

РЕГУЛИРОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ДОБЫЧЕ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ ПЕСКОВ РОССЫПЕЙ ЯКУТИИ

А.М. Бураков

Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения РАН,
Якутск, Россия, e-mail: ambur@igs.ysn.ru

Аннотация: В Республике Саха (Якутия) до настоящего времени, несмотря на опережающее развитие рудной золотодобычи, до половины золота по-прежнему добывается из россыпных месторождений. Горнотехнические условия месторождений закономерно ухудшаются в связи с выработкой запасов, наиболее удобных для выемки и обогащения. Большое количество мелкого золота в ассоциации с глинистыми минералами приводит к потерям ценного компонента. Для крупных месторождений важное значение имеет неоднородность содержания металла в контуре добычи, что требует селективной разработки запасов и комбинирования обрабатываемых блоков по содержанию, а также проведения геотехнологической подготовки (формирования «техногенной залежи» с заданными параметрами). Изложенное определяет актуальность разработки мероприятий по стабилизации среднего содержания металла в процессе добычи золотосодержащих песков как на россыпном месторождении р. Б. Куранах, так и на других россыпях. По обзору методических материалов в качестве основы для разработки мероприятий приняты: горнотехнические условия, закономерности распределения полезного компонента между участками и блоками, порядок погашения участков (блоков), геотехнологическая подготовка различными способами, комбинация дражной и бульдозерно-экскаваторной разработки, способ комбинированной переработки золотосодержащих песков, минимизация объемов переработки песков за счет отсеивания непродуктивной фракции. Установлены закономерности распределения полезного компонента в контуре месторождения, рекомендован к применению способ комбинированной переработки песков, сокращение объемов переработки золотосодержащих песков, подаваемых на обогащение, за счет отсеивания непродуктивной фракции. Оценена целесообразность применения геотехнологической подготовки россыпей на крупных месторождениях со сложной геометрией залегания продуктивного пласта. Рекомендована система мероприятий для стабилизации среднего содержания металла в процессе добычи золотосодержащих песков россыпи.

Ключевые слова: россыпь, мелкое золото, глинистость, содержание металла, комбинированная переработка, минимизация объемов, мероприятия, стабилизация.

Для цитирования: Бураков А. М. Регулирование содержания металла при добыче золотосодержащих песков россыпей Якутии // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 8. – С. 23–37. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_8_0_23.

Metal content control in placer gold mining in Yakutia

A.M. Burakov

Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia, e-mail: ambur@igds.ysn.ru

Abstract: In the Republic of Sakha (Yakutia) down to recent time, despite the faster growth of gold production, half gold produced is yet extracted from placers. Geotechnical conditions of mineral mining naturally deteriorate with depletion of readily mineable and processable reserves. Many fine gold and clay associations lead to high loss of the valuable component. In case of large-size mineral deposits, it is important whether the metal content of mineable reserves is uniform or not, as the latter requires selective extraction, with combination of extraction blocks with the same content, and needs geotechnical preparation, i.e. creation of a manmade deposit with the preset parameters. All these facts actualize elaboration of measures aimed at stabilization of average metal content of gold ore produced at placers, including, the placer at the Bolshoi Kuranakh River. The review of the relevant guidelines enabled defining some basic criteria in this respect: geotechnical conditions, distribution pattern of useful components per extraction sites and blocks, extraction sequence, geotechnical preparation of extraction blocks, combination of dredging and dozer-and-shovel excavation, mixed-type processing of gold-bearing sand, minimization of processing volume by screening-out of unproductive fraction. The distribution patterns of useful components inside the pay zone boundaries are determined. The recommended processing method is mixed-type, with reduction in processing volume of gold-bearing sand by screening-out of unproductive fraction. The expediency of geotechnical preparation of large-size placers with complex geometry of a productive stratum is evaluated. A package of stabilization measures is recommended for the metal content of the reserves produced during gold placer mining.

Key words: placer, fine gold, clay content, metal content, mixed-type processing, volume minimization, measures, stabilization.

For citation: Burakov A. M. Metal content control in placer gold mining in Yakutia. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(8):23-37. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_8_0_23.

Введение

Республика Саха (Якутия) относится к важнейшим минерально-сырьевым и горнопромышленным регионам Российской Федерации, в том числе занимает видное место в добыче золота из россыпных месторождений. Рудная золото-добыча в республике выходит на первый план [1], однако на россыпные месторождения по-прежнему приходится около половины всей добычи, при этом значительная часть полезного ископаемого (половина или более) представлена мел-

ким и тонким золотом. Наибольшими удельными запасами мелкого золота характеризуются Южно-Якутский (80%), Куларский (50%) и Адычанский (40%) районы [2]. Основные запасы мелкого золота приходятся на Южно-Якутский район, где расположена погребенная россыпь Б. Куранах, содержащая более 60% запасов россыпного золота района.

Россыпь Б. Куранах принадлежит к числу наиболее крупных, содержащих мелкое и тонкое золото, имеет значительную изменчивость горно-геологи-

ческих параметров на всем своем протяжении (до 22 км). В настоящее время при разработке россыпи основное применение имеет дражный способ (250- и 380-л драги). Опыт работы показано, что процесс добычи независимо от типа применяемого оборудования сопровождается постоянными колебаниями среднего содержания золота. Наличие в балансовых блоках определенной части (от 5 до 15%) некондиционных песков также влияет на уровень среднего содержания, в результате чего снижаются технико-экономические показатели отработки. Неоднородность содержания, большое количество мелкого золота в ассоциации с глинистыми минералами приводит к потерям ценного компонента.

