

УДК 622.271.5

С.А. Ермаков, А.М. Бураков, И.С. Касанов

**МЕТОДИКА КАРТИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОНОСНЫХ
ЗОН НА РОССЫПНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ
СЛОЖНОГО СТРОЕНИЯ**

Приведена методика картирования металлоносных зон на россыпном месторождении сложного качественного строения. Методика основана на соотношении среднего и граничного содержания металла в заданных диапазонах.

Ключевые слова: россыпное месторождение, картирование, металлоносные зоны, геологические разрезы.

Семинар № 17

**S.A. Ermakov, A.M. Burakov,
I.S. Kasanov
TECHNIQUE OF KARTIROVANIIJA
METAL-CARRY ZONES ON
SCATTERING THE DEPOSIT
DIFFICULT STRUCTURE**

The brought methods of determination metalliferous zones on placer deposits complex qualitative construction. The method is founded on correlation average and border contents of the metal in given range.

Key words: placer deposit, mapping, metal-bearing areas, geological sections.

В сложноструктурных россыпных месторождениях, наиболее характерным из которых является погребенная россыпь долины реки Б. Куранах в Якутии, существуют достаточные геолого-структурные предпосылки для сложноструктурной организации минерального вещества. К ним относятся: обнажение на дневной поверхности пространственно разобщенных рудных полей, каждое из которых обладает специфической минералогией золота; блоковое строение пород, залегающих в основании долины; различная степень сношенности блоков рудоносных пород в результате неотектонических подвижек. Это подразумевает существование

стратиграфических уровней речных отложений, вмещающих горизонты эпох россыпеобразования, при участии пород с различным типом золотой минерализации [1].

Селективное строение, при котором участки кондиционных песков занимают лишь небольшую часть объема подсчетных блоков, но заключают 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 геометрические зоны его запаса прослеживаются на сотни метров и картируются на различных высотных уровнях в поперечных разрезах тела россыпи. Выделяются они на основании выполнения многовариантного расчета баланса средних содержаний золота, установленных по разрезам разведочных выработок.

Для выделения и геометризации зон повышенного содержания металла, необходимо создание программы компьютерного моделирования и подсчета запасов, основанной на ис-

пользовании данных геологического опробования. Требуемая исходная информация должна включать данные трех типов: база первичного опробования по данным детальной разведки, координаты дневной поверхности, границы геологических зон (разрезов) – условно однородных участков, выделенных по геологическим признакам.

Программное обеспечение анализа геологических данных должно позволять, путем введения различных кондиционных норм, изменять размеры зоны концентрации по заданным пределам ее насыщенности полезным компонентом и его суммарному запасу. Чтобы иметь практическую ценность при разработке и реализации нового подхода к выбору способов и технологий разработки месторождения, данное программное обеспечение в пределах каждой, отдельно взятой зоны концентрации полезного компонента должно дополняться данными технологического опробования различных горизонтов россыпного месторождения, на основе чего определится рациональная схема переработки песков россыпного месторождения.

Информация о распределении полезного компонента, удовлетворяющая вышеуказанным потребностям, должна исходить из системы представительного опережающего и сопровождающего эксплуатационного опробования, позволяющей с необходимой и достаточной точностью и детальностью картировать запасы по качеству и технологическим свойствам. Реализация такой системы должна рассматриваться как один из начальных и основных процессов технологической разработки месторождения.

Ранее выполненными исследованиями [2] установлено, что распределение металла по площади россыпи носит выдержанный характер. По

вертикали золото концентрируется неравномерно. В целом количество золота по простиранию россыпи уменьшается. По данным геологических исследований высокие и низкие содержания золота встречаются вне зависимости от степени глинистости, литологического состава, глубины и удаленности от древнего русла. Значительная часть золота представлено мелкой и особо мелкой фракцией. Подобные условия являются характерными для многих россыпных месторождений Якутии.

Для расчета геометрических параметров металлоносных зон, применительно к условиям россыпного месторождения Б. Куранах ранее были разработаны алгоритм и программа (в 3-мерной постановке) расчета количества полезного компонента (ПК) по заданному набору диапазонов его содержания ($\text{мг}/\text{м}^3$) в контуре россыпного месторождения и соответствующих каждому диапазону объемов извлекаемой из массива горной массы [3].

Разработанный для решения двумерных и трехмерных задач пакет прикладных программ позволяет:

- рассчитывать количество полезного компонента по заданному полю содержаний, с обработкой поля путем двумерной линейной интерполяции на специальную пространственную сетку, интегрирования на сетке, повторения расчетов для заданных поперечных разрезов и последующего дополнительного интегрирования вдоль продольной оси;

- проводить многовариантный подсчет запасов с изменяющимися бортовым содержанием, условиями для формирования объединенных интервалов и степенью селективности;

- учитывать фактический рельеф земной поверхности и его влияние на объемы горных работ;

- автоматически формировать входные файлы, задающие набор параметров вертикальных координат заданных сечений, для последующего построения линий равных значений полезного компонента в заданных горизонтальных сечениях россыпи.

