

ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ДВО РАН

Основные научные результаты исследований

1. Сведения о важнейших научных достижениях ИГД ДВО РАН, полученных в 2023 году.

1.1. На основе результатов комплексных аналитических и геотехнологических исследований проб взорванных кварц-серицитовых метасоматитов с разделением их по классам крупности и по сортам руд, выделенных по различным содержаниям металла, разработана схема выемки и переработки руд сложноструктурных месторождений, которая предусматривает: детальную разведку участков, представленных богатыми рудами путем сгущения сети скважин; опережающую выемку богатых руд; взрывное рыхление оставшейся части сложноструктурного блока с последующей селективной выемкой рудной массы различных сортов; грохочение сортов рудной массы с выделением обогащенных и обедненных полезным компонентом фракций; шихтовка полученных фракций рудной массы, при этом шихта с рядовым содержанием полезного компонента перерабатывается с применением флотации, бедная рудная масса направляется на кучное выщелачивание, а фракция с повышенным содержанием полезного компонента перерабатывается посредством двухстадийного сорбционного выщелачивания, обеспечивающим высокое извлечение металла.

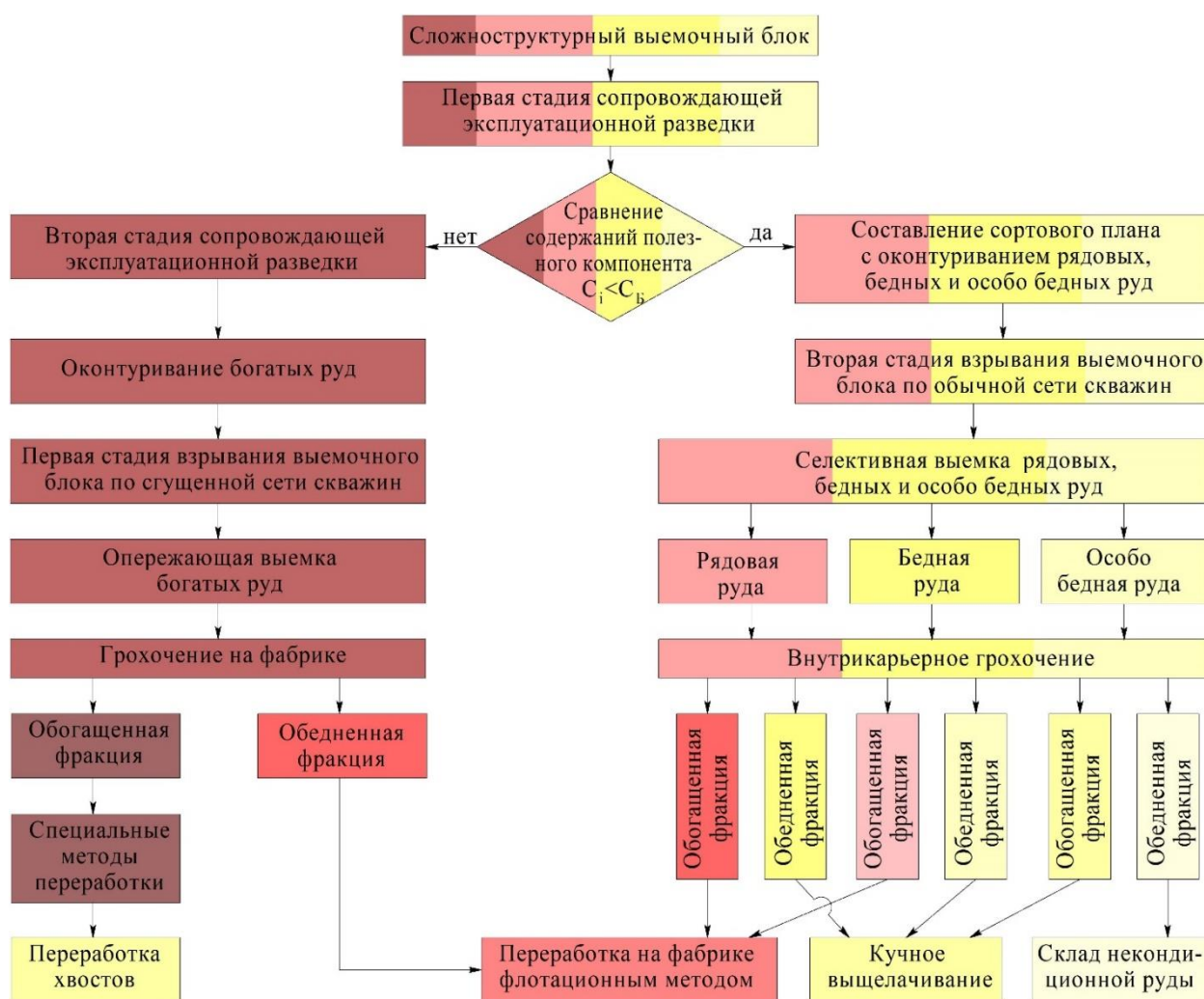


Рис. 1.1. Схема добычи и переработки руд сложноструктурного выемочного блока

Авторы: Рассказов И.Ю., (4212) 32-79-27, rasskazov@igd.khv.ru;