Изложенное определяет актуальность разработки мероприятий по стабилизации среднего содержания металла в процессе добычи золотосодержащих песков как на россыпном месторождении р. Б. Куранах, так и на других россыпях.

По обзору методических материалов в качестве основы для разработки мероприятий приняты: горнотехнические условия месторождений, закономерности распределения полезного компонента между участками и блоками, порядок погашения участков (блоков), геотехнологическая подготовка (формирование «техногенной залежи») различными способами, комбинация дражной и бульдозерно-экскаваторной разработки, способ комбинированной переработки золотосодержащих песков, минимизация объемов переработки песков за счет отсеивания непродуктивной фракции.

Обзор методических материалов

Из классических работ в области управления качеством продукции горного предприятия (Г.Г. Ломоносов, А.К. Порцевский и др.) известно, что «горные работы по своей сути не могут повышать природное качество полезного ископае-

мого в данном конкретном его объеме. Но, изменяя объемы полезного ископаемого, добытого на разных участках месторождения и в различные сроки, возможно, в известной мере, управлять процессом формирования качества ископаемого, отгружаемого потребителю». Относительно темы статьи важно утверждение, что «управлять процессом формирования качества рудной массы можно, например, за счет введения в контуры обрабатываемой залежи участков с более богатой или бедной рудой, изменяя последовательность разработки блоков с разным составом руд и др. На практике понятие управления качеством продукции горного предприятия часто сужают, обозначая им лишь какую-то одну сторону процесса, например, обеспечение содержания полезных компонентов в добытой руде или только стабилизацию показателей качества». Следовательно, при добыче золотосодержащих песков на россыпных месторождениях показатель их качества вполне корректно приравнять к содержанию металла (золота) в добытых песках.

В добыче руд известны технические решения [3], позволяющие «при добыче богатых, хорошо обогащаемых руд одновременно вовлекать широкий спектр бедных и труднообогатимых руд, как правило, сдерживающих развитие фронта горных работ и обеспечить стабилизацию качества шихты подаваемого на обогатительную фабрику рудного потока». Предусматривается не просто усреднение по содержанию полезных компонентов и вредных примесей, но и корректировка методом сепарации, качества бедных и труднообогатимых руд до качества богатых, хорошо обогащаемых руд с последующим усреднением.

Стабилизация качества руд на месторождениях в большинстве случаев производится путем предварительного

технологического картирования типов руд, добычи различных по качеству руд, удаления породной части потоков рудной массы методами сортировки и усреднения. На россыпных месторождениях сортировка и усреднение, как правило, не производятся, а содержание металла «усредняется» по технико-экономическим показателям добычи в масштабе сезона.

Применительно к россыпным месторождениям первоначально производится анализ пространственного распределения полезного компонента в массиве, при необходимости — геотехнологическая подготовка россыпей различными способами [4—5], выбор способа обработки, далее — удаление покрывающего слоя вскрышных пород, добыча и обогащение песков.

При этом в зависимости от установленных закономерностей распределения полезного компонента между участками, блоками и геологическими разрезами, а также от характеристик добываемых песков, в технологическую цепь включаются дополнительные составляющие, может быть применен способ комбинированной переработки песков [6], использованы рекомендации по сокращению объемов золотосодержащих песков, подаваемых на обогащение, за счет отсеивания непродуктивной фракции [7].

Вопросы изменчивости геометрии рудных тел золота и других ценных минералов с целью разработки в дальнейшем систем или технологических схем стабилизации их качества рассматривались в ряде зарубежных источников, в том числе в работах Южноафриканского института горного дела и металлургии.

S.F. Burks [8] описал методы оптимизации процессов добычи и переработки платиновых руд, обеспечивающие повышение финансовой привлекательности проекта за счет принятия эффектив-

ных решений в области долгосрочного планирования уже на стадии предварительной оценки проекта.

N. Morales и P. Reyes [9] представляют модель, позволяющую рассматривать планирование добычи в сочетании с системой добычи при различных уровнях детализации системы: от стандартного подхода «источник-потребитель» до сложной сети с различными вариантами переработки ископаемого.

L. Chanderman, C.E. Dohm, R.C.A. Minnitt [10] представили результаты 3D-моделирования и оценки ресурсов месторождения золота в Мали. В статье говорится, что оценка и классификация минеральных ресурсов в значительной степени зависят от достоверности модели геометрии рудного тела при ограниченном объеме исходных данных. Таким образом, понимание геологии месторождения имеет основополагающее значение для процесса оценки минеральных ресурсов. Поэтому по мере поступления новых данных разведочного бурения необходимо обновлять и уточнять геологическую модель для достоверной оценки минеральных ресурсов.

Исследование эффективности шлюзового метода извлечения мелких фракций золота, проведенное на аллювиальных россыпях Гвианы и Южной Америки, описано в [11].

Ранее в работе [12] была выдвинута идея технологической кластеризации россыпи на основе критерия раздельной разработки отдельных технологических кластеров, учитывающего обогатимость и содержание полезных компонентов в их естественных скоплениях (блоках) с тем, чтобы предопределить порядок переработки в последовательной цепи обогащения.

Геотехнологическая подготовка месторождений [4—5] известна как одно из перспективных направлений, позволяющих значительно повысить эффек-

тивность освоения золотосодержащих россыпей. Под этим термином понимается целенаправленное вещественное или структурное преобразование залежей полезных ископаемых и массивов вмещающих пород с целью повышения доступности минеральных ресурсов для современных горных технологий. Для россыпных месторождений это преобразование с целью формирования «техногенной залежи» с заданными параметрами, обеспечивающими эффективную и безопасную разработку дражным способом, может быть реализовано на основе известных и широко используемых горных технологий [13]. По результатам исследований [14], обоснована целесообразность применения данной технологии при освоении остаточных и неактивных запасов, в том числе террасовых россыпей.