Выполненными по данной программе расчетами установлено, что качественные характеристики запасов месторождения р. Б. Куранах изменяются в соответствии с определенной закономерностью. Данная закономерность характеризуется значительным (в несколько раз) изменением размеров зон концентрации металла и резким изменением (в 2-5 раз) его содержания на локальных участках месторождения. Во многих характерных случаях более половины, или близкое к этому количество запасов золота заключено примерно в одной пятой объема песков. Это определяет данное месторождение как имеющее селективный тип распределения полезного компонента.

По результатам моделирования структуры запасов на россыпном месторождении сложного качественного строения предложена методика картирования металлоносных зон, основанная на установлении взаимосвязи среднего и граничного содержания полезного компонента и позволяющая оперативно устанавливать границы добычной области в условиях использования дифференцированных эксплуатационных кондиций.

Суть методики заключается в следующем.

По заданным диапазонам содержания металла проводится моделирование геометрических параметров металлоносных зон. В результате проведенного моделирования, по шести (в данном примере) диапазонам содержания золота, получены линейные и объемные характеристики запасов полезного компонента, с выделением средних содержаний металла в каждом из заданных диапазонов.

Полученные значения средних содержаний используются в качестве исходных для расчета участков (например, для каждого геологического разреза) граничных содержаний металла, позволяющих включить их в контур кондиционного блока песков. Расчет осуществляется путем построения корреляционной зависимости среднего содержания металла в том или ином диапазоне от граничного значения содержания по этим же диапазонам (рис. 1).

граничное содержание	среднее содержание
0	89
8	110
30	147
150	339
300	572
500	1003

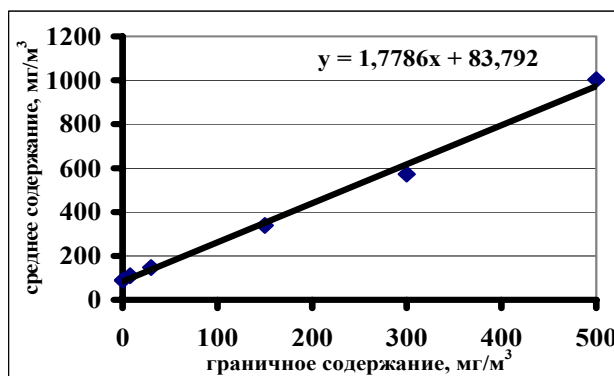


Рис. 1. Зависимость среднего и граничного содержания металла в металлоносной зоне

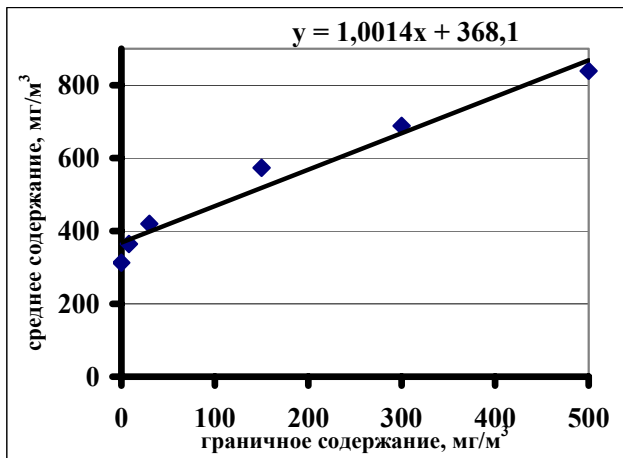


Рис. 2. Характерная зависимость для "богатого" участка россыпи

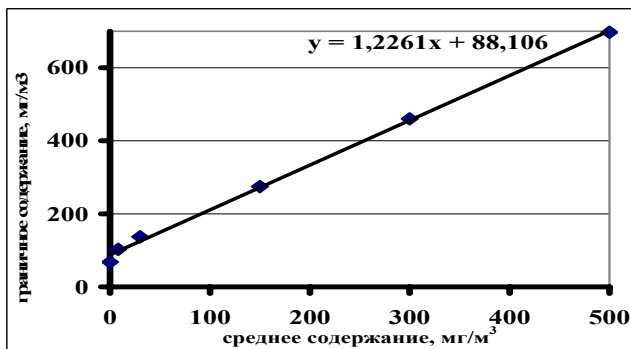


Рис. 3. Характерная зависимость для "среднего" участка россыпи

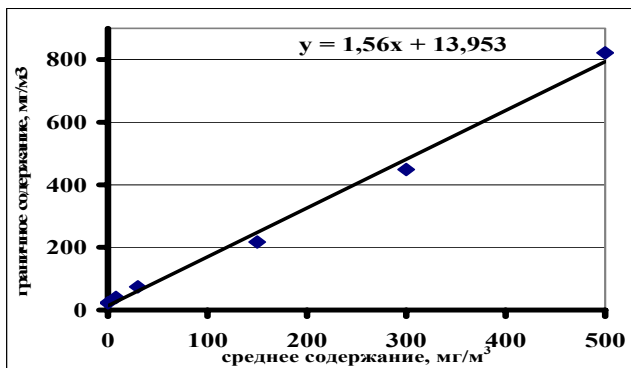


Рис. 4. Характерная зависимость для "бедного" участка россыпи

отдельно взятого участка месторождения. В данном конкретном примере, при включении в блок со средним содержанием 339 мг/м³ дополнительных объемов песков в диапазоне содержания 30-150 мг/м³ среднее содержание уменьшается с 339 до 147 мг/м³.

