

УДК 622.271.5

С.А. Ермаков, А.М. Бураков

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ
И ОБОСНОВАНИЮ РАЦИОНАЛЬНОЙ КОМБИНАЦИИ
СПОСОБОВ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ
МЕСТОРОЖДЕНИЯ РОССЫПНОГО ЗОЛОТА
РЕКИ Б. КУРАНАХ**

Проведен анализ горно-геологических и качественных параметров продуктивного контура россыпного месторождения р. Б. Куранах. Отмечен значительный диапазон их изменения. Обоснован методический подход к освоению россыпи и даны рекомендации по способам разработки, области их применения.

Ключевые слова: россыпное месторождение, параметры, изменение, анализ, рекомендации.

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 не менее половины добычи. Так, по итогам 2012 г. на долю россыпного золота пришлось 49 % от общего добытого количества, по итогам 2011 года — 46 %, и такое соотношение наблюдается уже на протяжении ряда лет. Из 49 недропользователей по россыпному золоту в 2012 г. 7 обеспечили добычу металла более 500 кг за сезон, и в сумме дали 48 % общей добычи, 3 предприятия — более 300 кг за сезон. В совокупности они добыли почти 60 % общего количества металла. Основные золотодобывающие районы Якутии — Алданский, Оймяконский, Олекминский, Нерюнгринский и Усть-Майский обеспечивают практически всю добычу золота — 99 %.

Россыпное месторождение золота долины реки Большой Куранах Центрально-Алданского золотоносного

района принадлежит к числу наиболее крупных, образованных мелким и тонким золотом и характеризуется значительной изменчивостью горно-геологических параметров (табл. 1) на всём протяжении продуктивного контура.

Мошность отложений по простиранию россыпи изменяется от 30-40 м до 60-80 м, максимальная и минимальная мошность различается от 2,5 до 9 раз. Ширина россыпи изменяется в 2,5-3 раза. Балансовые запасы представлены 96 геологическими блоками категорий В и С₁, из них 31 — попутно отрабатываемых. Мошность вскрышных пород и песков по блокам изменяется в 3-4 раза. Коэффициент вскрыши, как правило, не превышает единицы. Мерзлотная обстановка характеризуется наличием участков многолетнемерзлых пород (5—8 % по объему), а также сезонным промерзанием пород на глубину 2,5—3 м. По предварительной оценке, удельное сопротивление копанию пород Куранахской россыпи (без учета влияния крепких валунных включений) составляет

Таблица 1

Основные параметры россыпи долины реки 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	7	9	7	14	7,5
максимальная	68	22	56	54	68
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
Вскрышные породы, млн. м ³	134,1	8,9	27,9	40,1	57,3
Пески, млн м ³	300,0	11,3	60,3	83,8	144,7
Содержание, г/м ³	0,28	0,23	0,26	0,21	0,33
Запасы золота, т	69,15*	1,43	9,54	15,8	40,54

* По состоянию на 2011 год – 63,6 т.

8 кг/см² для талых пород и 14,6 кг/см² – для мерзлых пород. Россыпь характеризуется невысоким средним содержанием металла, преобладающее количество (до 85 %) геологических проб по содержанию заключено в диапазоне не более 0,5 г/м³.

Многолетний опыт разработки россыпи различными способами, помимо проблем, связанных с извлечением мелкого и тонкого золота из высокоглинистых песков, выявил и проблемы, связанные с особенностями структуры запасов, неоднородностью содержания металла в разрезе рыхлой толщи месторождения. При этом участки кондиционных песков занимают лишь небольшую часть объема подсчетных блоков, но заключают в себе основную долю запаса металла.

Процесс добычи, независимо от типа применяемого оборудования, сопровождается постоянными колебаниями среднего содержания, в том числе и за сезон в целом. Так, по данным 2011 года, среднее фактиче-

ское содержание металла в добытых песках не превышало 115 мг/м³, причем по дражной добыче не доходило и до 100 мг/м³ и только по террасовой части, при добыче экскаваторным способом, находилось в пределах 450-500 мг/м³. Такая закономерность была характерна и для предыдущих сезонов. В последнее десятилетие добыча металла даже в лучшие сезоны не превышала 600 кг, что для месторождения с запасами более 60 тонн является весьма невысоким уровнем.