Применение геотехнологической подготовки россыпей может быть целесообразным не только в случаях, рассмотренных в [4–5, 13–14], но и на крупных месторождениях со сложной геометрией залегания продуктивного пласта, осложняющей дражную разработку песков, таких как россыпь р. Б. Куранах. Как известно, на полноту отработки песков и качество извлечения золота влияет ряд факторов, таких как потери в межходовых целиках внутри выемочного участка, потери в межходовых целиках и первичное разубоживание вследствие зачистки пород плотика, потери в угловых целиках при подходе драги по нормали к борту и развороте, вторичное разубоживание от перекрытия смежных ходов при переработке дражных отвалов, вторичное разубоживание породами вскрыши при выемке межходовых и угловых целиков и др. Представляется вероятным, что уменьшение количества операций маневрирования драги в числе вышеперечисленных будет способствовать повышению эффективности дражных работ.

В работе [15] на примере золотоносной россыпи р. Хомолхо предложена технология по преобразованию россыпного месторождения путем формирования пласта из золотосодержащих песков периферийных россыпей в пространстве базовой россыпи, т.е. создание объединенной, более крупной по масштабам и более ценной залежи полезного ископаемого. Технология ориентирована на более полное использование ресурсного потенциала месторождения с одновременным улучшением условий добычных работ драги. Данный подход может быть представлен в виде последовательности:

- предварительная подготовка пространства россыпи с производством вскрышных работ для размещения вовлекаемых песков;
- удаление торфов в отвалы с наметенных к освоению периферийных площадей россыпи;
- отделение продуктивных отложений от массива периферийных площадей россыпи;
- перемещение вовлекаемых золотосодержащих песков на полигон;
- укладка полезного ископаемого в искусственно создаваемый пласт с заданными параметрами на специально подготовленную поверхность в границах базовой части россыпи.

Совокупность этих процессов в итоге обеспечивает формирование техногенной залежи, которая в дальнейшем подлежит драгированию. В качестве технических средств для перечисленного комплекса работ возможно применение широко распространенных видов оборудования — тяжелых бульдозеров, шагающих экскаваторов.

При попутном вовлечении в разработку запасов террасовой россыпи в результате удаления вскрыши, крупных валунов, перевалки, транспортировки и складирования золотосодержащих пе-

сков с террасы на кровлю продуктивного пласта долинной россыпи и т.д. осуществляется достаточно качественная подготовка песков к драгированию.

По способу разработки глубоких россыпей (патент РФ № 2107164) предварительная подготовка песков к драгированию осуществляется механическим способом с широким применением землеройной техники, например экскаваторов типа драглайн или механической лопаты, бульдозеров. Предварительная подготовка позволяет уменьшить прочность перерабатываемых, в том числе мерзлых, валунистых песков, обеспечить оптимальные параметры драгирования, сократить потери полезного компонента в целиках и плотике россыпи, уменьшить разубоживание песков, а также значительно повысить экологичность технологии в целом. Технология прошла успешно промышленную апробацию на предприятиях золотодобычи Восточной Сибири [16].

Данная технология позволяет:

- увеличить производительность драги на 10%;
- в 2 – 3 раза уменьшить потери металла в целиках;
- на 20% сократить разубоживание песков;
- сократить водопотребление и затраты на рекультивацию разрушенных земель в 1,5 – 1,8 раза;
- уменьшить занятость земель горными работами в 1,2 – 1,9 раз;
- уменьшить степень расчлененности техногенного рельефа в 2 – 3 раза.

Следует также упомянуть об альтернативной дражному способу технологии, основанной на использовании плавучих золотомоек [17]. Сущность данной технологии заключается в сочетании экскаваторной добычи и дражного обогащения. Загрузка песков осуществляется непосредственно в приемный бункер плавучей золотомойки. Данный

способ соединяет отдельные плюсы дражного и раздельного способов разработки и характеризуется высокой производительностью и простотой. Однако в России подобная технология получила ограниченное применение [18 – 20].

С этой технологией переключается предложенный в [21] комбинированный способ разработки россыпей, соединяющий преимущества раздельного и дражного способов разработки. Суть способа заключается в том, что перед драгированием на площади дражного хода сначала проводят вскрышные работы до кровли пласта песков, затем послыное оттаивание песков на наклонном забое, включающее их выемку, переэкскавацию, удаление крупных валунов и задирку прочного плотика, и, наконец, собственно драгирование. Для неглубоких мерзлых россыпей на подготовке песков может быть использовано бульдозерное оборудование, иногда в сочетании с погрузчиками. По мере нарастания мощности продуктивных отложений, которое часто сопровождается увеличением валунистости и крепости рыхлых отложений, становится целесообразным использование при подготовке дражных запасов экскаваторов.

Предварительная подготовка продуктивных отложений путем их механической переработки позволяет использовать драгу не столько как выемочное оборудование, сколько как обогатительное. Драга как плавающая обогатительная фабрика (промывочная установка) будет обеспечивать поточность производства с утилизацией хвостов промывки в выработанном пространстве. В целом реализация предлагаемого способа позволяет не только увеличить производительность драги, снизить потери песков и полезных компонентов, но и значительно повысить экологическую чистоту горных работ.

Важным дополнением к реализации способа является кратное снижение стоимо-

мости драги и возможность использования модульного метода изготовления, позволяющего более чем вдвое снизить удельную металлоемкость на 1 м³ производительности.

Перечисленные технические решения по стабилизации качества руд и песков послужили основой для разработки мероприятий по стабилизации среднего содержания металла при добыче золотосодержащих песков россыпи р. Б. Куранах.