Проведен расчет допустимых граничных содержаний металла, включение которых в добычную блок не приводит к снижению среднего содержания ниже заданных пределов, а именно 242 и 1700 мг/м³. Получено, что среднее содержание 242 мг/м³ обеспечивается при включении в добычную область песков с содержанием до 89 мг/м³, а среднее содержание 1700 мг/м³ - соответственно песков с содержанием до 911 мг/м³. Указанные зависимости построены для всех геологических разрезов.

Установленная зависимость характеризует изменение среднего содержания металла в блоке, при включении в него участков (зон) с меньшим содержанием металла. Данная зависимость имеет свой вид для каждого,

построены для всех геологических разрезов.

По проведенным расчетам, граничное содержание полезного компонента при необходимом среднем содержании, например, 150 мг/м³,

изменяется в зависимости от размеров и качества зон концентрации полезного компонента. В наиболее "богатых" разрезах такое среднее содержание обеспечивается при включении в добычную область песков с минимальным содержанием (до первых миллиграммов). По мере ухудшения качества песков граничное содержание

увеличивается, достигая 40-50 или даже 60-70 мг/м³ (рис. 2-4).

Полученные взаимосвязи среднего и граничного содержания по геологическим разрезам (блокам) могут быть использованы для укрупненного определения параметров металлоносных зон при возможном изменении эксплуатационных кондиций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Особенности кластерного распределения золотоносных зон в массиве погребенных россыпей. Батугин С.А., Бураков А.М., Ермаков С.А., Блинов А.А. Научные и практические аспекты добычи цветных и благородных металлов. Докл. Межд. совещ. Т.2 - Хабаровск, 2000, с. 309-322.

2. Бураков А.М., Ермаков С.А. Исследование геометрии запасов полезного компонента в продуктивной толще россыпного

месторождения. // Горн. информ. -аналит. бюлл. /Моск. гос. горн. универ. - 2002. - № 7. - С. 124-127.

3. Ермаков С.А., Бураков А.М., Тетельбаум А.С. Алгоритм расчёта (по результатам бурения) запасов полезного ископаемого в рудном теле россыпных месторождений криолитозоны // Тез. докл. конф. "Ритмы природных процессов в криосфере Земли" 12-16 мая 2000, Пушино. С. 181-182. **ИДБ**

Коротко об авторах

Ермаков С.А. – кандидат технических наук, зав. лабораторией открытых горных работ, ст. научный сотрудник, s.a.ermakov@igds.ysn.ru

Бураков А.М. – кандидат технических наук, ст. научный сотрудник, a.m.burakov@igds.ysn.ru

Касанов И.С. – аспирант, a.m.burakov@igds.ysn.ru

Учреждение Российской Академии наук, Институт горного дела Севера им Н.В. Черского Сибирского отделения РАН.



ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

РУКОПИСИ,

Шкваря Л.В. Интеграционные процессы в Западной Европе. ЕЭС-ЕС и ЕАСТ: этапы развития и современное состояние. (713/09-09 от 22.06.09) 27 с.

Проведен анализ Западноевропейской экономической интеграции, освещены мотивы и этапы интеграции, роль Северного сотрудничества и политических факторов в развитии интеграционных тенденций

УДК 622.271.5

С.А. Ермаков, А.М. Бураков

**МЕТОДИЧЕСКОЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ
ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ БЕЗВЗРЫВНОЙ
РАЗРАБОТКИ ГОРНЫХ ПОРОД МЕСТОРОЖДЕНИЙ
КРИОЛИТОЗОНЫ**

Приведен опыт применения безвзрывной разработки пород месторождений Якутии с использованием роторных экскаваторов. Изложены результаты исследований и даны рекомендации по особенностям подготовки и разработки пород месторождений криолитозоны.

Ключевые слова: безвзрывная разработка, криолитозона, месторождение алмазов, роторный экскаватор.

Семинар № 17

**S.A. Ermakov, A.M. Burakov,
THE METHODOLOGICAL AND
TECHNOLOGICAL JUSTIFICATION OF
THE NON-BLASTING MINING OF THE
CRYOLITHIC ZONE**

The broughted experience of the using non-blasting development of the sort's deposits of Yakutia with use bucket-wheel excavators. The stated results of the studies and are given recommendations on particularity of preparation and development of the sort's deposits of permafrost.

Key words: non-blasting mining, cryolithic zone, diamond deposit, bucket wheel excavator

Две трети территории РФ, на которых разрабатывается большое количество месторождений полезных ископаемых, в том числе угля, алмазов, золота, заняты многолетнемерзлыми горными породами. Характерной особенностью месторождений расположенных в криолитозоне является резкое изменение прочности горных пород вследствие их промерзания.