На разработке россыпи р. Б. Куранах в различное время применялось, и применяются несколько способов отработки, в том числе дражный (250-л и 380-л драги); поточная технология с роторно-конвейерным комплексом, поточная технология с роторно-ковшовым земснарядом и бульдозерный способ. Дражный способ для месторождений такого типа является практически единственным, используемым в настоящее время. Он имеет достаточно высокие технико-экономические показатели,

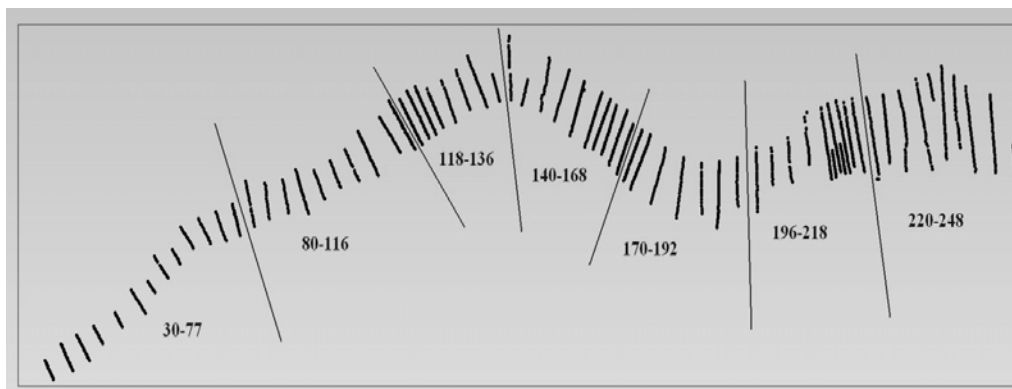


Рис. 1. Разделение контура россыпи на расчетные участки

Таблица 2

Частота распределения проб по диапазонам содержаний

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

Таблица 3

Статистические характеристики анализируемых участков

Показатели по р.л.	30—77	80—116	118—136	140—168	170—192	196—218	220—248
Среднее	0,08	0,12	0,21	0,11	0,11	0,2	0,17
Стандартное отклонение	0,11	0,11	0,23	0,1	0,1	0,1	0,17
Дисперсия выборки	0,01	0,01	0,06	0,01	0,01	0,01	0,03
Коэффициент вариации	137,9	92,9	112,7	92,3	64,5	56,0	97,2
Экссесс	67,3	28,1	35,6	13,6	1,0	2,6	4,2
Асимметричность	6,7	4,0	4,8	2,8	0,7	1,0	1,8

но в то же время характеризуется высокой загрязненностью водоемника, существенными сложностями при разработке высокоглинистых и валунистых пород.

Для россыпи, с использованием первичной геолого-маркшейдерской информации и сформированной на

ее основе базы данных по интервальному опробованию разведочных скважин, с применением горно-геологической информационной системы «Майнфрейм» (Гои КНЦ РАН), выполнен статистический анализ данных опробования по содержанию, построены цифровые модели место-

рождения в целом и его технологических участков, производится моделирование условий их отработки.

Выполненное в ходе моделирования построение блочных моделей участков россыпи (для расчетов продуктивный контур был условно разбит на семь расчетных участков, рис. 1) показало существенную структурную и качественную неоднородность распределения запасов полезного компонента. При этом неоднородность запасов закономерно увеличивается вниз по простиранию россыпи вследствие изменения содержания металла и параметров рудного тела. Наибольшее количество металла в диапазоне содержания более $0,3 \text{ г/м}^3$ сосредоточено на участках, заключенных между разведочными линиями (далее – р. л.) 118-136, 196-218, 220-248 (табл. 2).

Представительность полученных результатов обеспечена достаточным количеством статистического материала по включенным в расчет скважинам (не менее 200) и количеством проб (не менее 6000) по каждому из блоков. В целом объем расчетной базы составил 69 р. л., 1995 скважин и около 103,5 тыс. результатов опробования по содержанию.