Содержание методики

Рассматриваемая россыпь принадлежит к числу наиболее крупных, содержащих мелкое и тонкое золото, характеризуется сравнительно невысокими содержаниями золота, большой глубиной залегания, высоким содержанием глин, обуславливающим плохую промывистость песков. Общие балансовые запасы, утвержденные по категории В и С₁, составили 61 035,2 т химически чистого золота, 235 487,7 тыс. м³ песков (табл. 1). Основная часть запасов принадлежит участкам 3 и 4.

С использованием горно-геологических информационных систем, стандартных пакетов по обработке статистиче-

ской информации выполнено моделирование условий отработки и получены статистические характеристики распределения содержания металла в продуктивном контуре. Наибольшую долю высоких (более 0,3 г/м³) содержаний имеют участки, ограниченные разведочными линиями 220–248, 196–218 и 118–136 (табл. 2).

Неравномерность сосредоточения запасов характерна как для технологических участков (табл. 1), так и для участков между разведочными линиями (рис. 1–2). Существуют значимые статистические различия содержаний металла в песках между участками, блоками, разведочными линиями (табл. 2). Это приводит к колебаниям среднего суточного, декадного, месячного и сезонного содержания.

Для россыпи минимальное промышленное содержание гравитационно-извлекаемого химически чистого золота в блоке при средних условиях составляет 229 мг/м³ (по данным ООО «АкадемГЕО», 2016 г. В соответствии с этим значением путем анализа уровней содержания металла в блоках и участках рассчитано граничное содержание полезного компонента в областях между

Таблица 1

Горнотехническая характеристика и запасы россыпи р. Б. Куранах

Reserves and geotechnical characteristics of placer at the Bolshaya Kuranakh River

Показатель	В целом	По технологическим участкам			
		1	2	3	4
Разведочные линии	30–248	30–84	84–140	140–196	196–248
Мощность отложений по блокам, м	8,7	11,3	8,7	10,8	13,4
	54,2	36,5	39,9	45,5	54,2
Вскрышные породы, млн м ³	110,86	4,44	16,63	29,00	60,78
Пески, млн м ³	235,49	6,9	30,49	79,46	118,64
Содержание, г/м ³	0,26	0,19	0,24	0,2	0,31
Балансовые запасы золота, т	61,03	1,33	7,42	15,97	36,31
%%	100	2,3	12,3	24,2	61,2

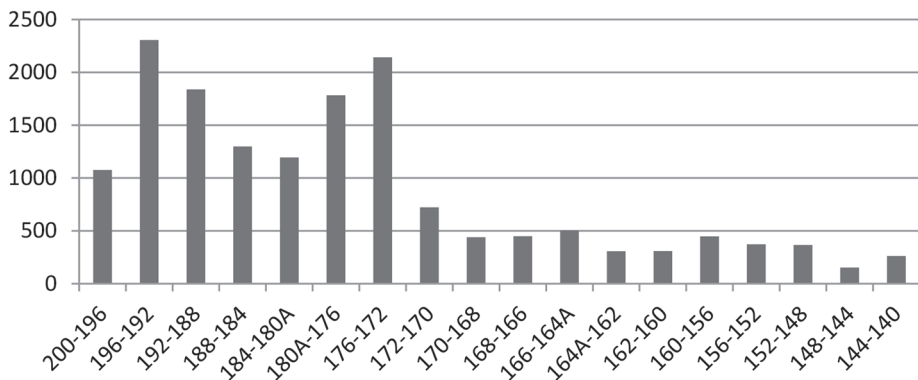


Рис. 1. Распределение запасов металла, кг. 196 – 140 разведочные линии
 Fig. 1. Distribution of metal reserves, kg; 196–140 – exploration lines

Таблица 2

Частота распределения результатов опробования по содержанию
Content sampling data density

Участки, р. л.	Содержание, г/м ³ , в %				
	до 0,1	0,1–0,15	0,15–0,3	0,3–0,5	более 0,5
30 – 77	51,2	37,7	9,3	1,4	0,4
80 – 116	24,3	46,5	25,7	2,2	1,3
118 – 136	13,9	31,8	37,5	11,0	5,8
140 – 168	28,7	48,9	18,8	2,5	1,1
170 – 192	22,8	49,4	26,6	1,2	0
196 – 218	6,7	28,4	49,4	14,5	1,0
220 – 248	27,0	30,3	26,1	11,8	4,8

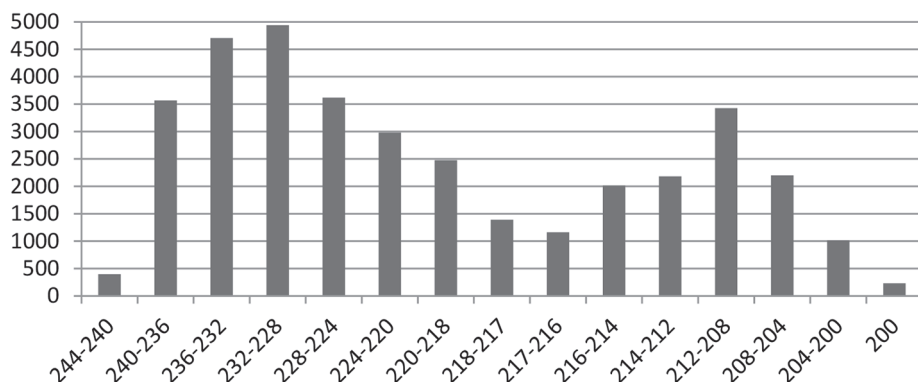


Рис. 2. Распределение запасов металла, кг. 248 – 196 разведочные линии
 Fig. 2. Distribution of metal reserves, kg; 248–196 – exploration lines