Анализ горнотехнологических условий месторождений Севера показывает необходимость и актуальность разработки новых технологических

решений, включающих реконструкцию технологии добычи и транспорта; обоснование способов подготовки горных пород к выемке, разупрочнение крепких и мерзлых пород; уменьшение экологической нагрузки на окружающую среду и человека, создание благоприятных условий работы горнодобычного оборудования, увеличение продолжительности рабочего сезона, обеспечение сохранности алмазов при их добыче, последующее восстановление нарушенных земель.

Повышение эффективности открытых горных работ при разработке месторождений Севера возможно в следующих направлениях:

I - создание технических средств с повышенным усилием копания для эксплуатации при низких температурах пород и воздуха.

II - эксплуатация существующего горнодобычного оборудования с учетом термомеханического состояния горного массива в пределах оптимальной продолжительности рабочего сезона и допустимых нагрузках на оборудование.

III - активное влияние на процесс изменения термомеханического состояния массива, т.е., разработка технологических мероприятий, обеспечивающих поддержание силовых нагрузок на оборудование в пределах допустимых, и включающих в себя приёмы и параметры отработки забоя, способы подготовки и разупрочнения многолетнемерзлых грунтов, способы предохранения горных пород от промерзания.

IV - применение нетрадиционных технологий, горнодобычного и транспортного оборудования, включающее:

- расширение области применения безвзрывной поточной технологии на базе роторно-конвейерных комплексов;

- перевод дражного оборудования на роторный принцип черпания;

- применение новых карьерных комбайнов КСМ. Комбайны способны разрабатывать породы с прочностью на сжатие до 50-80 МПа при мощности главного привода в 360-720 кВт.

- применение перспективной системы разработки пластовых и россыпных месторождений наклонными слоями, с производством работ по непрерывной технологии.

Специфическим условиям месторождений криолитозоны, как показали исследования, выполненные в ИГДС СО РАН [1], отвечают технологии, базирующиеся на безвзрывном отделении пород от массива, в том числе технологии с использованием роторно-конвейерных комплексов.

Наиболее характерными примерами применения безвзрывной технологии в условиях месторождений криолитозоны являются россыпное месторождение золота реки Б. Куранах и рудное месторождение алмазов трубки "Удачная".

Россыпное месторождение долины реки Б. Куранах.

На месторождении, впервые в условиях Крайнего Севера, проведена промышленная эксплуатация роторно-конвейерного комплекса на разработке вскрышных пород и песков. Наибольший годовой объем переработки составил 820 тыс. м³, среднечасовая производительность 482 м³/час, удельный расход электроэнергии 1,24 кВтЧч/м³. Осуществлена эксплуатация добычного роторно-конвейерного комплекса в технологической цепи с береговой обогатительной фабрикой. Средняя производительность по пескам при послышной отработке составила до 200 м³/час, удельный расход электроэнергии 2,3 кВтЧч./м³. Отмечено повышение степени извлечения золота при обогащении за счет предварительной дезинтеграции песков на стадии добычи и транспортировки. За период с 1988г. переработано более 5 млн. м³ песков и добыто около 3000 кг металла.

Разработана и предложена многоуступная технологическая схема, включающая отработку первого и второго уступов роторно-конвейерным комплексом, третьего уступа – шагающим экскаватором или драгой, четвертого уступа также драгой.

В 2000-2005 гг. впервые в подобных условиях на террасовой части россыпи р. Б. Куранах проведена эксплуатация роторно-ковшового земснаряда РКЗС 350-16Е фирмы "Ньюман", с добычей песков и их транспортировкой по пульповоду на обогащение. По данной технологии переработано более 500 т. м³ золото-содержащих песков.

Внедрение поточной технологии на россыпи р. Б. Куранах подтвердило целесообразность и возможность эксплуатации роторных комплексов в Якутии в сезонном режиме.

Алмазоносные трубки "Юбилейная", "Удачная".

**Основные показатели экскавации кимберлитов
трубки «Удачная»**

Участок работы	Крепость пород f	Производительность, м ³ /ч	Окружное усилие, кг	Общая площадь резания, см ²	Сопротивление копанию, Н/см ²
Западное рудное тело	5	402	4400	593	73
	5	263	5000	413	119
	5	570	3700	895	40
Восточное рудное тело	8	137	7000	312	265
	8	100	8500	157	531
	8	228	6200	358	170

Предварительная оценка прочности пород алмазородных месторождений на примере трубки «Юбилейная» производилась по апробированным методикам, в том числе:

- методика института УкрНИИпроект (Киев), учитывающая временное сопротивление пород растяжению и сжатию, угол внутреннего трения, сцепление пород в массиве;

- методика Н.Г. Домбровского, выражающая зависимость удельного сопротивления резанию и копанию от категории пород;

- методика А.Н. Зеленина, выражающая зависимость категории пород от количества ударов плотномера ДорНИИ.

