

УДК 622.271.5

**К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ
ЗОЛОТОРОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЯКУТИИ**

С. А. Ермаков, А. М. Бураков

*Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН,
E-mail: s.a.ermakov@igds.yasn.ru, проспект Ленина, 43, 677980, г. Якутск, Россия*

Россыпное месторождение долины р. Большой Кураных характеризуется сложностью горно-геологических условий и высокой степенью качественной неоднородности запасов. Моделирование условий отработки месторождения показало, что кластерный характер запасов сохраняется на всем простираии продуктивного контура. Значительное содержание глинистых фракций и большая доля мелкого золота затрудняют переработку песков и снижают извлечение металла. Предложен способ комбинированной переработки песков данного месторождения на основе процессов предварительной концентрации полезного компонента и намечены задачи дальнейших исследований.

Россыпь, неоднородность, глинистость, качество запасов, переработка песков, моделирование условий отработки

Несмотря на декларируемую уже длительное время необходимость преимущественного развития добычи золота из рудных месторождений, на долю россыпей в структуре добычи данного металла на территории Якутии приходится примерно половина общего объема, хотя в целом по Российской Федерации этот показатель составляет не более 30% [1]. Россыпные месторождения Якутии расположены в основном в восточных и южных районах. При этом для россыпей региона (проанализировано около 400 месторождений) характерна неоднородность горно-геологических и технико-экономических условий отработки: значительное (в 3–5 раз) изменение мощности пласта продуктивных песков и содержания металла; усложнение границ и глубины залегания песков; уменьшение крупности золота и связанный с этим рост потерь металла при извлечении; увеличение объемов перерабатываемой горной массы на единицу извлекаемого металла. Все это предъявляет повышенные требования к инженерному обеспечению геолого-маркшейдерских и горных работ, подготовке песков и их обогащению.

Около 60% из рассмотренных месторождений залегают на глубине до 10 м, примерно 40% — на глубине 10–20 м и более, а наиболее глубокие — от 22 до 60 м от поверхности. Протяженность промышленного контура примерно 75% месторождений не превышает 5 км, около 25% месторождений имеют длину 5 км и более. Наиболее крупные вытянуты на расстояние от 15 до 30 км. Объемы песков и вскрышных пород изменяются от сотен тысяч до миллионов и десятков миллионов кубических метров.

К числу наиболее крупных россыпей, образованных мелким и тонким золотом, принадлежит россыпь долины р. Большой Куранах Центрально-Алданского золотоносного района. Она относится к числу уникальных месторождений как по геометрическим размерам, так и по объемам горной массы и запасам металла. Россыпь прослежена по долине реки на расстояние около 22 км. Эксплуатационные запасы горной массы составляют не менее 300 млн м³, в том числе отвалы, образовавшиеся после отработки верхнего продуктивного слоя, — 75–80 млн м³. Горно-геологические особенности объекта отличаются большой глубиной залегания (50–60 м ниже уровня грунтовых вод), тяжелыми для разработки неоднородными породами с включениями крупнообломочного материала, наличием высокого (до 60 %) содержания упорных глин. Россыпь характеризуется средним содержанием металла (242 мг/м³), преобладающее количество геологических проб по содержанию заключено в диапазоне не более 0.5 г/м³.

В различное время там применялись несколько способов отработки: дражный, поточная технология с роторно-конвейерным комплексом и роторно-ковшовым земснарядом, экскаваторный с автотранспортом и бульдозерный способ.

Россыпь характеризуется значительной изменчивостью горно-геологических параметров (таблица) на всем протяжении продуктивного контура: содержания золота, в том числе мелкого, глинистости песков, гранулометрического состава металла и песков. Процентная доля фракций песков изменяется в широком диапазоне. Так, содержание класса 250–100 мм составляет 5–6 % от общей массы; 100–16 мм — 15–27 %; 16–4 мм — 10–20 %, глинистых разнотельных песков 18–23 %; глинистого материала 40–60 %.