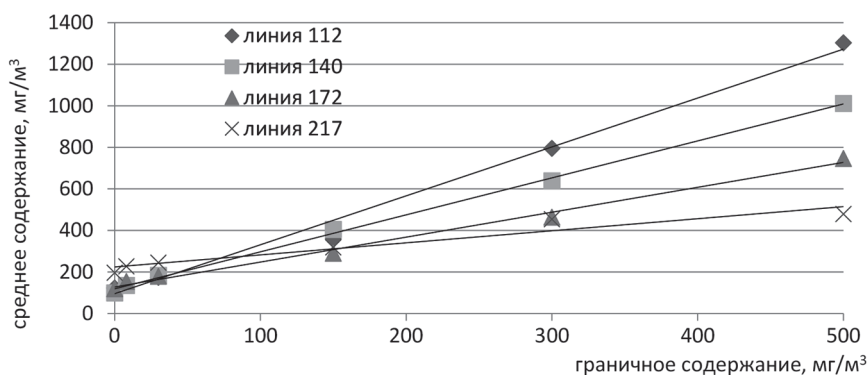


Рис. 3. Взаимосвязи среднего и граничного содержания

Fig. 3. Interconnect of average and boundary contents

разведочными линиями и установлена взаимосвязь, характеризующая изменение среднего содержания в расчетной области при включении в нее дополнительных объемов песков с меньшим или большим (граничным) содержанием (рис. 3).

По критерию выдерживания минимального промышленного содержания в расчетные области возможно включение дополнительных объемов с содержанием: для линии 112 — 58 мг/м³; линии 140 — 63 мг/м³; линии 172 — 87 мг/м³; линии 217 — 14 мг/м³. Далее, с применением технико-экономического анализа возможна корректировка границ рудного тела на россыпном месторождении сложного строения, с реализацией принципа дифференцированных эксплуатационных кондиций.

Установленные закономерности распределения полезного компонента в контуре месторождения заключаются в следующем:

- наибольшее поступление металла в россыпь наблюдается на участках р.л. № 248 — 196; 140 — 84, где концентрируется 75% запасов золота месторождения;
- самые богатые блоки (4-С₁, 5-С₁, 6-С₁, 7-С₁) расположены напротив устья руч. Раздольного, считающегося одним из источников питания россыпи. Наи-

большее среднее содержание золота наблюдается в блоках: 2-С₁, 3-С₁, 4-С₁. Золотоносность россыпи в глубину максимальная на участке № 4, минимальная на участке № 1. Количество золота по простиранию россыпи уменьшается;

- по всему месторождению распределение золота характеризуется широким диапазоном содержания (от 0,07 до 2 г/м³) и изменением размеров зон концентрации металла. Среднее содержание металла в целом невысокое, преобладающее количество (до 85%) геологических проб заключено в диапазоне не более 0,5 г/м³;

- неравномерность сосредоточения запасов характерна как для участков месторождения, так и для отдельных блоков между разведочными линиями. В балансовые блоки при оконтуривании запасов включается определенная доля некондиционных песков, которая может составлять 5 — 15%.

Анализ горнотехнических условий и опыта отработки показал, что в зависимости от параметров обрабатываемых участков могут быть применены бульдозерный, экскаваторный и дражный способы отработки в различных комбинациях. При значительном содержании валунов в песках целесообразна их предварительная подготовка к драгированию.

Таблица 3

Влияние глинистости песков на извлечение золота
Effect of clay content on gold recovery

Глинистость, %	Извлечение товарного золота		Доля извлекаемых запасов
	от общего	от амальгамируемого	
До 20	64	98	40,1
20 – 40	53	78	46,9
40 – 60	33	65	12,6
Более 60	13	58	0,4
Всего	51,8	82,5	100,0

На отдельных блоках возможно применение отдельного способа с предварительной сортировкой песков на грохотах и обогащением по отсадочной технологии. Опыт промывки песков прибором ГГМ-3 на участке раздельной добычи «Труженик» показал, что производительность промывки составляет до 70 м³/ч, при том, что этот прибор предназначен для переработки легкопромывистых валунистых песков и менее эффективен на промывке глинистых труднопромывистых песков, которые в большинстве своем встречаются на месторождении.

Извлекаемое гравитацией золото россыпи очень мелкое: зерна менее 0,5 мм составляют 82%, а менее 0,25 мм — 45%. Средняя пробность 945. По лабораторным данным ИРГИредметом оценен уровень извлечения золота от степени глинистости песков на верхнем участке россыпи (табл. 3) и показано его существенное изменение.

Для повышения производительности добычного и обогащающего оборудования на переработке высокоглинистых песков с мелким и тонким золотом в ИГДС разработан новый способ комбинированной переработки песков [6], который позволяет рассчитывать на дополнительное извлечение металла в объеме до 10%, при данном гранулометрическом составе песков и металла

россыпи. В этом способе предусмотрена стадия создания концентрированного обогащенного слоя золотосодержащего материала путем управляемого осаждения.

Способ включает в себя предварительное разделение песков по качеству, выемку добычным оборудованием, позволяющим подобрать оптимальную крупность материала, подаваемого на промывку, гидравлическую сортировку песков различного качества в непосредственной близости от места добычи. Получившаяся пульпа транспортируется по двум потокам, один, с высоким содержанием — непосредственно на обогащение, а второй, с меньшим содержанием — в промежуточную емкость, где происходит классификация материала по плотности. Промежуточная емкость (емкости) в дальнейшем используется как источник классифицированного материала для обогащения.

