

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОЛИЧЕСТВА ГОРНОЙ МАССЫ НА ЕДИНИЦУ МЕТАЛЛА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОСВОЕНИЯ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА

Н. С. Батугина¹, Е. А. Хоютанов¹, С. М. Ткач¹

¹ Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН, Якутск, Россия

Аннотация: Проведен анализ горно-геологических и горно-технических показателей разработки россыпных месторождений открытым способом в Оймяконском, Алданском и Нерюнгринском районах Республики Саха (Якутия). Показано, что за период с 2008 г. по 2020 г. производительность по горной массе выросла в среднем в 4–6 раз, отмечается постоянное снижение среднего содержания в песках. Бортовое содержание в пробе снизилось с 0,07–0,08 до 0,03–0,05 г/м³ даже для россыпей в удаленных и труднодоступных районах северо-востока Республики Саха (Якутия); разубоживание песков при разработке остается крайне высоким и доходит до 35 – 37%. Установлено, что себестоимость добытого металла линейно зависит от комплексного показателя – количества горной массы на единицу добытого металла. Показатель включает как технологические (потери драгоценного металла, разубоживание, извлечение), так и геологические (мощность торфов, песков, содержание металла в недрах) факторы. Полученную зависимость можно использовать при детальной и эксплуатационной разведке для геометризации, исключения из добычи некондиционных песков, составления планов развития горных работ, уменьшения разубоживания и тем самым улучшения показателей деятельности горного предприятия.

Ключевые слова: золото, открытая раздельная добыча, потери, разубоживание, горная масса, россыпное месторождение, эффективность, геометризация, достоверность запасов.

Для цитирования: Батугина Н. С., Хоютанов Е. А., Ткач С. М. Оценка влияния количества горной массы на единицу металла на эффективность освоения россыпных месторождений золота // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 12-1. – С. 39–47. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_121_0_39.

Influence of the ratio between amount of overburden and unit of gold produced on the efficiency of gold placer mining

N. S. Batugina¹, E. A. Khoiutanov¹, S. M. Tkach¹

¹ N. V. Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

Abstract: The analysis of geological and geotechnical parameters of open pit placer mining in the Oymyakon, Aldan and Neryungri Regions in the Republic of Sakha (Yakutia) shows that over the period from 2008 to 2020 stripping ratio has grown by 4–6 times at an average while

and cutoff grade has been continuously dropping. In placers in the remote and hard-to-reach areas in the northeast of the Republic, the cutoff grade has dropped from 0.07–0.08 to 0.03–0.05 g/m³, and dilution is extremely high and sometimes reaches 35–37 %. It is shown that metal mining cost linearly depends on the aggregated factor—ratio of the amount of overburden and unit of gold produced. This factor integrates both production data (gold loss, dilution, recovery) and geological data (overburden thickness, gold content). The aggregated factor can be used for geometrization in operation exploration and detailed 2D seismic, for elimination of low-grade sand from extraction, for planning of mining operations, reduction in dilution and, thereby, for improvement of mine performance.

Key words: gold, selective open pit mining, loss, dilution, amount of overburden, placer, efficiency, geometrization, reliability.

For citation: Batugina N. S., Khoiutanov E. A., Tkach S. M. Influence of the ratio between amount of overburden and unit of gold produced on the efficiency of gold placer mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(12-1):39–47. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_121_0_39.

Введение

Добыча россыпного золота на территории Республики Саха (Якутия) ведется с середины XIX века, в промышленных масштабах — с 30-х годов прошлого века, наибольший объем был отмечен в 70-е годы (в 1978 г. составил 36 414 кг). В начале 90-х гг. наметилась тенденция снижения объемов добычи, связанная с реорганизацией золотодобывающей отрасли, а также с сокращением запасов россыпного золота. Стабилизировать ситуацию икратно увеличить объемы добычи удалось в последние годы прежде всего за счет

рудного золота, доля которого возросла с 10% (1991 г.) до 67% (2020 г.) (рис. 1). По сравнению с 2010 г. в последние годы отмечено увеличение добычи из россыпей (с 8 688 кг в 2010 г. до 13 355,97 кг в 2020 г.). В настоящее время большинство крупных перспективных месторождений россыпного золота в республике уже разведано и отработано. Небольшие запасы золота, которые сохранились на отработанных участках, вынуждают большинство золотодобывающих предприятий переносить свою деятельность на новые, более удаленные и труднодоступные