В результате анализа получены основные статистические характеристики массива данных опробования по содержанию (табл. 3).

Анализируя данные, приведенные в табл. 3, с позиции общепринятых понятий математической статистики, можно утверждать следующее.

Наиболее близкое к нормальному характеру распределение имеет массив данных участка р. л. 170-192 с коэффициентом асимметрии 0,7 и эксцессом 1,0 и наиболее далекое от нормального — массив данных участ-

ка р. л. 30-77, с коэффициентом асимметрии 6,7. Известно [1], что критерий эксцесса (E_x) — критерий, позволяющий проверить степень плоско- или узковершинности эмпирического распределения, выраженную в числовой форме (распределение является нормальным, если показатели асимметрии и эксцесса находятся в диапазоне от $-1,000$ до $+1,000$; распределение не является нормальным, если показатели либо асимметрии, либо эксцесса находятся в диапазоне больше $-1,000$ и $+1,000$).

По статистическим понятиям [1], коэффициент вариации позволяет судить об однородности совокупности данных:

- $< 17\%$ – абсолютно однородная;
- $17\text{--}33\%$ – достаточно однородная;
- $35\text{--}40\%$ – недостаточно однородная;
- $40\text{--}60\%$ – большой диапазон колебаний в рассматриваемой совокупности.

Наиболее неоднородными по содержанию металла (табл. 3) являются участки р. л. 30-77 и р. л. 118-136 (коэффициенты вариации, соответственно, $137,9\%$ и $112,7\%$), а более однородными — участки р. л. 196-218 и р. л. 170-192 ($56,0\%$ и $64,5\%$), которые, в свою очередь, относятся к самой сложной группе по степени однородности. Более однородных участков по результатам анализа не выявлено.

При моделировании условий отработки Куранахского золотороссыпного месторождения, в результате анализа качественных характеристик запасов металла в различных расчетных областях, установлена взаимосвязь среднего и граничного содержания. Взаимо-

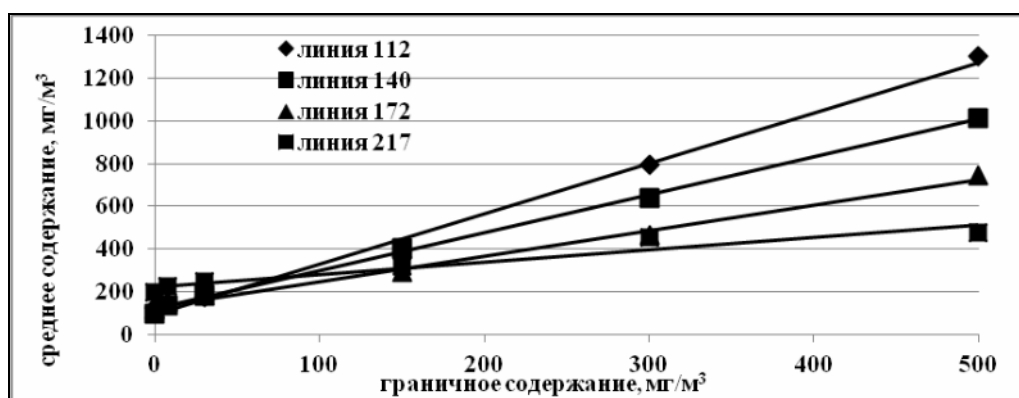


Рис. 2. Взаимосвязь среднего и граничного содержания по характерным разведочным линиям россыпи

связь характеризует изменение среднего содержания при включении в расчетную область дополнительных объемов песков с меньшим или большим (граничным) содержанием (рис. 2).

К примеру, для данной россыпи минимальное промышленное содержание гравитационно-извлекаемого химически чистого золота в блоке составляет 232 мг/м^3 . По зависимостям, приведенным на рис. 2, в соответствии с этим содержанием рассчитано граничное содержание полезного компонента в области, прилегающей к линии 112 – 58 мг/м^3 ; линии 140 – 63 мг/м^3 ; линии 172 – 87 мг/м^3 ; линии 217 – 14 мг/м^3 . Далее, с применением технико-экономического анализа, возможна корректировка границ рудного тела на россыпном месторождении сложного строения, с реализацией принципа дифференцированных эксплуатационных кондиций.