Основные параметры россыпи долины р. Большой Куранах

Показатель	В целом	По участкам			
		1	2	3	4
Разведочные линии	30–248	30–84	84–140	140–196	196–248
Протяженность, км	21.7	4.2	5.8	5.1	6.6
Мощность отложений, м:					
минимальная	6.1	8.1	20	14.3	6.1
максимальная	55	29.1	32	47.8	55
Ширина россыпи, м:					
минимальная	130	130	350	350	650
максимальная	1600	400	950	950	1600
Уклон долины, ‰	0.004	0.002	0.0035	0.0034	0.002–0.006
Содержание, г/м ³	0.28	0.23	0.26	0.21	0.33
Запасы золота, т (на 2013 г.)	62.81	1.43	7.65	15.26	38.47

Изменение мощности по простиранию россыпи составляет от 30–40 м до 60–80 м. В большей части долины верхняя 20–30-метровая часть аллювиальной толщи погребена под верхне-четвертичными современными аллювиальными осадками мощностью 8–10 м, которые также были золотоносными, и в настоящее время после отработки превращены в техногенные отвалы. Из таблицы видно, что соотношение максимальной и минимальной мощности отложений изменяется от 2.5 до 9 раз, а соотношение ширины россыпи в 2.5–3 раза. Балансовые запасы россыпи представлены 95 геологическими блоками категорий В и С₁, в том числе 64 основных и 31 — попутно обрабатываемых. Основная часть блоков имеет площадь 10–20 га, наибольшая площадь > 50 га. Мощность вскрышных пород по блокам изменяется в пределах 5–15 м, мощность песков — от 46–52 до 10–15 м. Коэффициент вскрыши, как правило, не превышает единицы.

Многолетний опыт разработки этой россыпи различными способами, помимо проблем с извлечением мелкого и тонкого золота из высокоглинистых песков, выявил и проблемы, связанные с особенностями структуры запасов, ее количественной и качественной неоднородностью. Процесс добычи, независимо от типа применяемого оборудования, сопровождается постоянными колебаниями среднего содержания, в том числе и за сезон в целом. Так, по данным добычного сезона 2011 г., среднее фактическое содержание металла в добытых песках не превышало 115 мг/м^3 , причем по дражной добыче не доходило и до 100 мг/м^3 , и только по террасовой части при добыче экскаваторным способом находилось в пределах $450\text{--}500 \text{ мг/м}^3$. Такая закономерность была характерна и для предыдущих сезонов.

Результаты исследований, выполненных в ИГДС СО РАН [2], позволили впервые для погребенной россыпи долины р. Большой Куранах сформулировать представление о содержании металла в разрезе рыхлой толщи россыпи по кластерному типу.

Кластерное строение, при котором участки кондиционных “песков” (кластеры) занимают лишь небольшую часть объема подсчетных блоков, но включают в себе основную долю запаса металла, характерно для абсолютного большинства россыпных и рудных месторождений различных видов полезных ископаемых, и рассматриваемая россыпь не является исключением. На Куранахской погребенной залежи россыпного золота разновозрастные “кластеры” его запаса прослеживаются на сотни метров и картируются на различных высотных уровнях в поперечных разрезах тела россыпи. Выделяются они на основании расчета средних содержаний золота по разрезам разведочных выработок.

По распределению золота месторождение характеризуется высокой его концентрацией в современном аллювии. В настоящее время аллювиальные отложения полностью переработаны драгами и представляют расклассифицированный верхний галечниковый слой и нижний эфельный отвальный продукт.

Массив песков, представляющий собственно глубокую погребенную россыпь и распространяющийся до ее устья, имеет промышленную золотоносность на всю глубину до плотика и на всю длину (20 км) по простиранию. Золотоносность древнего аллювия в значительной степени повторяет общую картину распределения металла верхнего яруса. По данным геологических исследований, высокое и низкое содержание золота встречается вне зависимости от степени глинистости, литологического состава, глубины и удаленности от древнего русла.