Чебан А.Ю., (4212) 31-17-32, chebanay@mail.ru;
Литвинова Н.М., (4212) 31-17-32, nayka22@yandex.ru;
Конарева Т.Г., (4212) 31-17-32, konar_tat@mail.ru;
Андрющенко А.С., (4212) 31-17-32, andryushchenko.as@amur-gold.ru.

Публикации: Рассказов И.Ю., Чебан А.Ю., Литвинова Н.М., Конарева Т.Г., Андрющенко А.С. Совершенствование схем добычи и переработки руд при освоении сложноструктурных месторождений // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2023. - № 2. С. 57-67. DOI: 10.15372/FTPRPI20230206. IF - 0,984. Q3

1.2. Разработаны научные основы доизвлечения золота, находящегося внутри кристаллов ряда минералов (инкапсулированное и химически связанное) и в окисдно-железистых пленках на поверхности мелких и тонких частиц кварца-халцедона, из хвостов гравитационного обогащения песков россыпных месторождений. На их основе создана и апробирована технологическая схема (рис. 1.2), предполагающая складирование хвостов в штабели и орошение экологощадящим выщелачивающим раствором до полной пропитки в течение не менее 3-х суток для обеспечения диффузионного окисления и выщелачивания золота. При этом выщелоченное золото накапливается в поровых растворах. После этого, минеральная масса смешивается с водой, а полученная пульпа, совместно с сорбентом порционно загружается в пачуки, в которых производится извлечение сорбентом золота в агитационном режиме. Далее насыщенный золотом сорбент отделяется от пульпы.