Проведенный анализ распределения запасов металла по простиранию месторождения показал, что наибольшей золотоносностью и объемами горной массы отличается участок №4, р.л. 248-196, где сосредоточена большая часть металла и из 30 балансовых блоков, включая попутно добываемые, 17

имеют запасы около или более 1000 кг металла и 5 – более 500 кг. Наибольшее среднее содержание металла характерно для р.л. 234-232 (около $0,7 \text{ г/м}^3$). Сравнительно высокое среднее содержание золота ($>400 \text{ мг/м}^3$) наблюдается в районе р.л. 244-240, 240-236, 236-234.

Участок №3, р.л. 196-140, из 29 балансовых блоков имеет 6 с запасами более 1000 кг металла и 6 – с запасами более 500 кг. Наибольшее среднее содержание наблюдается в районе р.л. 148-140 (в среднем $0,4 \text{ г/м}^3$).

Участок №2, р.л. 140-84, из 17 балансовых блоков имеет 9 с запасами более 1000 кг и 6 – более 500 кг металла. Наибольшее среднее содержание отмечено в районе р.л. 122-118 (более $0,3 \text{ г/м}^3$).

Участок №1, р.л. 84-30, находящийся в самой нижней части россыпи, имеет наименьшие объемы песков и запасы металла. Из 20 балансовых блоков только несколько имеют запасы металла равные или более 100 кг.

Гранулометрический состав 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 —

Таблица 4

Средневзвешенная крупность золота на участке р.л. 248-196

Классы крупности, мм	Массовая доля золота (%) по оценке		
	ИРГИРЕДМЕТ	Алданзолото	ЦНИГРИ
>1	11,9	-	0,6
-1+0,5	8,2	15,3	6,6
-0,5+0,25	19,6	39,0	35,1
-0,25+0,1	28,8	34,1	35,6
-0,1+0,05	11,8	6,9	7,9
-0,05	19,7	4,7	14,2
Итого:	100,0	100,0	100,0

10-20 %, глинистых разномерных песков 18-23 %; глинистого материала 40-60 %. Особенностью гранулометрического состава песков является высокое содержание илистой глинистой фракции. Преобладают породы с содержанием глины от 16 до 67 %, в среднем 33 %, причем вниз по течению реки намечается увеличение глинистости пород.

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.

Извлекаемое гравитацией золото, в среднем по россыпи, очень мелкое: зерна менее 0,5 мм, по разным источникам, составляют от 79 до 93 %, в т.ч. менее 0,25 мм — от 46 до 60 %. Золото тонкое, чешуйчатое, хорошо и средне окатанное. Сравнительная характеристика средневзвешенной крупности золота на верхнем участке (р.л. 248-196) погребенной россыпи приведена в табл. 4.

Золото тесно ассоциировано с глинистыми минералами, что приводит к уходу значительной части металла в слив, вместе с глинистыми частицами. До 25-35 % объема пес-

ков представлено классом +30 мм, не проходящим стадию обогащения, и транспортировка его в этой связи вызывает дополнительные неоправданные затраты.

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 промывочном приборе – 84,4 %, на береговой обогатительной фабрике – 85,2 %. С увеличением массовой доли глины и мелкого золота в песках извлечение золота будет снижаться.

По анализу горнотехнических условий, качественных характеристик минерального сырья, опыту эксплуатации, можно заключить, что россыпное месторождение р. Б. Куранах, являясь уникальным по своим горно-геологическим и качественным параметрам, не может быть эффективно освоено одним из традиционных для

россыпных месторождений способом и требуется новый подход к выбору способов и технологий его освоения.

Разработка должна осуществляться — на всю глубину и целесообразно — по всему поперечному сечению, с обеспечением возможности эффективной вторичной переработки.