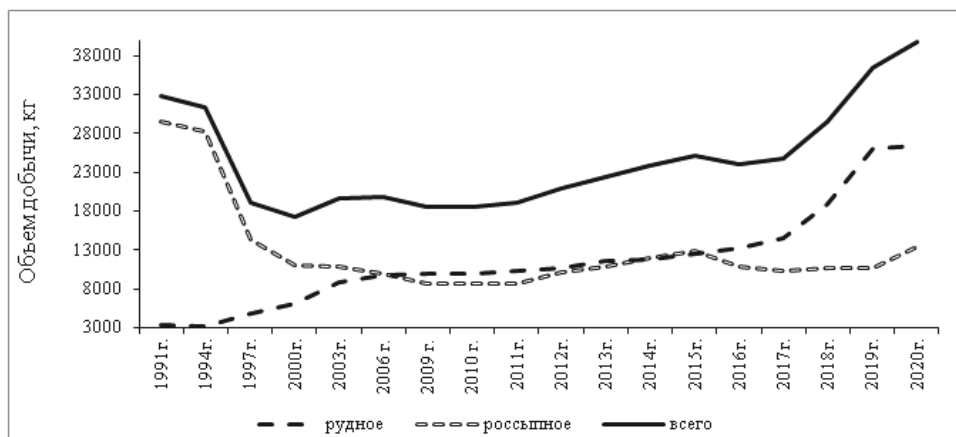


Рис. 1. Динамика добычи золота в РС (Я) за 1991–2020 гг.

Fig. 1. Dynamics of gold mining in the Republic of Sakha (Yakutia) for 1991–2020

участки, расположенные на северо-востоке Якутии, с более низкими содержаниями и более высокими удельными капитальными и эксплуатационными затратами.

Существующая минерально-сырьевая база (МСБ) россыпного золота позволяет добывать 10 — 12 т золота в год. В целом обеспеченность запасами золота по россыпным месторождениям составляет 25 лет. Как отмечается в работе [1], многие объекты осваиваются более 50 лет и уже в значительной степени отработаны. Большинство россыпей относится к категории бедных с низким и средним содержанием — 0,2 — 1 г/м³, реже до 1,5 — 1,7 г/м³. Разрабатываются только россыпи, пригодные к отработке открытым способом.

Из всего комплекса факторов, влияющих на эффективность разведки и разработки россыпных месторождений, основное внимание в научных источниках уделяется исследованиям по совершенствованию техники и систем разработки, а также повышению эффективности извлечения мелкого и тонкого золота. Такие аспекты, как геометризация, геостатистический анализ и обоснование оптимальных контуров практически не затрагиваются [2 — 9 и др.]. Это приводит к общим негативным последствиям. Несмотря на значительный технический прогресс, разубоживание песков при разработке, возникающее вследствие недостоверного определения контуров, остается крайне высоким и доходит до 40%. Как показал анализ деятельности горнодобывающих предприятий, только за счет более достоверного определения промышленного контура можно исключить из отработки до 20 — 30% песков и снизить себестоимость 1 г металла. В Институте горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН (С. А. Батугин, Н. П. Церишенко, Р. М. Кылатчанов

и др.) проводились подобные исследования с 80-х годов прошлого столетия [10 — 11].

Само по себе понятие «месторождение полезного ископаемого» является двойственным. С одной стороны, это понятие геологическое, статическое, характеризующее скопление в недрах какого-либо вещества, которое потенциально может быть использовано промышленностью, и относится оно практически ко всем недрам в целом. С другой стороны, это понятие динамическое — та часть скопления полезного ископаемого, которая в планируемый период пригодна для экономически эффективного использования, что обусловлено достигнутым и планируемым уровнем развития техники, технологии, организации использования недр.