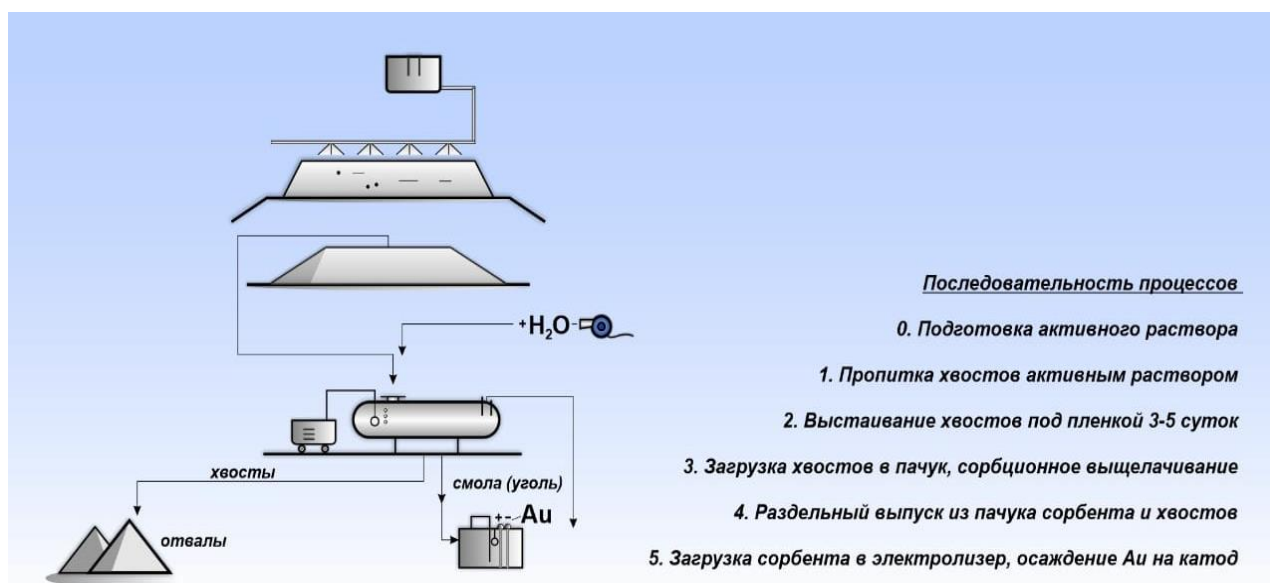


Рис. 1.2. Схема комбинированной переработки минеральной массы хвостов гравитационного обогащения песков россыпей с кучно-чановым выщелачиванием золота

Авторы:

Секисов А.Г. (4212) 31-17-32, sekisovag@mail.ru
Литвинова Н. М., (4212) 31-17-32, nauka22@yandex.ru;
Конарева Т. Г., (4212) 31-17-32, konar_tat@mail.ru;
Лаврик Н. А., (4212) 31-17-32, lavrik@igd.khv.ru;
Лаврик А.В., 31-17-32, alexalavrikxx@gmail.com.

Публикация: Лаврик Н.А., Литвинова Н.М., Лаврик А.В. Минералого-технологические особенности золота из россыпей южного склона Белой Горы (Хабаровский край) и этапы его формирования // Георесурсы. - 2023. - № 25(3). С. 198–207. DOI: 10.18599/grs.2023.3.23. Scopus Q2. IF - 0.503

1.3. Разработана методика повышения объема взорванной горной массы (ВГМ) за один массовый взрыв (МВ) на основе оптимизации организационных и технологических процессов, включая увеличение глубины скважин, внедрения рекомендаций по увеличению площади взрывного блока при уменьшении радиуса опасной зоны по разлету кусков горной массы для механизмов. В результате внедрения данной методики на ООО «Солнцевский угольный разрез» зафиксирован рост соответствующего объема ВГМ за один МВ на 60 % в 2022-2023гг относительно 2021 года, что позволило: снизить количество МВ и сопутствующие им проблемы, связанными с организацией взрыва; уменьшить разлет кусков ВГМ; повысить уровень производительности и безопасности ведения горных работ; решить ряд других вопросов операционной эффективности, в том числе увеличить производительность оборудования при устранении риска, связанного с дополнительным рыхлением буровзрывным способом междупластий, остающихся после выемки угольных пластов традиционным способом.