Основными составляющими нового подхода являются:

- анализ баланса технологических видов золота;

- расчет количественных и качественных параметров распределения металла в массиве;

- определение рациональных параметров выемочного пространства и характеристик перерабатываемого комплекса;

- дифференцированный анализ распределения полезного компонента согласованно с границами и развитием выемочного пространства;

- создание и оформление электронных баз данных опробования для проведения геостатистического анализа, расчета кондиционных характеристик, построения контуров рудных тел (пластов), решения технологических и организационных задач в ходе освоения месторождений.

Наиболее отвечающей этим требованиям является поточная технология добычи и переработки полезного ископаемого (роторные экскаваторы, конвейеры, отвалообразователи, роторно-ковшовые земснаряды, драги).

В качестве исходных технологических решений предложены многоступенчатые схемы разработки (на примере оборудования и условий россыпи р. Б. Куранах). Рекомендуются варианты технологических схем для отработки песков мощностью до 45 м (трехступенчатая схема), до 30 м (двухступенчатая схема), до 15 м (одноступенчатая схема)

после выполнения вскрышных работ также одним, или в редких случаях, двумя уступами.

На вскрышных работах рекомендуется использовать роторный комплекс с экскаватором среднего класса типа ЭР-1250, шагающие экскаваторы ЭШ-6/45, ЭШ-10/70. При высоте уступа до 16 м породы вскрыши отрабатываются роторным комплексом; до 22 м — шагающим экскаватором типа ЭШ-6/45; более 22 м — шагающим экскаватором ЭШ-10/70 либо роторным экскаватором двумя уступами.

На добычных работах рекомендуется использовать роторный комплекс с подачей песков на береговую фабрику, драга 250 л с глубиной черпания до 12,5 м, драга 380 л с глубиной черпания до 30 м.

Отработка песков производится: до 12,5 м — 250-л драгой одним уступом; более 12,5 м, до 30 м — 380-л драгой; более 30 м — верхний слой 16 м роторным комплексом, остальные объемы 380-л драгой. До 28,5 м возможен вариант отработки верхнего уступа 16 м роторным комплексом и 12,5-м уступа — драгой 250 л. На самых мощных блоках 11-В (52 м) и 12-В (46 м) рекомендуется отрабатывать верхние 25 м двумя уступами роторным комплексом, остальные объемы 380-л драгой глубокого черпания.

Выполнена классификация горных пород по мощности и классификация блоков месторождения по способам отработки. По предварительному расчету, распределение объемов по участкам составит:

Участок р.л. 248-196. 250-л драга — 1,2 %; 380-л драга — 75,8 %; роторный комплекс — 23 %. Участки р.л. 196-30 могут быть полностью отработаны дражным способом, 250-л и 380-л драгами.

Кроме рекомендованных, возможно применение бульдозерно-гидравлического или экскаваторно-автотранспортного способа. На блоках, геометрические параметры которых не позволяют вести эффективную дражную отработку, также применение раздельного способа с предварительной сортировкой песков на грохотах и обогащением по отсадочной технологии, с включением в цепь обогащения необходимого количества отсадочных машин. Эффективность вышеперечисленных способов отработки подтверждена опытом вскрышных и добычных работ.

Производительность 250-л драг на россыпи Б. Куранах в последние годы находится на уровне 750-800 т. м³ песков при продолжительности сезона 225-230 дней. Вновь введенная 380-л драга ввиду небольшого срока эксплуатации пока не вышла на стабильную сезонную производительность. По опыту работы драги аналогичного типа (380 л) на Верхне-Ныгринском дражном полигоне [2], ее производительность в течение 2003-2008 гг. колебалась в пределах 803-1254 тыс. м³, тогда как добыча золота изменялась от 122,2 до 302,5 кг, что объясняется, в первую очередь, качеством разрабатываемых запасов.

Эксплуатация роторно-конвейерного комплекса на разработке вскрышных пород показала, что наибольший годовой объем переработки при сезонной эксплуатации составил 820 тыс. м³, среднечасовая производительность составила 482 м³/час. Объемы переработки песков на БОФ, при их выемке роторным экскаватором, составили от 270 до 490 тыс. м³ в сезон при мощности отработки от 4 до 12,4 м.