При обосновании способа был проведен обзор материалов по особенностям гранулометрического состава металла и вмещающих песков, процесса осаждения и способов управления им, намыва поверхности хранилища, забора продуктивной пульпы различной консистенции. В частности, было уделено внимание вопросу определения конечных скоростей падения твердых тел в среде, предварительно оценена эффективность

гравитационного разделения материалов в воде по уравнению Т.Г. Фоменко, с использованием результатов исследований В.Е. Кислякова, рассмотрены работы по интенсификации процесса миграции ценных компонентов и формированию обогащенного слоя. Достаточный объем исследований в этой области был также проведен сотрудниками ИГД ДВО РАН В.С. Литвинцевым, В.С. Алексеевым, Г.П. Пономарчуком [22 – 23].

Область практического применения способа [6] на золотоносных россыпях может включать в себя месторождения с мелким, тонким золотом и высокой глинистостью пород. Согласно выполненному в ИГДС СО РАН анализу, наибольшим количеством мелкого золота (более 50% от общих запасов) характеризуются месторождения Алданского, Усть-Майского, Усть-Янского, Верхоянского районов Якутии.

Предложенные в [6, 12] способы при их применении в соответствии с предварительно выполненной геометризацией запасов позволят существенно повысить эффективность разработки блоков и участков месторождения, отличающихся уровнем содержания, технологическими свойствами металла, свойствами вмещающих песков.

Для условий золотороссыпных месторождений Якутии для различных типов промывочных приборов разработаны рекомендации по сокращению объемов переработки некондиционного сырья при минимальных потерях полезного компонента, учитывающие granulометрию песков и технологические свойства металла, что достигается рациональной компоновкой технологической цепи переработки песков [7]. Сокращение объемов золотосодержащих песков, подаваемых на обогащение, за счет отсеивания непродуктивной фракции позволяет использовать более эф-

фективные, хотя и малопроизводительные обогатительные аппараты.

Разработана и предложена совмещенная granulометрическая шкала металла и песков с целью систематизации их granulометрического состава и приведения его к требованиям методических материалов по расчету потерь полезного компонента. По данной совмещенной шкале выполняется расчет технологических потерь металла при использовании на промывке песков различных типов обогатительных приборов и определяется минимально возможная крупность, или предельная граница отсеиваемого класса. С целью обоснования уровня сокращения объемов переработки некондиционного сырья анализируется систематизированный granulометрический состав песков и металла во взаимосвязи с характеристиками дезинтеграционных узлов различных типов промывочных приборов, определяются зависимости изменения предельных границ классов крупности некондиционного сырья, отсеиваемого в процессе дезинтеграции.

Рекомендованы границы крупности отсева некондиционного сырья для различного granulометрического состава песков и металла и применяемых обогатительных приборов на основе рассчитанной границы присутствия золотосодержащего класса.

По установленным зависимостям объемы некондиционного сырья рассчитываются путем сравнения того или иного класса отсева различных типов обогатительных приборов с золотосодержащим классом песков данного конкретного месторождения. Минимизация объемов переработки достигается при крупности отсева, превышающей максимальный класс крупности металла.

Пример расчета для месторождений Оймяконского района Якутии показал, что для промывочного прибора типа ГГМ уменьшение объемов промывки

при изменении граничной фракции с 50 мм до 30 мм находится в пределах 7,0–27,9%.

Результаты

Для стабилизации среднего содержания металла в процессе добычи золото-содержащих песков россыпи рекомендуется следующая система мероприятий:

- по проведенному анализу горнотехнических условий и показателей пространственного распределения полезного компонента определить область применения способов открытой разработки, обеспечивающую полноту и селективность выемки запасов;

- проводить геотехнологическую подготовку россыпи различными методами с целью формирования «техногенной залежи» с заданными параметрами [4], обеспечивающими эффективную и безопасную разработку дражным способом при одновременной достаточно качественной подготовке песков к драгированию;

- при добыче песков в блоках с высоким содержанием золота одновременно вовлекать в разработку блоки, не обрабатываемые по причине его низкого содержания, что сдерживает развитие фронта горных работ, при этом обеспечивая поддержание среднего содержания в соответствии с установленными кондициями по россыпи (рис. 3);

- применять комбинированный способ разработки россыпей, изложенный в [21], с использованием драги как плавающей обогатительной фабрики и применением модульного метода изготовления драг, позволяющего более чем вдвое снизить удельную металлоемкость на 1 м^3 производительности;

- повышать производительность добычного и обогатительного оборудования на переработке высокоглинистых песков с мелким и тонким золотом, используя способ комбинированной пере-

работки песков [5], который позволяет рассчитывать на дополнительное извлечение металла в объеме до 10%;

- сокращать объемы золотосодержащих песков, подаваемых на обогащение, за счет отсеивания непродуктивной фракции [6], что позволяет использовать более эффективные обогатительные аппараты и добиться минимальных потерь полезного компонента.

Заключение

Обзор методических материалов, анализ горнотехнических условий, опыта отработки, характеристик металла и песков показал, что, кроме традиционных технических решений, таких как селективная выемка запасов и изменение порядка их отработки, для стабилизации содержания металла надо применять и другие способы, адаптированные для конкретного месторождения, такие как геотехнологическая подготовка, комбинированная переработка песков, минимизация объемов их переработки за счет отсеивания непродуктивной фракции.

Установлены закономерности распределения полезного компонента в контуре россыпного месторождения, источники поступления металла в древние отложения, зоны наибольшей концентрации золота в глубину и по простиранию, диапазоны содержания и особенности сосредоточения запасов.