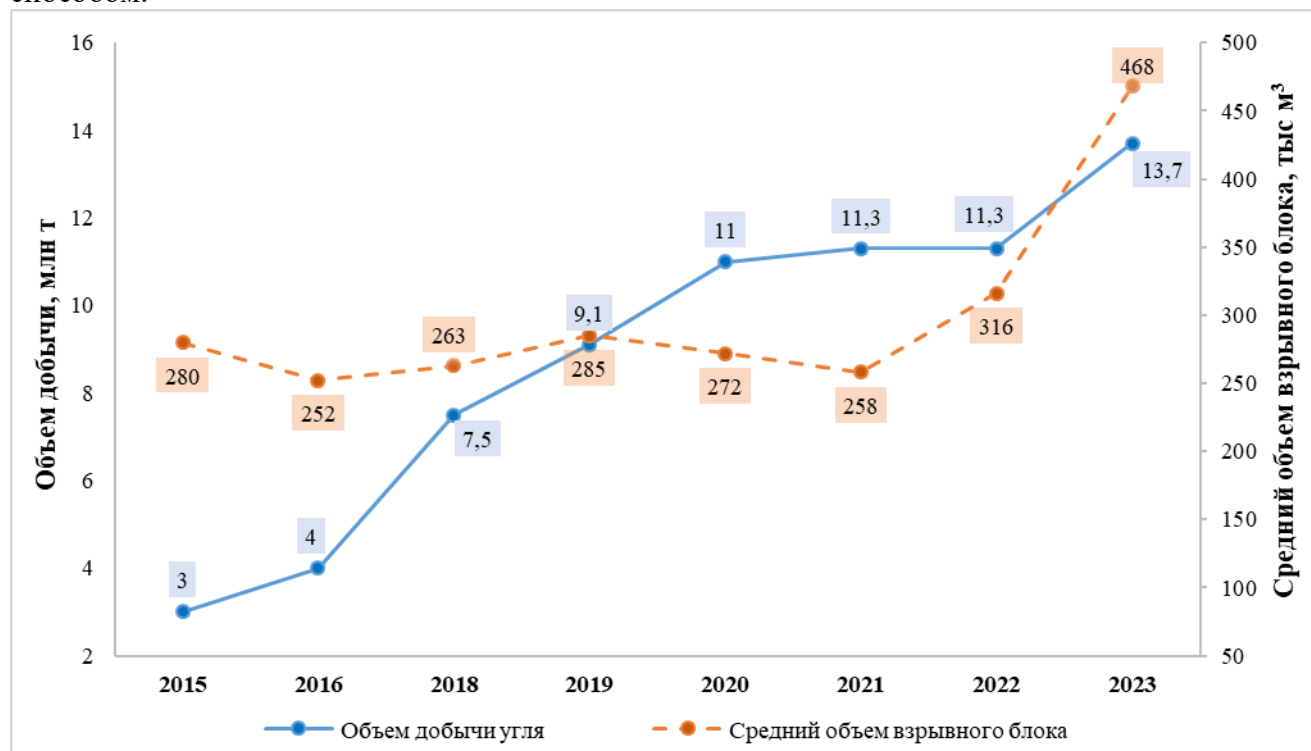


Рис. 1.3. Динамика изменения среднего объема взорванной горной массы за один массовый взрыв на СУР относительно добычи угля

Авторы: Галимьянов А.А., (4212) 31-17-32, azot-1977@mail.ru;
Казарина Е.Н., (4212) 31-17-32, kazarinaen@mail.ru.

Публикация: Галимьянов А.А., Шевкун Е.Б., Кабиров А.Р., Казарина Е.Н. Фактор увеличения объема взрывного блока // Уголь. - 2023. - № 10 (1172). С. 104-108. DOI 10.18796/0041-5790-2023-10-104-108. Scopus Q3. IF - 0,53.

2. Сведения о научных достижениях ИГД ДВО РАН в 2023 г., получивших высокую оценку качества и значимости

2.1. Разработана методика оценки производительности парлифтной скважины, основанная на компьютерном моделировании течения в ее стволе, позволяющая прогнозировать эксплуатационные возможности скважины без проведения трудоемкой и затратной процедуры измерения расходных параметров, используя для расчета значение максимального рабочего устьевого давления, определяемого в процессе первичного выпуска, а также параметры, обязательные к определению по окончании ее строительства. Для примера выполнена оценка производительности типовой по конструкции и энтальпии флюида добычной скважины Мутновского месторождения (Камчатка), имеющей максимальное рабочее давление 10 бар (рис. 2.1).