Роторно-ковшовый земснаряд РКЗС 350-16Е также при работе на террасовой части россыпи подводным

черпанием показал среднюю производительность от 40 до 90 м³/час. Перечисленные показатели производительности могут быть приняты за основу при выборе технологических решений освоения россыпи.

Анализ ситового состава золота в обогащаемых песках россыпного месторождения золота реки Большой Куранах свидетельствует, что содержание золота крупностью менее 0,25 мм, в зависимости от района (участка) отработки находится в пределах от 41,2 до 61,1 %, а потери в настоящее время составляют 16,1 – 18,2 % при дражной переработке и до 11 % — при переработке на обогатительной фабрике. Это является следствием неоднородности качества запасов, большого количества мелкого золота в ассоциации с глинистыми минералами, значительной доли крупных фракций в гранулометрическом составе песков.

При этом даже в границах кондиционного блока присутствуют области с низким содержанием металла. По опыту разработки таких месторождений, отработка блоков с участками (областями) низкого содержания металла экономически невыгодна.

Кроме того, в силу неравномерности распределения металла по контуру россыпи, определенная часть запасов заключена в забалансовых блоках, отработка которых по существующей технологии не осуществляется. Так, на участке в районе р.л. 248-196 доля забалансовых запасов составляет 8,4 %; на участке р.л. 196-140 – 7,1 %; на участке р.л. 140-84 – до 55 % балансовых запасов; на участке р.л. 84-30 – также 54 %.

ИГДС СО РАН получен патент [3] на способ комбинированной переработки песков россыпного месторождения золота реки Большой Куранах, включающий установление верхней

границы продуктивной части месторождения, удаление верхнего непродуктивного слоя, создание промежуточной технологической емкости, отработку песков в контуре запасов с предварительным отделением крупных фракций песков методом промывки, обогащение продуктивной части с получением концентрата ценного компонента.

Качественная и полная переработка песков россыпного месторождения золота реки Большой Куранах достигается при выполнении в ходе подготовки и эксплуатации россыпного месторождения геометризации запасов по признаку содержания, включении в технологическую цепь операции предварительной забойной сортировки песков, дополнительной концентрации мелких частиц золота. Расчетами установлено, что введение в технологическую схему переработки песков дополнительной стадии концентрации, с учетом степени управляемости процесса, позволяет рассчитывать на дополнительное извлечение

металла в объеме до 10 %, при данном гранулометрическом составе песков и металла россыпи.

Ранее в работе [4] была выдвинута идея технологической кластеризации россыпи Б. Куранах, 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.

Предложенные в [3,4] 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.

Рекомендованные способы разработки и технологические решения в основной части уже прошли апробацию на горных предприятиях Якутии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Математическая статистика в горном деле / П.А. Рыжов. // Учебное пособие для вузов, М.: «Высшая школа». 1973. – 287 с.

2. Ершов В.А. Совершенствование разработки глубоких россыпей комплексом «экскаватор-драга» / Горная промышленность, 2010, №2, с. 67.

3. Пат. 2449126 Российская Федерация, МПК E21,C41/30. Способ комбинированной переработки песков россыпного месторождения золота реки Большой Куранах / С.А. Ермаков, А.М. Бураков, С.В. Панишев, И.С. Касанов, И.В. Иванов; зая-

витель и патентообладатель Учреждение Российской академии наук Ин-т горн. дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН. — №2010133211/03; заявл. 06.08.2010; опубл. 27.04.2012, Бюл. № 12.

4. Парионов В.Р., Матвеев А.И., Федоров Ф.М., Бураков А.М., Ермаков С.А., Горохова Л.Н. Возможности технологической кластеризации золотосодержащего россыпного месторождения реки Б. Куранах по содержанию металла / Наука и образование, 2010, №1. — Якутск. — С. 32—39. **ПАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Ермаков Сергей Александрович — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией открытых горных работ, s.a.ermakov@igds.ysn.ru,

Бураков Александр Михайлович — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, a.m.burakov@igds.ysn.ru,

Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения РАН.