Известно, что до настоящего времени текущее и оперативное планирование добычных работ основано на использовании постоянных кондиций, которые первоначально устанавливаются по данным детальной разведки и в последующем уточняются или пересматриваются с привлечением материалов эксплуатационной разведки и разработки месторождения.

В Типовых методических положениях по применению кондиций на твердые полезные ископаемые в процессе разработки месторождений [3] отмечено, что постоянные кондиции, предназначенные для подсчета запасов и оценки месторождений, используются также при текущем и оперативном планировании добычных работ. Однако при таких видах планирования возникает необходимость оценки запасов не месторождения в целом, а отдельных его участков, выделяемых технологически при производстве горных работ. Оценка запасов, содержащихся в этих участках, на основе применения постоянных кондиций может приводить в ряде случаев к нерациональному использованию разведанных запасов, к неподтверждению среднего содержания и т. д.

В связи с этим существует необходимость наличия единых методических положений по оценке запасов отдельных выемочных участков месторождения, у которых условия добычи и переработки полезного ископаемого отличаются от условий, соответствующих утвержденным постоянным кондициям, а также для участков месторождения, запасы которых не отвечают параметрам постоянных кондиций.

Оценка характера строения залежей, распределения полезных и вредных компонентов, проведение многовариантных расчетов и выбор оптимальных вариантов развития горных работ требуют применения автоматизированных методов расчета, использования числовых моделей месторождений. В настоящее время для решения теоретических и практических геологических, маркшейдерских и горных задач все более широкое применение находят информационные технологии. Они позволяют значительно ускорить обработку данных, осуществить построение контура залежи в объемной постановке, отстроить элементы горных выработок и многое другое.

На основе цифровой геолого-маркшейдерской базы данных, с использованием горно-геологической информационной системы “Майнфрейм” (ГоИ КНЦ РАН), программы BTSOD (ИГДС СО РАН), стандартных пакетов по обработке статистической информации выполнено моделирование условий отработки Куранахского золотороссыпного месторождения. Проведенное моделирование показало высокую качественно-количественную изменчивость основных параметров продуктивной толщи (мощность песков, содержание золота, размеры зон концентрации металла) как по отдельным геологическим разрезам, так и по участкам месторождения (рис. 1). Установлено, что распределение запасов по содержанию и по геометрическим характеристикам изменяется в соответствии с определенной природной закономерностью по кластерному типу. Этот тип запасов характеризуется тем, что основная часть металла находится в меньшей части объема песков. По определенной для данного месторождения зависимости более половины количества запасов (63 %) заключены не более чем в 20 % общего объема песков.