Результаты исследований и расчетов показали, что удельное сопротивление копанию кимберлитов может составить 110-160 Н/см², вмещающих пород - 140-160 Н/см², с возможным повышением на 30-40%, что допускает возможность отработки значительных объемов продуктивной толщи (кимберлитов) и вскрышных пород с помощью роторных экскаваторов с удельным усилием копания до 2,4 МПа (235 Н/см²) типа К-650.

В 1996 г. на карьере трубки "Удачная" компании "АПРОСА" проведены испытания роторного экскаватора К-650 (Чешская Республика). Целью испытаний было определение экспериментальным путем возможности безвзрывного разрушения кимберлитов

роторным экскаватором, а также степени повышения выхода алмазов из кимберлитовых руд по сравнению с применяемой на карьере технологией добычи с использованием буровзрывной подготовки. Основные результаты испытаний и методика исследований нагружения силовых элементов экскаватора изложены в работе [2].

Трубка представлена двумя сросшимися рудными телами, расходящимися на глубине 300 м. В районе месторождения многолетнемерзлые породы достигают глубины 400 м, температура массива составляет от -10 до -12 °С. Крепость пород по Протогьяконову на Западном рудном теле составляла f = 5-7, на Восточном рудном теле доходила до f = 8. Во время испытаний было добыто около 50 тыс. т кимберлитов на Западном и Восточном рудных телах.

При экскавации кимберлитов крепостью 4-5, производительность экскаватора составляла до 400 м³ /ч, что близко к паспортной (450 м³ /ч).

По результатам экспериментальных замеров в карьере трубки "Удачная" определены основные показатели экскавации кимберлитов.

Результаты испытаний подтвердили принципиальную возможность разработки кимберлитов алмазородных трубок с крепостью до 8 роторными экскаваторами типа К-650 в исполнении с повышенной мощностью привода роторного колеса и высоким усилием ко-

пания. При обогащении руд, добытых в процессе испытаний по безвзрывной технологии, по данным ГОКа "Удачный" достигнуто повышение сохранности кристаллов алмазов и снижение энергоемкости подготовки алмазосодержащей руды на обогатительной фабрике по сравнению с традиционной технологией на 15-20%.

Разработаны возможные технологические схемы отработки забоя, обеспечивающие непрерывность процесса выемки кимберлитовых руд с погрузкой на крутонаклонный ленточный конвейер и с отсыпкой либо непосредственно в автосамосвал, либо в навал с последующей погрузкой в автотранспорт самим экскаватором. Такая схема использована в ходе опытной эксплуатации К-650 на трубке "Удачная".

Месторождение "Эльгинское".

Углевмещающая толща суммарной мощностью около 200 м содержит 22 угольных пласта рабочей мощности. К мощным отнесены пять угольных пластов толщиной от 4,8 до 9,9 м, содержащие около 90% запасов угля месторождения. Пласты угля имеют пологое, 2-5 град., залегание. Большинство пластов имеют сложное строение и включают от 1-2 до 10-12 породных прослоев, что предъявляет особые требования к возможностям селективной отработки для применяемых технологий. Прочность вмещающих пород составляет 3-8 по Протодряконову и доходит до 11-13.

Анализ физико-механических свойств пород вскрышных пород и угля показал, что вмещающие породы, при использовании традиционных технологий, требуют обязательной подготовки с помощью буровзрывных работ. Уголь, вследствие невысокой прочности, можно предварительно разупрочнить "встряхиванием".

На добыче угля лимитирующими факторами применения роторных экс-

каваторов является мощность угольных пластов и толщина внутриугольных прослоев. При большой их мощности, они могут разрабатываться только после предварительной подготовки.

На основе анализа геологического строения пластов, наиболее перспективными к отработке роторными экскаваторами являются пласты У₄, У₅, Н₁₅, Н₁₆ со средней мощностью 4,9-9,8 м. Область применения роторных экскаваторов по остальным угольным пластам, предназначенным к открытой разработке, ограничена их малой мощностью.

Исследованиями, выполненными в ИГДС СО РАН, установлено, что, по показателям прочности пород и угля и, особенно по соображениям селективной выемки тонких угольных пластов, в технологических схемах возможно широкое применение комбайнов КСМ-2000 и КСМ-2000Р, которые могут осуществлять безвзрывную выемку угольных пластов, и значительной (до 60%) части вмещающих пород. Конструктивные возможности КСМ-2000Р способствуют селективной выемке, так как необходимые по условиям горных работ параметры уступов при применении этих машин можно задать практически в любом диапазоне.

Расчетная производительность КСМ-2000Р по породным прослоям примерно равна: по алевролитам - 710 м³, песчаникам мелкозернистым: 490-540 м³ и по песчаникам среднезернистым 630 м³.

При использовании выемочно-погрузочных машин типа КСМ-2000Р для безвзрывной разработки вскрышных пород и углей Эльгинского месторождения значительно снизится экологическая нагрузка на окружающую природную среду, повысится безопасность горных работ и улучшатся показатели селективности.

С целью методического обоснования возможности применения без-

взрывных технологий добычи в условиях криолитозоны ИГДС СО РАН проведен ряд теоретических и экспериментальных исследований по процессам подготовки и разработки пород.

Разработка дисперсных пород россыпных месторождений криолитозоны.