Методы

Задача отнесения горно-технологических показателей на единицу объема недр, а не на единицу товарной продукции, требует рассматривать месторождение как множество элементарных объемов, каждый из которых отличается количеством и качеством полезного ископаемого, условиями залегания, физико-механическими свойствами и др. В связи с тем, что техника и технология зависят от структуры, количества и качества запасов, а они, в свою очередь, от технико-технологического уровня добычи, оценку запасов можно произвести только для конкретного горнодобывающего предприятия с учетом текущих цен на золото [12 — 14]. Техника и технология постоянно совершенствуются, соответственно этому изменяются экономические показатели эффективности отработки месторождения. Запасы месторождения являются динамическими, постоянно корректируются в течение производственного процесса освоения недр.

Для оценки зависимости себестоимости от количества горной массы на единицу металла на россыпных месторождениях золота Якутии предлагается следующий порядок исследования. Во-первых, проанализировать основные горно-геологические и горно-технические факторы, которые влияют на себестоимость конечной продукции. С этой целью исследованы показатели отработки 22 месторождений россыпного золота в Оймяконском, Алданском, Нерюнгринском районах Республики Саха (Якутия) за период с 2008 по 2020 гг. Были изучены следующие факторы: годовой объем вскрышных и рекультивационных работ; объем добычи и промывки песков; среднее содержание в песках; производительность участков (производственная мощность) по горной массе; потери и разубоживание песков; себестоимость 1 м³ вскрышных работ; себестоимость добычи и промывки 1 м³ песков; себестоимость 1 г добытого металла.

Во-вторых, рассмотреть зависимость между полной себестоимостью добычи 1 г драгоценного металла и переработанной горной массой, отнесенной на 1 г металла.

В статье использовались аналитические методы сбора и обработки информации, а также сравнительный и статистический анализ.

Результаты

Анализ горно-геологических и горно-технологических показателей выявил следующее.

В настоящее время обеспеченность предприятий по добыче россыпного золота разведанными запасами чрезвычайно низкая. Разведанные запасы пополняются как за счет приобретения лицензий, так и путем эксплуатационной разведки в районах разраба-

тываемых месторождений. На многих месторождениях поисковыми разведками открываются новые промышленные участки, в результате сроки отработки увеличиваются. Кроме того, запасы при отработке увеличиваются еще за счет коэффициента намыва, который обычно бывает больше единицы (только в редких исключениях меньше). Новые площади вовлекаются в отработку и обрабатываются за короткое время. В сложившихся условиях новые площади и месторождения, за исключением удаленных и очень крупных, а таких все меньше, можно рассматривать как участки старательских артелей, где уже существует производственная база. Производственная деятельность предприятий по добыче россыпного золота привязана к определенной территории, в пределах которой происходит постоянное изменение количества и пространственного расположения участков добычи.

Производительность (производственная мощность) участков по горной массе на открытых работах постоянно возрастает, рост в среднем до 4,5–6 раз, по отдельным участкам — до 10 раз. Это объясняется увеличением объема горно-подготовительных, вскрышных, рекультивационных работ в связи с увеличением глубины отработки.

Коэффициент вскрыши варьируется в широком диапазоне. Открытым способом обрабатываются участки с коэффициентом вскрыши (усредненно по месторождениям) от 1,1 до 5,5, редко до 7,2 и выше.

Можно отметить снижение среднего содержания золота в песках. В среднем по исследуемым предприятиям содержание золота в песках за анализируемый период уменьшилось в 1,7 раза с 1,7 до 1 г/м³. В настоящее время среднее содержание для открытого раздель-

ного способа в исследуемых районах колеблется в основном от 0,7 – 1,2 г/м³. Россыпи в основном бедные по содержанию золота. Существенно снизились значения кондиций. Так, бортовые содержания в пробе даже для удаленных участков в Оймяконском районе уже составляют 30 – 50 мг/м³ против 70 – 80 мг/м³ в начале 2000-х годов. Минимально-промышленные содержания снизились в среднем с 0,2 до 0,1 – 0,12 г/м³. Вводятся в эксплуатацию объекты в труднодоступных районах, удаленных от населенных пунктов и без инфраструктуры.