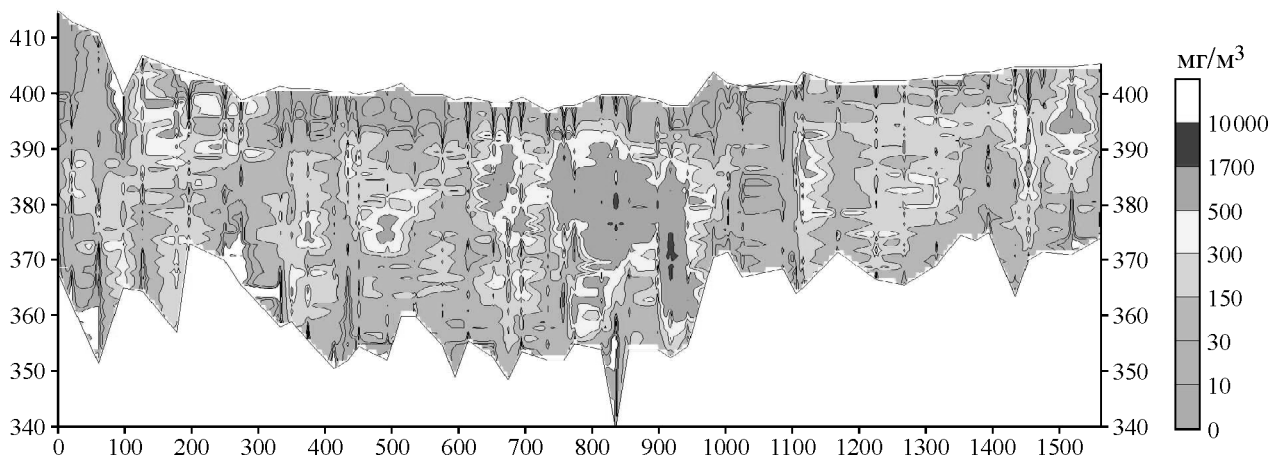


Рис. 1. Характер распределения содержания золота по геологическому разрезу

Для исследования неоднородности качества запасов принят так называемый коэффициент “металл/пески”. Он представляет собой соотношение процентного количества металла в диапазоне содержания более 0.3 г/м^3 к соответствующему количеству песков, что характеризует степень концентрации запасов. Для участков россыпи (см. таблицу) коэффициент имеет следующие значения: участок 4 — 2.5 (рис. 2а); участок 3 — 2.9; участок 2 — 3.3; участок 1 — 5.3 (рис. 2б). Из приведенных данных видно, что коэффициент неоднородности закономерно увели-

чивается вниз по простиранию россыпи вследствие изменения содержания металла и параметров рудного тела. Также наибольшее количество металла в диапазоне содержания более 0.3 г/м³ сосредоточено на участке 4 (69 %) и на участке 2 (66 %).

Структурная неоднородность запасов участка 1 и участка 4 показана соответственно на рис. 2а, б. Расчеты, проведенные по группам разведочных линий, показали, что неравномерность сосредоточения запасов характерна не только для участков месторождения, но и для отдельных блоков между разведочными линиями. Так, на участке 4 коэффициент изменяется от 1.8 до 2.2; на участке 3 — от 3.2 до 5.9; на участке 2 — от 2.2 до 2.7 и на участке 1 — от 3.7 до 7.2.

