005. 206 p.
 24. Kavchik B.K. *Sitovy analiz i opredelenie granulometricheskikh kharakteristik rossypnogo zolota. Metodicheskie rekomendatsii* [Sieve analysis and determination of the granulometric characteristics of alluvial gold. Guidelines]. Irkutsk, Irgiredmet Publ., 2001. 15 p.
 25. Shamansky L.I. *Sposoby opredeleniya sodержaniya metalla v rossypi po rezul'tatam bureniya* [Methods for determining the metal content in the placer based on the results of drilling]. Irkutsk, Pravda Publ., 1948. 44 p.
 26. Uchitel M.S. *Razvedka rossypey* [Placer exploration]. Irkutsk, Irkutsk university Publ., 1987. 246 p.

Received: 10 July 2022.

Information about the authors

Ivan Yu. Sobyenin, student, National Research Tomsk Polytechnic University.

Roman Yu. Gavrillov, Cand. Sc., associate professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

Yuri P. Sobyenin, chief geologist, LLC BALAGANNAKH GOLD.