Проведенный анализ показывает, что себестоимость добычи и промывки песков стабильно возрастает на 12 – 15% на всех операциях добычи золота за исследуемый период. Это говорит о том, что ухудшение горно-геологических условий отработки и повышение цен на энергоносители и материалы неизбежно приводят к повышению себестоимости добычи металла. Скорость повышения себестоимости на открытой раздельной добыче выше, чем снижение среднего содержания. Если подобная динамика изменения среднего содержания и себестоимости будет наблюдаться и впредь, то без постоянного роста цен неизбежен перевод части балансовых запасов в забалансовые. Для уменьшения разницы между скоростью снижения среднего содержания и скоростью увеличения затрат горнодобывающие предприятия неизбежно должны увеличивать среднее содержание в добываемых песках, так как другие факторы они могут изменить лишь частично (организация производства, приобретение новой техники) или совсем не могут изменить (колебание цен).

Вместе с тем, повышения среднего содержания можно достичь и другими способами, например, производя

детальную геометризацию горно-геологических параметров месторождения с количественной оценкой их достоверности. Это позволит без существенных дополнительных затрат исключить добычу убогих или некондиционных песков, повысить среднее содержание в добытых песках, обеспечить рациональную эксплуатацию недр каждым золотодобывающим предприятием.

При технико-экономическом обосновании кондиций считают, что себестоимость добычи металла тесно связана с такими факторами, как производительность предприятия по горной массе, географо-экономическое положение месторождения, система и способ отработки, уровень технической оснащенности предприятия, удаленность от баз снабжения, способ обеспечения энергией, глубина залегания полезного ископаемого, среднее содержание металла и др. Эти факторы на стадии геолого-экономической оценки месторождения не могут быть определены абсолютно достоверно, кроме того, они имеют разные веса при оценке удельной себестоимости добычи 1 г золота в различных условиях геологоразведочных и эксплуатационных работ. Отсюда возможны два основных направления для эффективной отработки месторождения:

1. Детальная проработка проекта эксплуатации месторождения с подсчетом прямых и накладных расходов по всем основным статьям затрат. Именно таким образом расчет ведется при обосновании кондиций. Эта методика достаточно трудоемкая и крайне ненадежная в связи с прогнозными и недостоверными показателями исходных горно-геологических и горно-технических показателей. Получаемые расчетным путем значения кондиций считаются точными значениями и этим создают иллюзию полной достовер-

ности результатов геолого-экономической оценки россыпи, хотя это далеко не так.

2. Выбор основных факторов, влияющих на себестоимость добычи полезного ископаемого, аппроксимация выявленных зависимостей в аналитической или численной форме и расчет на этой основе необходимых показателей предстоящей эксплуатации с количественной оценкой их достоверности.

Ниже приведены результаты анализа основных полученных зависимостей на основе обработки данных золотодобывающих предприятий.

Обсуждение результатов

Рассмотрена зависимость себестоимости от количества горной массы на единицу металла (ГМ). Известно, что количество горной массы на единицу получаемого металла — комплексный фактор, учитывающий содержание металла в недрах, объемы песков, вскрыши, разубоживание, потери драгоценного металла на всех стадиях передела. Тогда для открытой добычи количество горной массы на единицу металла составит:

$$ГМ = \frac{V_B + V_n^1}{Q}, \quad (1)$$

где V_B — объем вскрыши и рекультивации, м³; $V_n^1 = V_n(1 + P - \Pi)$ — объем добычи и переработки (промывки, обогащения) песков, м³; $Q = V_n^2 \cdot C \cdot J$ — объем добычи и выпуска конечной продукции (химически чистого золота), г; $V_n^2 = V_n(1 - \Pi)$ — объем песков, извлекаемых из промышленного контура, м³; P — коэффициент разубоживания, доли ед.; Π — коэффициент потерь, доли ед.; C — среднее содержание металла в недрах, г/м³; J — коэффициент извлечения, доли ед.

При подстановке указанных формул в уравнение (1) получаем:

$$ГМ = \frac{K + (1 + P - \Pi)}{(1 - \Pi)CJ}, \quad (2)$$

где K — эксплуатационный коэффициент вскрыши, м³/м³.

На рис. 2 показана связь между полной себестоимостью 1 г золота и объемом горной массы, отнесенной на единицу металла (ГМ).