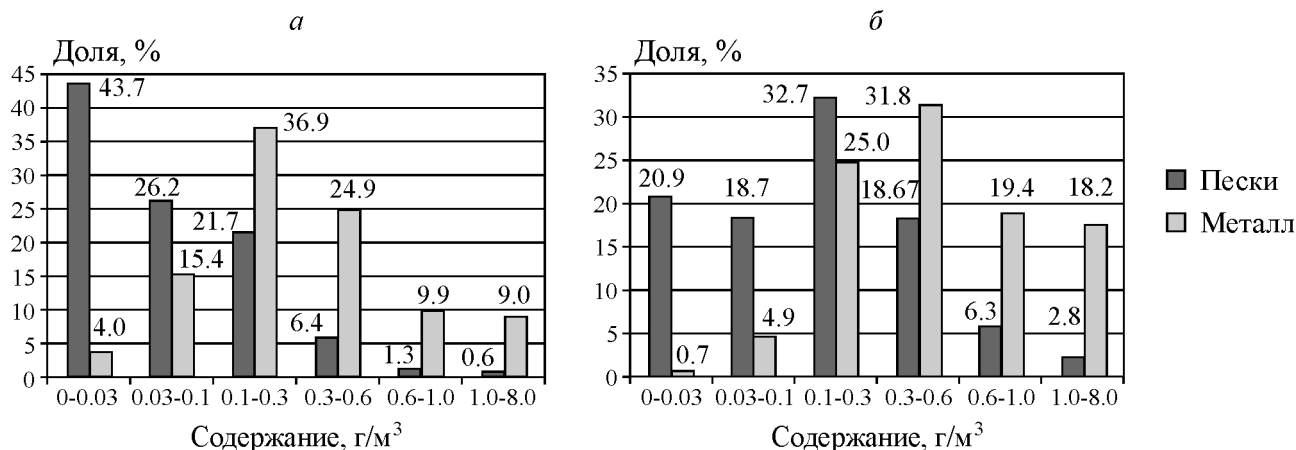


Рис. 2. Структурная неоднородность запасов: а — участок 1; б — участок 4

Согласно геологическим данным, наибольшей золотоносностью и объемами горной массы отличается участок № 4. Самые богатые блоки на месторождении (4-С₁, 5-С₁, 6-С₁, 7-С₁, 8-С₁), ограниченные разведочными линиями № 236–218, расположены в районе устья руч. Раздольного. В блоке 4-2-С₁ наблюдается наибольшее среднее содержание металла (753 мг/м³). Сравнительно высокое среднее содержание золота (> 400 мг/м³) отмечено в блоках: 2-С₁, 3-С₁, 4-1-С₁, 5-С₁. В целом на участке из 29 балансовых блоков, включая попутно добываемые, 14 имеют запасы около или более 1000 кг металла и 5 — более 500 кг.

На участке № 3 из 29 балансовых блоков 6 имеют запасы более 1000 кг металла и 4 — более 500 кг. Наибольшее среднее содержание у блоков 33-С₁ (488 мг/м³) и 32-С₁ (438 мг/м³). Участок № 2 из 17 балансовых блоков имеет 2 с запасами более 1000 кг и 5 — более 500 кг металла. Участок № 1, находящийся в самой нижней части россыпи, характеризуется наименьшими объемами песков и запасами металла. Из 20 балансовых блоков только несколько имеют запасы металла равные или более 100 кг. В целом объемы песков и запасы металла закономерно уменьшаются от верхней к нижней части россыпи.

По приведенным данным соотношение металл/пески изменяется в зависимости от качества запасов того или иного участка месторождения, но общая природная закономерность, соответствующая кластерному типу месторождения, сохраняется. Кроме этого, распределение золота характеризуется резким изменением содержания в широком диапазоне (от 0.07 до 2 г/м³) и значительным (в несколько раз) изменением размеров зон концентрации металла.

Существенная неравномерность распределения металла присуща как для участков месторождения, так и для скважин в геологических разрезах. Величины содержаний могут изменяться в несколько раз и более. Так, по скважине 25 разреза 200 при среднем содержании около 100 мг

наибольшее содержание составляет 440 мг; по скважине 34 разреза 216 при среднем содержании 220 мг наибольшее содержание 700 мг; по скважине 56 разреза 228 наибольшее содержание равно 1770 мг при среднем 440 мг.

На основе анализа распределения полезного компонента в локальных зонах предложен показатель концентрации запасов россыпного месторождения либо его участка, выраженный в общем виде известной кривой Лоренца. Показатель представляет собой зависимость, где по оси абсцисс откладывается доля песков с возрастающим содержанием металла, а по оси ординат — доля золота в декадах нарастающим итогом (рис. 3), и позволяет через заданное граничное содержание определять долю некондиционных песков в их общем объеме.

Диагональ на рис. 3 характеризует полностью равномерное распределение. Снижение равномерности распределения выглядит как постепенное опускание кривой: чем более неравномерно распределение металла, тем ниже опускается кривая. Показано [4], что плотность статистического распределения содержаний $p(C)$ выражается через производную первообразного пространственного распределения, представляющего собой единственное из множества пространственных распределений, которое задается неубывающей функцией $C = f_0(x)$ (рис. 4).