По опыту эксплуатации комплекса поточной технологии при разработке вскрышных пород россыпи р. Б. Куранах, на производительность роторного экскаватора оказывало весьма существенное влияние наличие включений крупнообломочного материала.

Для решения этой проблемы были выполнены исследования по оценке взаиморасположения режущей кромки и валуна в пространстве, с реализацией имитационной модели в объемной постановке; создана методика количественной оценки экстремальных ситуаций при непрерывной экскавации горных пород с крепкими включениями.

При определении технической производительности, необходимого усилия копания и динамических характеристик экскаватора, для условий разработки пород с твердыми включениями необходимо располагать величиной максимальной нагрузки, возникающей при контакте отбойного органа с включением, а также её длительностью, скоростью нарастания и частотой. Под максимальной нагрузкой подразумевается выброс на некоторый средний уровень в момент контакта ковша с обломком в опасном диапазоне (экстремальная ситуация). Экстремальной ситуацией считается встреча в диапазоне ($\pm L$) по длине обломка и под углом ($\pm \alpha$) касательного усилия к плоскости обломка, когда реализуется случай волочения обломка по забою или стопорения отбойного органа.

Количественная характеристика (частота) экстремальных ситуаций, при которых резко повышаются коэффициенты вариаций текущих значений со-

противления пород копанию и производительности экскаватора, позволит прогнозировать качественные показатели работы роторных комплексов в условиях валунистых россыпных месторождений.

В связи с отсутствием закономерностей размещения и ориентации крупных обломков в массиве россыпи и опыта эксплуатации роторных экскаваторов в подобных условиях, учитывая, что процесс взаимодействия отбойного органа с включениями носит случайный характер, с целью максимального приближения к истинным характеристикам "опасных" ситуаций, возникающих при взаимодействиях обломков с элементами отбойного органа, задача количественной оценки "экстремальных ситуаций" решена теоретическим путём с использованием вероятностных методов, в объёмной постановке.

Для определения вероятности опасных встреч процесс взаимодействия ковша с обломком смоделирован с помощью метода статистических испытаний (метод Монте-Карло), который позволил создать имитационную модель, реализуемую на ЭВМ. С помощью имитационной модели воспроизводится случайным образом положение режущей кромки и обломка в пространстве и оценивается их взаиморасположение в соответствии с заданными опасными диапазонами по длине обломка и углу встречи.

При анализе кинематической схемы взаимодействия отбойного органа с обломками, отмечено, что общее количество "опасных" встреч в значительной мере зависит от соотношения размеров обломков и толщины стружки. При этом характер зависимости числа "опасных" встреч от толщины стружки может быть различным в зависимости от соотношения размеров обломка и толщины стружки.

Оптимальная толщина стружки, обеспечивающая наименьшее количе-

ство "опасных" встреч, а соответственно, и их влияние на производительность экскаватора и динамичность нагрузки, будет зависеть от размера и содержания обломков в массиве.

Критерием оптимизации приняты минимальные потери объемов экскавации из-за твердых включений, оцениваемых коэффициентом снижения производительности (K_c), учитывающим совокупность влияния крепких включений разных размеров на производительность экскаватора при минимальном количестве "опасных" встреч.

$$K_c = \frac{Q_t t - (m_1 \Delta Q_1 + m_2 \Delta Q_2 + m_3 \Delta Q_3)}{Q_t t}, \quad (1)$$

где $Q_t t$ - объем экскавации за период времени t , м³; m_1, m_2, m_3 - количество опасных встреч за этот период при различных ситуациях взаимодействия; $\Delta Q_1, \Delta Q_2, \Delta Q_3$ - потери объемов экскавации за одну опасную встречу при различных ситуациях, м³.

Условием оптимизации принята толщина стружки, обеспечивающая наибольшее значение K_c , т.е. $K_c \rightarrow \max$ при $\Sigma_{\text{встр.}} \rightarrow \min$.

По данным granulометрического состава крупнообломочных фракций выполнены расчёты вероятности и количества "опасных" встреч отбойного органа с обломками для параметров стружки $S_0 = 0,15 - 0,4$ м. Установлено, что наиболее рациональной для условий россыпи р. Б. Куранах является стружка толщиной 0,25 м, при которой влияние обломков на эффективность работы роторного экскаватора будет наименьшим, общее количество "опасных" встреч, могущих вызвать аварийные ситуации, составит примерно 1 встречу на 15000 м³ разрабатываемых объемов.

Обоснованы рациональные режимы экскавации, при которых обеспечивается техническая производительность и оптимальные условия работы экскава-

тора. В качестве критериев рациональности приняты минимизация удельной энергоёмкости экскавации и динамичности нагружения экскаватора при реализации заданной производительности. Основным показателем при оценке рациональности режимов экскавации принята скорость боковой подачи ротора.

Расчетными параметрами экскавации приняты высота слоя, производительность, частота вращения роторного колеса, площадь стружки, удельная энергоёмкость экскавации, амплитуда мощности привода вращения ротора и тока двигателя привода поворота верхней надстройки.