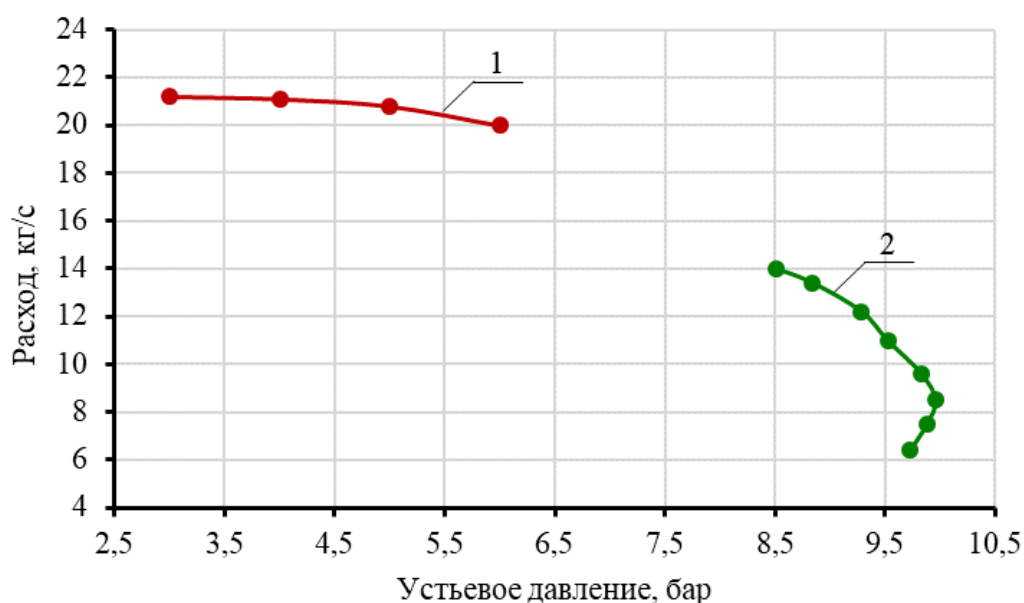


Рис. 2.1. График производительности добычной скважины. с характеристикой пласта P2: 1 – при непосредственной подаче в магистральный трубопровод, 2 – при дросселировании перед подачей в магистральный трубопровод, работающий под давлением 7 бар.

Авторы:

Шулюпин А.Н., (4212) 31-17-32, ans714@mail.ru,
Варламова Н.Н., (4212) 31-17-32, vnvsvet@mail.ru.

Публикация: Шулюпин А.Н., Варламова Н.Н. Максимальное рабочее устьевое давление как показатель производительности парлифтной скважины // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2023. Вып. 3. С. 464-474.

2.2. С применением разработанного прибора для контроля и оценки удароопасности “Prognoz-L2” нового поколения, получены экспериментальные данные, отражающие характер геомеханических процессов при формировании очагов разрушения, и выполнен анализ амплитудно-частотных характеристик сигналов акустической эмиссии в условиях интенсивных технологических шумов действующего горнодобывающего предприятия (рис. 2.2).