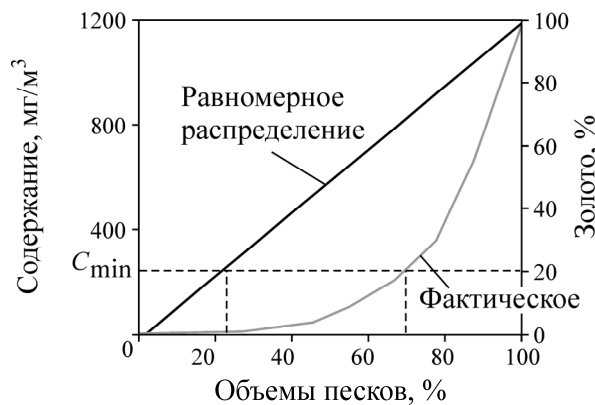


Рис. 3. Кривая Лоренца для участка россыпи

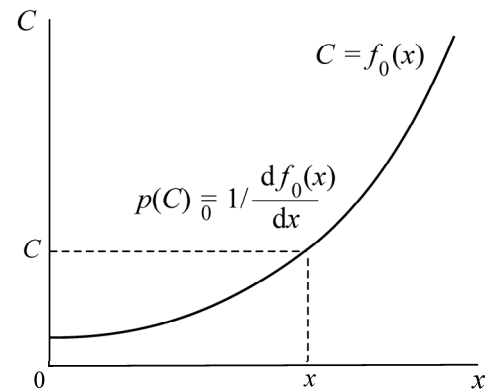


Рис. 4. Первообразная пространственного распределения содержаний

Анализ фактического первообразного распределения содержаний золота позволяет оценить потенциальную эффективность селективной выемки запасов и выбрать оптимальные горнотехнические решения отработки месторождения, направление развития горных работ и рациональные сочетания оборудования в комплексах мобильных геотехнологий.

При моделировании условий отработки Куранахского золотороссыпного месторождения, в результате анализа качественных характеристик запасов металла в различных расчетных областях, установлена взаимосвязь среднего и граничного содержания. Взаимосвязь характеризует изменение среднего содержания при включении в расчетную область дополнительных объемов песков с меньшим или большим (граничным) содержанием (рис. 5).

К примеру, для россыпи долины р. Большой Куранах минимальное промышленное содержание гравитационно-извлекаемого химически чистого золота в блоке составляет 232 мг/м³. По зависимостям, приведенным на рис. 3, в соответствии с этим содержанием рассчитано граничное содержание полезного компонента в области, прилегающей к 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.

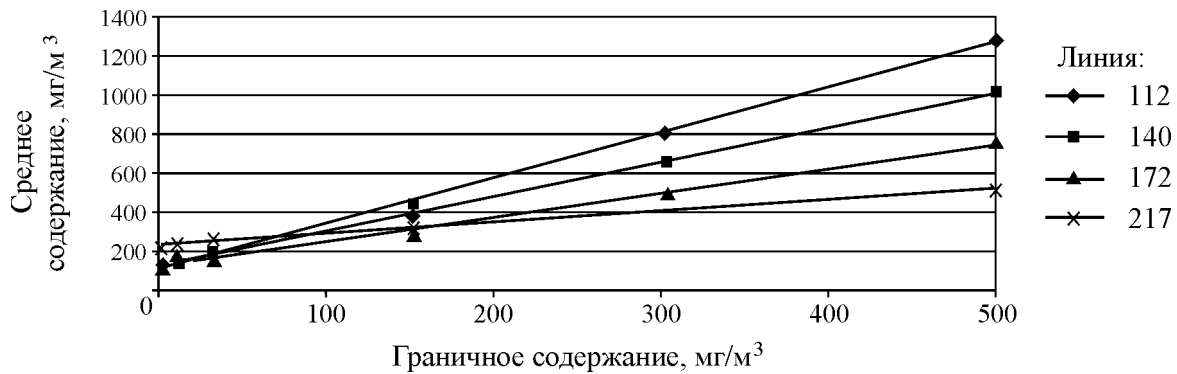


Рис. 5. Взаимосвязь среднего и граничного содержания золота по характерным разведочным линиям россыпи

Очевидно, что способы разработки, состав и типы оборудования добычного и обогащенного комплексов также должны определяться характером залегания, качественными характеристиками, морфологией, гранулометрией металла.