По проведенному анализу горнотехнических условий, показателей распределения содержания металла, опыту отработки показано, что в зависимости от параметров обрабатываемых участков могут быть применены бульдозерно-экскаваторный и дражный способы в различных комбинациях. При значительном содержании валунов в песках целесообразна их предварительная подготовка к драгированию.

Разработаны мероприятия по управлению качеством минерального сырья

при эксплуатации золотороссыпного месторождения реки Б. Куранах, учитывающие статистические характеристики и модели распределения полезного компонента в продуктивном контуре, комбинацию дражного и бульдозерно-экскаваторного способов разработки, порядок погашения участков (блоков)

месторождения, гранулометрический состав и степень сокращения объема обогащаемых песков при минимальных потерях полезного компонента, что позволит обеспечить стабильные показатели переработки и извлечения золота, селективность и полноту выемки запасов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Vorotnicov V.* Russia consolidated growth in gold mining industry // *Engineering and Mining Journal*. 2014, vol. 215, no. 10, pp. 68–73.

2. *Оксман В. С., Черосов А. М., Дыбин Д. А.* Мелкое золото в месторождениях Республики Саха (Якутия) // *Горный журнал*. – 1998. – № 5. – С. 17–20.

3. *Хакулов В. А., Новиков В. В., Кононов О. В., Сыцевич Н. Ф., Хакулов В. В.* Патент RU 2 465 459 С2 МПК E21C 41/00(2006.01) Способ стабилизации качества руд. 2012.10.27.

4. *Пешков А. А., Брагин В. И., Михайлов А. Т., Манко Н. А.* Геотехнологическая подготовка месторождений полезных ископаемых. – М.: Наука, 2007. – 286 с.

5. *Михайлов А. Г.* Аллювиальная подготовка россыпных месторождений перед разработкой // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2009. – № 3. – С. 214–217.

6. *Ермаков С. А., Бураков А. М., Панишев С. В., Касанов И. С., Иванов И. В.* Патент № 2449126 РФ. Способ комбинированной переработки песков россыпного месторождения золота реки Большой Куранах. 2012.

7. *Бураков А. М., Ермаков С. А., Касанов И. С.* Минимизация объемов переработки золотосодержащих песков россыпных месторождений Якутии по критерию предельной крупности некондиционного сырья // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2014. – № 4. – С. 138–148.

8. *Burks S. F.* A simultaneous mining and mineral processing optimization and sustainability evaluation prepared during a platinum project prefeasibility study // *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2016, vol. 116, no. 2, pp. 131–138. DOI: 10.17159/2411-9717/2016/v116n2a4.

9. *Morales N., Reyes P.* Increasing the value and feasibility of open pit plans by integrating the mining system into the planning process // *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2016, vol. 116, no. 7, pp. 663–672. DOI: 10.17159/2411-9717/2016/v116n7a8.

10. *Chanderman L., Dohm C. E., Minnitt R. C. A.* 3D geological modelling and resource estimation for a gold deposit in Mali // *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2017, vol. 117, no. 2, pp. 189–197. DOI: 10.17159/2411-9717/2017/v117n2a10.

11. *Teschner B., Smith N. M., Borrillo-Hutter T., Zira Quaghe John, Wong T. E.* How efficient are they really? A simple testing method of small-scale gold miner's gravity separation systems // *Minerals Engineering*. 2017, vol. 105, pp. 44–51.

12. *Ларионов В. Р., Матвеев А. И., Федоров Ф. М., Бураков А. М., Ермаков С. А., Горюхова Л. Н.* Возможности технологической кластеризации золотосодержащего россыпного месторождения реки Б. Куранах по содержанию металла // *Наука и образование*. – 2010. – № 1. – С. 32–39.

13. *Дорохов И. М., Ершов В. А.* Опыт вовлечения террасовых россыпей в попутную разработку дражным способом // *Горный журнал*. – 2006. – № 10. – С. 45–47.

14. *Ершов В. А., Тальгамер Б. Л.* Оценка эффективности недропользования при вовлечении террасовых россыпей в попутную разработку дражным способом // *Вестник ИрГТУ*. – 2009. – № 1. – С. 51–56.

15. Ершов В. А. Целенаправленное преобразование россыпных месторождений при дражной разработке // Горная промышленность. — 2010. — № 5. — С. 70–72.
16. Ершов В. А. Повышение эффективности дражной добычи золота // Горная промышленность. — 2007. — № 1.
17. О перспективах использования в российской золотодобыче «плавучих золотомоек» // Горная промышленность. — 1996. — № 4. — С. 32.
18. Шорохов С. М. Первые советские передвижные золотомойки для экскаваторной разработки россыпей // Советская золотопромышленность. — 1935. — № 3-4.
19. Невский Б. В. Плавучая золотомойка в Минданао // Гипрозолото, Золотая промышленность. — 1940. — № 5-6.
20. Зуев В. И., Кизлер В. А. Применение экскаваторов с плавучими золотомойками на разработке россыпей. — М., 1965. — 20 с.
21. Пятаков В. Г., Тальгамер Б. Л. Перспективы развития дражного способа разработки россыпных месторождений // Горный журнал. — 2019. — № 12. — С. 35–38.
22. Литвинцев В. С., Алексеев В. С., Пономарчук Г. П. Фундаментальные проблемы рационального освоения сложноструктурных россыпных месторождений благородных металлов на основе инновационных геотехнологий / Развитие ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий комплексного освоения месторождений полезных ископаемых. — М.: ИПКОН РАН, 2014. — Гл. 1, Разд. 1.3. — С. 31–39.
23. Алексеев В. С. Обоснование рациональных параметров технологии формирования продуктивных зон при отработке техногенных россыпных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 11. — С. 42–47. **ПИАБ**