В себестоимость 1 грамма золота включены затраты по основным горно-

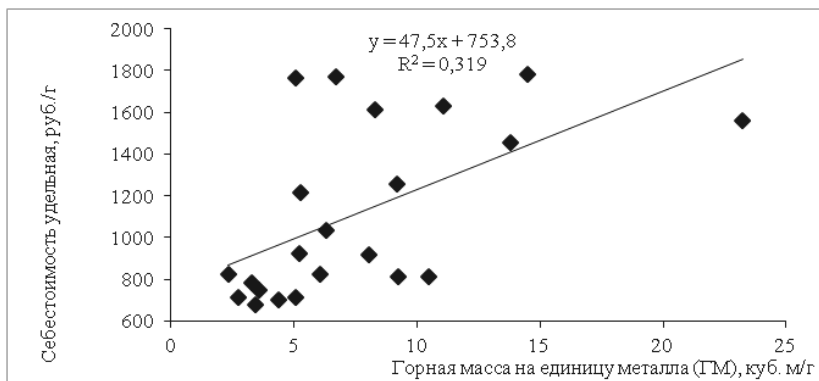


Рис. 2. График зависимости себестоимости единицы металла от количества горной массы на единицу металла для месторождений золота Оймяконского, Алданского, Нерюнгринского районов (открытый способ)

Fig. 2. Graph of the dependence of the cost of a unit of metal and the amount of rock mass per unit of metal for the gold placer deposits of the Oymyakonsky, Aldansky, Neryungrinsky regions (open-cast mining)

технологическим переделам и общехозяйственным расходам: добыча песков; промывка песков; монтаж-демонтаж промывочных приборов; горно-подготовительные работы (ГПР); вскрышные работы, рекультивация земель, общехозяйственные расходы, включая налоги в себестоимости продукции и затраты на аффинаж.

Коэффициент корреляции невысокий и составляет 0,56. Это объясняется различными затратами на горно-подготовительных, вскрышных работах, на добыче и промывке песков, а при использовании отчетности старательских артелей эти данные не всегда возможно получить, поэтому расчетная себестоимость 1 г металла менее надежна.

Уравнение регрессии имеет вид:

$$C = 47,5GM + 753,8, \quad (3)$$

где C — полные затраты на добычу 1 г металла.

Регрессия, рассчитанная с вероятностью 95%, имеет вид:

$$C = 47,5GM + 753,8 \pm \pm(463,6 + 15,1GM). \quad (4)$$

По формулам (3–4) рассчитываются полные удельные затраты на единицу добытого металла (под полными затратами имеются в виду расходы на горно-подготовительные, вскрышные работы, добычу и промывку песков, рекультивацию, вспомогательные работы, затраты на аффинаж, административные и прочие расходы, а также налоги, учитываемые в себестоимости продукции). Если недропользователь уже ведет отработку на данном участке и владеет информацией о фактической удельной себестоимости 1 м³ вскрыши, себестоимости добычи и промывки 1 м³ песков, тогда достоверность формулы (4) будет ниже. При отсутствии фактических показателей данные приходится брать из ТЭО

кондиций. В этом случае их достоверность может быть оценена только экспертным методом.

Все факторы, которые учитываются при расчете количества горной массы на единицу металла и себестоимости единицы, не могут быть определены совершенно достоверно. Всегда будут существовать какие-то причины, которые мы учесть не можем и которые в условиях добычи драгметалла будут влиять на отклонение этих факторов в ту или иную сторону.

Заключение

Проведен анализ горно-геологических и горно-технических показателей разработки россыпных месторождений, осуществляющих добычу россыпного золота открытым раздельным способом в Оймяконском, Алданском, Нерюнгринском районах РС (Я) за период 2008–2020 гг. Установлено, что себестоимость добытого металла линейно коррелирует от комплексного показателя — количества горной массы на единицу добытого металла. Показатель включает как горно-геологические (мощность торфов, песков, содержание металла), так и технологические (разубоживание, потери) факторы. По рассчитанным зависимостям можно с достаточной точностью определить удельную себестоимость добычи 1 г золота на стадии детальной и эксплуатационной разведки.