Технологические характеристики золота и вещественный состав песков россыпи изучались в институтах Иргиредмет и ЦНИГРИ. Особенностью гранулометрического состава песков является высокое содержание илесто-глинистой фракции. Отмечается переслаивание осадков с различной степенью глинистости и различными содержаниями крупнообломочного материала. Содержание классов мельче 0.074 мм составляет в среднем 40 %, а содержание классов мельче 10 мкм по отдельным пробам от 16 до 50 %. Преобладают породы с содержанием глины от 16 до 67 %, в среднем 33 %, причем вниз по течению реки намечается увеличение глинистости пород. Верхний горизонт высокоглинистой аллювиальной толщи представлен краснобурыми глинами с включением валунов и гальки (до 5 %), постепенно переходящими в бурожелтые и желтые глины с незначительной примесью грубого материала (менее 1 %). В целом в составе глинистой толщи материал крупностью менее 3 мм составляет около 70 %, а собственно глинистая фракция (менее 0.003 мм) — 30–40 % и более.

Явно выраженной закономерности изменения глинистости пород до настоящего времени установить не удалось, вследствие чего в добычные сезоны 2008–2011 гг. отмечены случаи значительного снижения производительности и увеличения потерь металла при выходе драг на участки высокоглинистых пород.

Проведенный институтом Иргиредмет анализ состава и свойств металла россыпи показал, что свободное золото в песках особо мелкое. Около 60 % его представлено классами крупности мельче 250 мкм, в том числе мельче 20 мкм — 24 %. Преобладающая часть металла приходится на классы $-0.25+0.1$ и -0.1 мм. Золотины крупнее 1 мм не встречены. Проба золота 890. Оно тесно ассоциировано с глинистыми минералами, его медианная крупность 0.36 мм. Для обогащения песков россыпи рекомендована технология, основанная на использовании гравитационного (с применением отсадочных машин, концентрационных столов, центробежных аппаратов) и магнитного методов обогащения, с отдельным обогащением зернистой и илистой фракций песков. Достигнутое в лабораторных условиях извлечение составило 95–96 %. Расчетное извлечение свободного золота (извлекаемого амальгамацией) для принятых средневзвешенных характеристик по крупности песков и золота в условиях драги равно 79.8 %, на промприборе — 82.9 %. С увеличением массовой доли глины и мелкого золота в песках извлечение золота будет снижаться [5].

Значительное содержание мелкого и тонкого золота в сочетании с высоким содержанием илесто-глинистой фракции приводит к снижению производительности добычного и обогащенного оборудования, увеличению потерь металла. В связи с этим в ИГДС СО РАН предложен новый подход к переработке песков россыпного месторождения долины р. Большой Кураны на основе процессов предварительной концентрации полезного компонента [6, 7]:

— разделение песков по качеству путем установления верхней и внутренних границ продуктивной части с различным содержанием полезного компонента;

— селективная выемка песков с применением (при необходимости) оперативного изменения границ добычного блока с реализацией принципа дифференцированных эксплуатационных кондиций;

— первичная гидравлическая сортировка песков в непосредственной близости от места добычи;

— выделение золотосодержащей фракции в обогащительных аппаратах с развитой схемой обогащения;

— управление процессами намыва и осаждения в промежуточной емкости или отстойнике хвостохранилище с целью создания слоев (областей) с повышенной концентрацией полезного компонента.

Разработан способ комбинированной переработки песков [8], включающий предварительное разделение песков по качеству, выемку добычным оборудованием, позволяющим подобрать оптимальную крупность материала, подаваемого на промывку, например путем регулирования параметров стружки в процессе безвзрывной экскавации песков роторным экскаватором. Гидравлическая сортировка песков различного качества производится в непосредственной близости от места добычи. Получившаяся пульпа может транспортироваться по двум потокам, один с высоким содержанием — непосредственно на обогащение, а второй — в промежуточную емкость, где происходит классификация материала по плотности. Промежуточная емкость (емкости) в дальнейшем используется в качестве источника уже классифицированного материала для обогащения. Отдельные элементы описанного способа разработки уже прошли апробацию на горнодобывающих предприятиях Якутии.