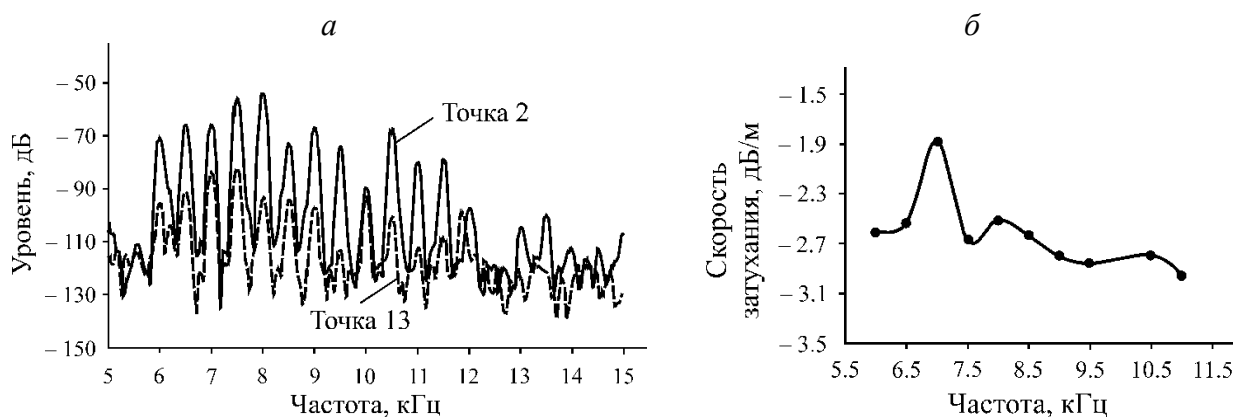


Рис. 2.2. Параметры АЭ, отражающие свойства и состояние массива горных пород Южного месторождения, опасного по горным ударам: а – спектр многочастотного импульса на расстоянии 2 м (точка 2) и 13 м (точка 13) от источника; б – зависимость скорости затухания волн АЭ от частоты в массиве горных пород

Авторы: Рассказов И.Ю., (4212) 32-79-27, adm@igd.khv.ru,
Аникин П.А., (4212) 31-17-32, pav.anik@mail.ru

Публикация: Рассказов И.Ю., Аникин П.А., Грунин А.П., Мигунов Д.С., Терешкин А.А. Совершенствование технических средств локального контроля удароопасности при ведении горных работ // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2023. № 5. С. 177-184. DOI: 10.15372/FTPRPI20230519.

2.3. Определена зависимость роста экономической эффективности недропользования в ДФО от пространственного распределения месторождений на площади округа, квалификации производственного персонала, развития транспортной и энергетической инфраструктуры региона, научного сопровождения реализуемых и проектируемых инвестиционных проектов, а также наличия многоуровневой региональной системы подготовки квалифицированных кадров для обеспечения высокотехнологичного горного производства. Сформулирована концепция развития регионального транспортно-энергетического каркаса территории, на основе двух важнейших мультипликативных центров развития – в г. Магадан (Магаданская область, прибрежная Арктическая и Охотоморская территории) и в г. Хабаровск (Хабаровский край, Охотоморская территория).

Авторы: Рассказов И.Ю., (4212) 32-79-27, adm@igd.khv.ru,
Архипова Ю.А., (4212) 31-17-32, yuliya_arhipovas@mail.ru,
Крюков В.Г., (4212) 31-17-32, igd@igd.khv.ru,
Волков А.Ф., (4212) 31-17-32, igd@igd.khv.ru.

Публикация: Рассказов И.Ю., Архипова Ю.А., Крюков В.Г., Волков А.Ф. Горная промышленность Дальнего Востока России: обеспечение баланса интересов государства и недропользования / И. Ю. Рассказов, Ю. А. Архипова, В. Г. Крюков, А. Ф. Волков // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2023. № 3. С. 149-158. DOI 10.15372/FTPRPI20230315.