Полученную зависимость (3) можно использовать при детальной и эксплуатационной разведке для геометризации запасов, исключения из добычи некондиционных (убогих) песков, уменьшения потерь металла в недрах, снижения разубоживания и тем самым улучшения показателей эффективности деятельности горного предприятия. Оценка может быть только вероятностной в связи с прогнозным характером горно-геологических показателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лаломов А. В., Бошнева А. А., Чефранов Р. М., Чефранова А. В. Россыпные месторождения Арктической зоны России: современное состояние и пути развития минерально-сырьевой базы // *Арктика: экология и экономика*. – 2015. – № 2 (18). – С. 66–77.
2. Кузнецова И. В. Проблемы выделения наноразмерного золота при россыпной золотодобыче на примере Приамурья // *Руды и металлы*. – 2014. – № 4. – С. 52–57.
3. Опарин В. Н., Секисов А. Г., Трубачев А. И., Смоляницкий Б. Н., Салихов В. С., Зыков Н. В. Перспективные технологии разработки золотороссыпных месторождений Забайкальского края // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. – 2017. – № 3 (53). – С. 489–496.
4. Косьянов В. А., Брюховецкий О. С., Секисов А. Г., Грабский А. А. Перспективные техника и технология разведки техногенных золотосодержащих минеральных образований // *Горный журнал*. – 2020. – № 12. – С. 16–20.
5. Александрова Т. Н., Литвинова Н. М., Богомяков Р. В. К вопросу извлечения мелкодисперсного золота из песков россыпных месторождений // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2009. – S14. – С. 505–512.
6. Stepanov V. A., Mel'nikov A. V. Tokur gold ore-placer cluster in Amur Province: Geological-structural features and perspective of its development // *Geology of Ore Deposits*. – 2017. – Vol. 59. – Iss. 2. – PP. 131–140.
7. Alam M., Li S.-R., Santosh M., Yuan M.-W. Morphology and chemistry of placer gold in the Bagrote and Dainter streams, northern Pakistan: Implications for provenance and exploration // *Geological Journal*. – 2019. – Vol. 54. – Iss. 3. – PP. 1672–1687.
8. Ермакова Ю. В., Курторгин В. И. Оценка достоверности разведочных работ на россыпном месторождении платины в нижнем течении р. Уоргалан // *Руды и металлы*. – 2015. – № 2. – С. 36–44.
9. Bochneva A., Lalomov A. Geostatistical model of placer deposits of heavy minerals // *Proceedings of IAMG 2015 – 17th Annual Conference of the International Association for Mathematical Geosciences*. – 2015. – PP. 1052–1056.
10. Ткач С. М., Батугин С. А. Классификация рудных и россыпных месторождений с кластерной организацией запасов // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2009. – № 6. – С. 16–23.
11. Батугина Н. С., Ткач С. М., Хютанов Е. А. Оценка точности расчета минимально-промышленного содержания золота в россыпных месторождениях // *Горный журнал*. – 2020. – № 12. – С. 45–48. DOI: 10.17580/gzh.2020.12.09.
12. Asad MWA, Qureshi, MA, Jang, H. A review of cut-off grade policy models for open pit mining operations // *Resources Policy*. – 2016. – No. 49. – PP. 142–152. DOI: 10.1016/j.resourpol.2016.05.005.
13. Githiria J., Musingwini C. A stochastic cut-off grade optimization model to incorporate uncertainty for improved project value // *Journal of the Southern African institute of mining and metallurgy*. – 2019. – Vol. 119. – No. 3. – PP. 217–228. DOI: 10.17159/2411–9717/2019/119n3a1.
14. Pinyi Zhang, Bicong Ci Deep belief network for gold price forecasting // *Resources Policy*. – 2020. – No. 69. 101806. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101806>

REFERENCES

1. Lalomov A. V., Bochneva A. A., Chefranov R. M., Chefranova A. V. Alluvial deposits of the Russian Arctic: current status and development of the mineral and raw material base. *Arktika: ekologiya i ekonomika*. 2015, no. 2 (18), pp. 66–77. [In Russ].
2. Kuznetsova I. V. The problems of nanogold extraction during the mine from placers in case of Priamurie. *Ores and metals*, 2014, no. 4, pp. 52–57. [In Russ].
3. Oparin V. N., Sekisov A. G., Trubachev A. I., Smolyanickij B. N., Salihov V. S., Zykov N. V. Promising Mining Technologies for Gold Placers in Transbaikalia. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh*. 2017, no. 3 (13), pp. 489–496. [In Russ]. DOI: 10.1134/S1062739117032415.