Задачей дальнейших исследований по совершенствованию открытой геотехнологии отработки сложноструктурной россыпи долины р. Большой Кураны, имеющей кластерное строение, является выбор рационального варианта комбинирования способов разработки, обеспечивающего селективность и полноту выемки полезного ископаемого. Эта задача должна решаться на основе:

— создания и оформления электронных баз данных опробования для проведения геостатистического анализа, расчета кондиционных характеристик, построения контуров рудных тел (пластов), решения технологических и организационных задач при освоении месторождения;

— анализа баланса технологических видов золота;

— расчета количественных и качественных параметров распределения металла в массиве;

— определения рациональных параметров и характеристик выемочного пространства;

— дифференцированного анализа распределения полезного компонента согласованно с границами и развитием выемочного пространства.

ВЫВОДЫ

1. Россыпные месторождения на территории Якутии характеризуются неоднородностью горно-геологических и технико-экономических условий отработки, что предъявляет повышенные требования к инженерному обеспечению геолого-маркшейдерских и горных работ, подготовке песков и их обогащению.

2. Наиболее крупная россыпь (долины р. Большой Куранах), образованная мелким и тонким золотом, также отличается значительной изменчивостью горно-геологических параметров на всем протяжении продуктивного контура. Золото в россыпи сосредоточено в участках кондационных песков, так называемых кластерах. Они занимают лишь небольшую часть объема подсчетных блоков, но заключают в себе основную долю запасов металла.

3. На основе цифровой геолого-маркшейдерской базы данных выполнено моделирование условий отработки месторождения. Установлено, что существенная неравномерность распределения металла характерна как для участков месторождения, так и для скважин в геологических разрезах. Предложены коэффициент “металл – пески”, характеризующий степень концентрации запасов, и показатель концентрации запасов россыпного месторождения либо его участка, выраженный в общем виде известной кривой Лоренца.

4. В связи с наличием в песках россыпи большого количества мелкого и тонкого золота, а также с неравномерностью сосредоточения запасов предложен новый подход к переработке песков россыпного месторождения долины р. Большой Куранах на основе процессов предварительной концентрации полезного компонента. Разработан также способ комбинированной переработки песков, отдельные элементы которого уже прошли апробацию на горнодобывающих предприятиях Якутии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Брайко В. Н., Иванов В. Н.** О результатах работы золотодобывающей отрасли в 2009 г. // Золотодобыча. — Иркутск: Ирриредмет, 2010. — № 136.
2. **Бураков А. М., Ермаков С. А., Блинов А. А.** Источники питания Куранахской погребенной россыпи и их влияние на выбор возможных технологий извлечения металла // Проблемы освоения и перспективы развития Южно-Якутского региона: сб. науч. тр. — Нерюнгри: ИГД Севера, 2001.
3. **Типовые** методические положения по применению кондиций на твердые полезные ископаемые в процессе разработки месторождений. — М.: ИПКОН АН СССР, 1981.
4. **Батугин С. А., Черный Е. Д.** Теоретические основы опробования и оценки запасов месторождений. — Новосибирск: Наука, 1998.
5. **Замятин О. В., Маньков В. М.** Современные технологии обогащения золотосодержащих песков россыпных месторождений // Горн. журн. — 2001. — № 5.
6. **Ермаков С. А., Бураков А. М., Заудальский И. И., Панишев С. В.** Совершенствование геотехнологий открытой разработки месторождений Севера. — Якутск: ЯФ ГУ “Изд-во СО РАН”, 2004.
7. **Ермаков С. А., Бураков А. М.** Использование эффекта гравитационного разделения в многостадийной переработке песков россыпного месторождения // Современные технологии освоения материальных ресурсов: Материалы 5-й Междунар. науч.-техн. конф. Вып. 5. — Красноярск: СФУ, 2007.
8. **Патент № 2449126 РФ.** Способ комбинированной переработки песков россыпного месторождения золота р. Большой Куранах / С. А. Ермаков, А. М. Бураков, С. В. Панишев, И. С. Касанов, И. В. Иванов // Опубл. в БИ. — 2012. — № 12.

Поступила в редакцию 21/V 2012