Таблица 1

Проект транспортно-энергетического каркаса ДФО

Наименование объекта	Краткая характеристика	Субъект ДФО	Примечания
I. Транспорт			
1.1.Морской транспорт	Северный морской путь (СМП) с портовой инфраструктурой	Республика Саха (Якутия), Магаданская обл., Чукотский АО, Камчатский край, Хабаровский край, Приморский край, Сахалинская обл.	Развитие существующей и строительство новой портовой и логистической инфраструктуры на побережье и в устьях рек, увеличение каботажного флота (Лена, Амур и др.), создание необходимой эксплуатационной, транспортно-логистической, энергетической, социальной инфраструктуры
1.2.Железнодорожные магистрали	- ст. Эльга – мыс Манорский, ст. Селихин (Комсомольск-на-Амуре), - п. Лазарев - мыс Погиби – ст. Ныш; - Якутск – Магадан	Республика Саха (Якутия), Хабаровский край; Хабаровский край, Сахалинская обл.; Республика Саха (Якутия), Магаданская обл.	
1.3. Автомагистрали	Широтный ход: Амга – Усть-Мая – Аян; Меридиональная автомобильная трасса: Комсомольск-на-Амуре – Охотск – Магадан - Анадырь	Республика Саха (Якутия), Хабаровский край; Хабаровский край, Магаданская обл., Чукотский АО	
1.4.Автодороги	- Комсомольск-на-Амуре – Чегдомын; - Селихино – Николаевск-на-Амуре, - по левобережью Амура от Комсомольска-на-Амуре до пос. Октябрьский	Хабаровский край	
II. Энергетика			
2.1.Приливные электростанции (ПЭС)	- Пенжинская ПЭС - Тугурская ПЭС	Магаданская обл., Камчатский край, Хабаровский край	Строительство заводов по производству чистого “зеленого” жидкого водорода (создание «Охотоморской водородной долины»)
2.2.Гидроэлектростанции (ГЭС)	- Ниманская ГЭС;	Хабаровский край	Развитие проектов по получению товарных продуктов с высокой добавленной стоимостью на основе глубокой степени переработки добываемого сырья; Создание комфортной социальной среды для проживания населения в ДФО
2.3.Атомные станции (АЭС)	- Эворонская АЭС, - сеть малых плавучих и сухопутных АЭС;	Хабаровский край ДФО	
2.4.Угольные тепловых электростанции	- Чегдомынская ГРЭС, - Тугурская ГРЭС;	Хабаровский край	
2.5.Линии электропередач (ЛЭП)	Кольцевая сеть ЛЭП и распределительных подстанций	ДФО	

2.4. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена эффективность взрывоинъекционного окисления и последующего выщелачивания активированными

растворами ценных металлов из минеральной массы. Взрывоинъекционное окисление представляет собой инициированное взрывом проникновение в раскрывающиеся микротрещины высокотемпературных паров воды и реагентов-окислителей, находящихся в форме ионов и радикалов, которые образуются в результате термобарического воздействия взрывных газов на исходные растворы и/или воду. Растворы и/или воду размещают в тонкостенных ампулах при непосредственном контакте с зарядом взрывчатого вещества. Во всех экспериментах комбинация взрывного и реагентного воздействия на модельную минеральную среду с добавленным в нее медным порошком, обеспечивала прирост извлечения меди в продуктивный раствор в последующих процессах выщелачивания на 58,34-83,17 % в зависимости от применяемого реагента.

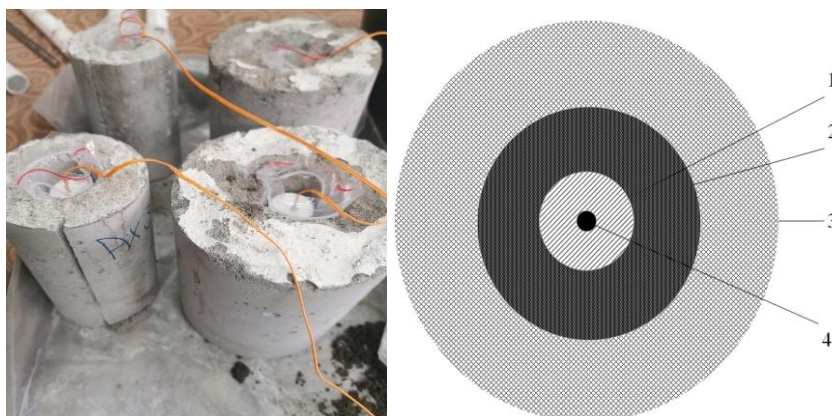


Рис. 2.3. Схема расположения термитного состава и реагентов в монолите модельного материала: 1 – пластиковая капсула с термитным составом, 2 – полиэтиленовая капсула с раствором реагента, 3 – монолит модельного материала, 4 – средства инициирования