4. Kos'yanov V. A., Bryuhoveckij O. S., Sekisov A. G., Grabskij A. A. Promising technology and equipment for exploration of gold-bearing manmade mineral deposits. *Gornyj zhurnal*. 2020, no. 12, pp. 16–20. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2020.12.03.
5. Aleksandrova T. N., Litvinova N. M., Bogomyakov R. V. In relation to the extraction of fine gold from sands of placer deposits. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2009, no. S14, pp. 505–512. [In Russ].
6. Stepanov V. A., Mel'nikov, A. V. Tokur gold ore-placer cluster in Amur Province: Geological–structural features and perspective of its development. *Geology of Ore Deposits*, vol 59, iss 2, pp. 131–140. DOI: 10.1134/S1075701517020039.
7. Alam M., Li S.-R., Santosh M., Yuan M.-W. Morphology and chemistry of placer gold in the Bagrote and Dainter streams, northern Pakistan: Implications for provenance and exploration. *Geological Journal*, vol 54, iss 3, pp. 1672–1687.
8. Ermakova Yu. V., Kutorgin V. I. Lower Uorgalan platinum placer: estimating the exploration reliability. *Ores and metals*, 2015, no. 2, pp. 36–44. [In Russ].
9. Bochneva A., Lalomov A. Geostatistical model of placer deposits of heavy minerals. Proceedings of IAMG 2015 17th Annual Conference of the International Association for Mathematical Geosciences. 2015. pp. 1052–1056.
10. Tkach S. M., Batugin S. A. The classification of ore and placer cluster deposits. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2009, no. 6, pp. 16–23. [In Russ].
11. Batugina N. S., Tkach S. M., Khoiutanov E. A. Assessment of computational accuracy of minimum commercial value for gold placers. *Gornyi Zhurnal*. 2020, no. 12, pp. 45–48. [In Russ].
12. Asad MWA, Qureshi MA, Jang H. A review of cut-off grade policy models for open pit mining operations. *Resources Policy*. 2016, no. 49, pp. 142–152. DOI: 10.1016/j.resourpol.2016.05.005.
13. Githiria J., Musingwini C. A stochastic cut-off grade optimization model to incorporate uncertainty for improved project value. *Journal of the Southern African institute of mining and metallurgy*. 2019 vol. 119, no. 3, pp. 217–228. DOI: 10.17159/2411–9717/2019/v119n3a1.
14. Pinyi Zhang, Bicong Ci Deep belief network for gold price forecasting. *Resources Policy*. 2020, vol. 69, 101806. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101806>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Батугина Наталья Сергеевна*¹ — докт. экон. наук, доцент, гл. науч. сотр., batuginan@mail.ru;
*Хоютанов Евгений Александрович*¹ — канд. техн. наук, науч. сотр., khoiutanov@igds.ysn.ru;
*Ткач Сергей Михайлович*¹ — докт. техн. наук, директор, tkach@igds.ysn.ru;

¹ Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», 677980, г. Якутск, пр. Ленина, 43.

Для контактов: *Батугина Н. С.*, e-mail: batuginan@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Batugina N. S.*¹, Dr. Sci. (Econ.), Chief Researcher, batuginan@mail.ru;
*Khoiutanov E. A.*¹, Cand. Sci. (Eng.), Researcher, khoiutanov@igds.ysn.ru;
*Tkach S. M.*¹, Dr. Sci. (Eng.), Director, tkach@igds.ysn.ru;

¹ N. V. Chersky Mining Institute of the North of the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia, Lenin Ave, 43.

Corresponding author: *Batugina N. S.*, e-mail: batuginan@mail.ru

Получена редакцией 18.07.2021; получена после рецензии 25.10.2021; принята к печати 10.11.2021.

Received by the editors 18.07.2021; received after the review 25.10.2021; accepted for printing 10.11.2021.