В результате математической обработки экспериментальных данных получены регрессионные модели для определения удельного сопротивления и энергоёмкости копания дисперсных пород россыпи

$$K_F = 10,4 - 19 \cdot 10^{-5} F^2 - 18 \cdot 10^{-2} (S/V)^2 + 3 \cdot 10^4 F S/V, \text{ кгс/см}^2 \quad (2)$$

$$W = 0,147 + 0,016 K_F - 46 \cdot 10^{-5} F + 43 \cdot 10^{-4} K_F^2 - 19 \cdot 10^{-4} (S/V)^2 + 2,6 \cdot 10^{-6} F S/V, \text{ кВт. ч/м}^3 \quad (3)$$

На основе выполненных исследований установлены геометрические, силовые и энергетические закономерности взаимодействия отбойного органа роторного экскаватора с дисперсными породами, имеющими крепкие включения; разработаны рекомендации по рациональным режимам их экскавации, по конструктивным усовершенствованиям отдельных узлов роторного экскаватора. Это позволило существенно снизить влияние крепких включений, повысить эффективность и производительность роторного экскаватора в условиях россыпи р. Б. Куранах.

Были выполнены также и другие теоретические и прикладные работы, получившие в дальнейшем экспериментальное и практическое подтвержде-

ние. В частности, разработана методика прогнозирования температурного режима массива, учитывающая степень и продолжительность воздействия климатических и техногенных факторов, установлены закономерности изменения термомеханического состояния горных пород, и способы управления им; исследованы параметры рабочей зоны и карьерного пространства, различных способов и схем разработки погребенной россыпи и обоснована рациональная область их использования.

Обоснование режимов безвзрывной экскавации пород алмазородных месторождений.

При испытаниях роторного экскаватора К-650 на трубке "Удачная" были отмечены повышенные значения коэффициентов неравномерности (K_n) и динамичности (K_d) нагрузок (окружного усилия). Так K_n достигал значений 6,0, а $K_d = 1,65$. Неравномерность и динамичность нагрузок обусловлена в значительной степени несоответствием конструктивных особенностей зубьев и самих ковшей роторного колеса экскаватора условиям эксплуатации.

Снижение динамических нагрузок при экскавации неоднородных пород возможно как за счет использования механических средств и конструктивных усовершенствований элементов отбойного органа, так и за счет выбора рациональных параметров режимов экскавации (типа, высоты и толщины срезаемой стружки).

Исследования зависимости силы резания от формы поперечного сечения среза грунта, выполненные КИСИ для грунтов средних категорий крепости, показали, что эти зависимости имеют вид функций с областью минимума, находящейся в зоне отношения толщины стружки к ее ширине (s/b) = 0,8...1.

Анализом экспериментальных режимов резания, выполненных при экскава-

ции пород россыпи реки Б. Куранах [3], установлено, что рациональное отношение s/b находится в пределах 2-3.

Имеющиеся данные по параметрам резания кимберлитовых руд на карьере "Удачный" говорят о том, что при скорости поворота верхней надстройки 6 - 7,2 м/мин ширина стружки составляла 8-10 см. Таким образом, соотношение s/b будет находиться в рациональных пределах при поддержании рабочей толщины стружки в пределах 15-20 см.

Экспериментальными данными [3] также установлено влияние высоты срезаемой стружки на уровень и динамичность нагрузок при отработке неоднородного забоя. Снижение этих показателей имеет более резкий характер при увеличении высоты слоя с 2 до 3 м (при величине диаметра ротора 6 м). Поэтому экскавацию массива необходимо выполнять с высотой слоя не менее половины диаметра ротора.

Результаты экспериментальных исследований при разработке пород россыпи р. Б. Куранах показали, что при схеме резания роторным колесом горизонтальными стружками коэффициент загрузки приводов и коэффициент динамичности нагрузок возрастают на 15 - 25% в сравнении со способом отработки вертикальными стружками.

Динамика процесса может быть существенно снижена путем рационального выбора числа ковшей, числа зубьев и способа их расстановки. При экскавации крепких пород конфигурацию режущего пояса, число и способ расстановки зубьев необходимо выбирать такими, чтобы расчетная амплитуда колебания суммарной площади среза приближалась к нулю.

Ковши, установленные на экскаваторе К-650, имели трапециевидную форму с пятью зубьями, установленными на передней режущей кромке. Одноименные зубья на ковшах не смещены в радиальном направлении. На бо-

ковых кромках ковшей зубья не уставлены.

Как показал опыт эксплуатации роторных экскаваторов на разработке крепких пород, в том числе и углей, в таких условиях необходимо использовать сотовую схему разрушения забоя режущими элементами, что достигается применением ковшей скола с установкой зубьев на боковых стенках.

Ширину передней режущей кромки зуба l_k рекомендуется принимать равной 3-7 см [5]. При конструировании зуба необходимо принимать во внимание величину и направление максимального значения равнодействующего усилия, которое зависит от параметров срезаемой стружки, расстановки и геометрии зубьев и их износа, а также физико-механических свойств горной породы. Для снижения динамики процесса резания, уменьшения энергозатрат и улучшения гранулометрического состава добытого материала, в условиях эксплуатации невзорванного массива кимберлитов разработаны предложения по применению ковшей с сотовой схемой резания и рациональным параметрам забоя.