REFERENCES

1. Vrotnicov V. Russia consolidated growth in gold mining industry. *Engineering and Mining Journal*. 2014, vol. 215, no. 10, pp. 68–73.
2. Oksman V. S., Cherosov A. M., Dybin D. A. Small gold in fields of the Sakha (Yakutia) Republic. *Gornyi Zhurnal*. 1998, no. 5, pp. 17–20. [In Russ].
3. Khakulov V. A., Novikov V. V., Kononov O. V., Sytsevich N. F., Khakulov V. V. *Patent RU 2 465 459 C2 MPK E21C 41/00(2006.01)*. 2012.10.27. [In Russ].
4. Peshkov A. A., Bragin V. I., Mikhaylov A. T., Manko N. A. *Geotekhnologicheskaya podgotovka mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh* [Geotechnological preparation of mineral deposits], Moscow, Nauka, 2007, 286 p.
5. Mikhaylov A. G. Alluvial preparation of placer deposits before development. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2009, no. 3, pp. 214–217. [In Russ].
6. Ermakov S. A., Burakov A. M., Panishev S. V., Kasanov I. S., Ivanov I. V. *Patent RU 2449126*. 2012. [In Russ].
7. Burakov A. M., Ermakov S. A., Kasanov I. S. Minimization of processing volumes of gold-bearing sands of placer deposits of Yakutia according to the criterion of maximum size of non-gold-bearing materials. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2014, no. 4, pp. 138–148. [In Russ].
8. Burks S. F. A simultaneous mining and mineral processing optimization and sustainability evaluation prepared during a platinum project prefeasibility study. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2016, vol. 116, no. 2, pp. 131–138. DOI: 10.17159/2411-9717/2016/v116n2a4.
9. Morales N., Reyes P. Increasing the value and feasibility of open pit plans by integrating the mining system into the planning process. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2016, vol. 116, no. 7, pp. 663–672. DOI: 10.17159/2411-9717/2016/v116n7a8.
10. Chanderman L., Dohm C. E., Minnitt R. C. A. 3D geological modelling and resource estimation for a gold deposit in Mali. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2017, vol. 117, no. 2, pp. 189–197. DOI: 10.17159/2411-9717/2017/v117n2a10.

11. Teschner B., Smith N. M., Borrillo-Hutter T., Zira Quaghe John, Wong T. E. How efficient are they really? A simple testing method of small-scale gold miner's gravity separation systems. *Minerals Engineering*. 2017, vol. 105, pp. 44–51.
12. Larionov V. R., Matveev A. I., Fedorov F. M., Burakov A. M., Ermakov S. A., Gorokhova L. N. Possibilities of a technological clustering of the gold-bearing placer of the river B. Kurankh on metal content. *The Education and Science Journal*. 2010, no. 1, pp. 32 – 39. [In Russ].
13. Dorokhov I. M., Ershov V. A. Experience of involvement of terrace placer deposits in passing development of the dredging method. *Gornyi Zhurnal*. 2006, no. 10, pp. 45 – 47. [In Russ].
14. Ershov V. A., Tal'gamer B. L. The assessment of efficiency of subsurface use when involving terrace placer deposits in passing development of the dredging method. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2009, no. 1, pp. 51 – 56. [In Russ].
15. Ershov V. A. Purposeful transformation of placer deposits of the dredging method. *Russian Mining Industry*. 2010, no. 5, pp. 70 – 72. [In Russ].
16. Ershov V. A. Increase in efficiency of dredges development gold mining. *Russian Mining Industry*. 2007, no. 1. [In Russ].
17. About the prospects of use in the Russian gold mining «floating gold washing». *Russian Mining Industry*. 1996, no. 4, pp. 32. [In Russ].
18. Shorokhov S. M. The first Soviet mobile gold washing for excavator development of placer deposits. *Sovetskaya zolotopromyshlennost'*. 1935, no. 3-4. [In Russ].
19. Nevsky B. V. A floating gold washing in Mindanao. *Giprozoloto, Zolotaya promyshlennost'*. 1940, no. 5-6.
20. Zuev V. I., Kizler V. A. *Primenenie ekskavatorov s plavuchimi zolotomoykami na razrabotke rossypey* [Use of excavators with floating gold washing a on development of placer deposits], Moscow, 1965, 20 p.
21. Pyatakov V. G., Tal'gamer B. L. Prospects for the development of the dredging method of development of placer deposits. *Gornyi Zhurnal*. 2019, no. 12, pp. 35 – 38. [In Russ].
22. Litvintsev V. S., Alekseev V. S., Ponomarchuk G. P. Fundamental problems of rational development placer deposits of precious metals of complex structure on the basis of innovative geotechnologies. *Razvitie resursosbergayushchikh i resursovosproizvodnyashchikh geotekhnologiy kompleksnogo osvoeniya mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh* [Development of resource-saving and resource-reproduction geotechnologies of complex development of mineral deposits], Moscow, IPKON RAN, 2014. Chapter 1, Section 1.3, pp. 31 – 39.
23. Alekseev V. S. Justification of rational parameters of technology a formation of productive zones at working off of technogenic placer deposit's. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2014, no. 11, pp. 42 – 47. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Бураков Александр Михайлович – канд. техн. наук,
старший научный сотрудник, e-mail: ambur@igds.ysn.ru,
Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского
Сибирского отделения РАН.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

A.M. Burakov, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher,
e-mail: ambur@igds.ysn.ru, Chersky Mining Institute of the North,
Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
677980, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia.

Получена редакцией 22.07.2020; получена после рецензии 22.12.2020; принята к печати 10.07.2021.
Received by the editors 22.07.2020; received after the review 22.12.2020; accepted for printing 10.07.2021.