Насыщение массива минерализованными растворами.

Путем математического моделирования выполнена оценка влияния минерализованных растворов на температурный режим многолетнемерзлого массива алмазородных месторождений. Разработана математическая модель, и новый алгоритм решения задачи Стефана применительно к расчетам тепловых полей в многолетнемерзлом массиве с минерализацией поровой влаги.

Применительно к решению ЗС разработаны специальные, носящие сервисный характер алгоритмы локализации границ раздела фаз по картине температурного поля на данный момент дискретного времени и механизмы слежения за поведением (траекто-

рией) фронтов. Разработан также алгоритм автоматизированного построения пространственной сетки, обеспечивающей с одной стороны отсутствие "стыковочных" блоков, т.е. строгое совпадение границ физических слоев области с границами блоков, с другой - квазиравномерность сетки.

На ЭВМ, кроме динамики температурного поля, прослеживалась многолетняя динамика среднегодовых температур и фазовых границ. Решены две серии конкретных прогнозных задач для климатических условий месторождения Якутии.

Результаты расчетов показали, что на начальном этапе зимнего периода температура грунтов после минерализации значительно ниже, чем в те же моменты времени для "пресных" грунтов, но за счет смещения температуры начала замерзания первые на этом этапе длительное время остаются в талом состоянии, тогда как вторые с наступлением зимы практически сразу замерзают. Иными словами, расчеты подтвердили возможность удлинения сезона проведения добычных работ в условиях Севера путем введения в грунт минеральных добавок.

Подготовка пород россыпных месторождений в условиях криолитозоны.

Для россыпных месторождений криолитозоны актуальной является проблема предварительного разупрочнения многолетнемерзлых пород перед выемкой.

В условиях многолетнемерзлых пород в любом случае необходимо осуществлять предварительную оттайку песков перед обогащением. В настоящее время процесс подготовки песков осуществляется стадийно, с предварительным рыхлением, выкучиванием, складированием, последующей оттайкой, что в условиях ограниченной продолжительности теплого периода не

позволяет произвести полную оттайку песков перед подачей на обогащение. Это приводит к дополнительным потерям полезного компонента.

На основании выполненных расчетов установлено, что пески месторождений, находящиеся в мерзлом состоянии, в зависимости от содержания льда и времени удаления торфов успевают за один сезон протаять на глубину 2,5-3,5 м. При этом необходимым условием должно быть удаление торфов к началу теплого периода года (март, первая половина апреля). Для полного предохранения талых песков от сезонного промерзания глубина зимнего затопления полигона должна быть больше на 0,2-0,5 м максимальной толщины ледяного покрова.

В целом, поверхностная тепловая мелиорация в комбинации с защитой талых песков от зимнего промерзания путем затопления поверхности предо-

храняемых участков обеспечивает к концу второго года (лета) подготовительных работ оттайку многолетнемерзлых грунтов россыпных месторождений на глубину не менее 4,5-5 метров. Это дает возможность применить для их разработки традиционное оборудование и способы (бульдозерный, бульдозерно-гидравлический, экскаваторный) без дополнительного рыхления.

В этом случае, при сопоставимых годовых параметрах обрабатываемых полигонов россыпных месторождений снижаются объемы вредных выбросов за счет исключения буровзрывного и сокращения объема механического рыхления, уменьшения количества оборудования. Одновременно снизится себестоимость добычи 1 м³ песков, также будут созданы оптимальные условия дезинтеграции и обогащения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермаков С.А., Бураков А.М., Задальский И.И., Панишев С.В. Совершенствование геотехнологий открытой разработки месторождений Севера. /ЯФ ГУ Издательство СО РАН, Якутск, 2004, 364 с.

2. Отчет о проведении испытаний роторного экскаватора К-650 в ГОКе "Удачный". Якутск, ИГДС СО РАН, 1996, 55 с.

3. Ермаков С.А., Бураков А.М. Особенности поточной технологии разработки ме-

сторождений Якутии открытым способом. - Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1994. - 96 с.

4. Владимирова В.М., Шендеров А.И., Калашников Ю.Т. и др. Карьерные роторные экскаваторы. Киев, Техніка, 1968, 282 с.

5. Остапенко П.В. Рациональные схемы расстановки зубьев на роторе экскаватора для разработки крепких углей. - В кн.: Горнотранспортное оборудование разрезов. Киев, Техника, 1976, с. 32-41 (УкрНИИ-проект). ■■

Коротко об авторах

Ермаков С.А. – кандидат технических наук, зав. лабораторией открытых горных работ, ст. научный сотрудник, s.a.ermakov@igds.ysn.ru

Бураков А.М. – кандидат технических наук, ст. научный сотрудник, a.m.burakov@igds.ysn.ru

Якутский государственный университет им. М.К. Амосова,
Учреждение Российской Академии наук, Институт горного дела Севера
им Н.В. Черского Сибирского отделения РАН.