Авторы: Рассказова А.В., (4212) 31-17-32, annbot87@mail.ru.
 Секисов А.Г., (4212) 31-17-32, sekisovag@mail.ru;
 Галимьянов А. А. (4212) 31-17-32, azot-1977@mail.ru.

Публикация: Патент 2804346 РФ, МПК E21C 41/22, E21B 43/28. Способ подземного активационного выщелачивания комплексных руд / Рассказова А.В., Секисов А.Г., Лавров А.Ю./ заявитель и патентообладатель Федеральное гос. бюджет. учреждение науки Хабаровский Федеральный исследовательский центр ДВО РАН. - № 2023103070; заявл. 09.02.2023; опубл. 28.09.2023. Бюл. № 28.

2.5. Экспериментально доказана эффективность доизвлечения дисперсного золота из отходов горного производства - лежалых сульфидных кеков цианирования с использованием электроактивированных растворов с добавлением реагентов, продуцирующих при электролизе сильные окислители, обеспечивающие вскрытие золотосодержащей сульфидной минеральной матрицы. При этом исходные сульфатные растворы получали путем простого добавления воды в пробу естественно сульфатизированных лежалых кеков до образования пульпы с Т:Ж=1:10 с вводом хлорида натрия (NaCl) и без него. Выщелачивание проводилось при последующем обезвоживании активированной пульпы, в режиме: орошение введенным в раствор экологощадящим комплексообразователем для золота тиокарбамидом не более 2-х %-й концентрации – выстаивание - перколяция. Максимальное извлечение золота из «лежалых» кеков - 79,3% достигнуто после предварительной электрохимической обработки пульпы с добавлением хлорида натрия (NaCl).

**Результаты экспериментов по довыщелачиванию золота из лежалых кеков
Дарасунского рудника**

№ п/п	Схема	Содержание Au, г/т		Извлечение золота, %
		в исходном кеке	в твердой фазе хвостов	
1	0,7% NaCN (цианидная контрольная)	5,97	2,04	65,81
2	2% CS(NH ₂) ₂ (тиокарбамидная на поровом растворе без активации)	5,33	1,44	73,02
3	2% CS(NH ₂) ₂ +H ₂ SO ₄ (раствор активированный)	5,53	1,31	76,29
4	Предокисление активированным раствором, пауза + 2% CS(NH ₂) ₂	6,21	2,17	65,07
5	Тиокарбамидная на дистил. H ₂ O: эл-лиз, +2% CS(NH ₂) ₂	8,36	2,68	67,9
6	Активационная (ввод NaCl в поровый раствор, эл-лиз) + 2% CS(NH ₂) ₂	8,31	1,69	79,7

Авторы: Конарева Т.Г., (4212) 31-17-32, Konartat@mail.ru.

Секисов А.Г., (4212) 31-17-32, sekisovag@mail.ru.

Публикация: Конарева Т.Г. «Исследование процесса выщелачивания золота из сульфидных кеков дарасунского рудника электроактивированными растворами». В сб.: Современные проблемы комплексной и глубокой переработки природного и нетрадиционного минерального сырья (Плаксинские чтения – 2023), Москва. 2023. С. 407-409.

2.6. В результате проведенной серии лабораторных экспериментальных исследований по изучению влияния циклического затопления-осушения (З-О) горной массы техногенных комплексов россыпных месторождений на параметры миграции частиц золота впервые для частного случая установлена регрессионная зависимость интенсивности изменения содержания золота по глубине I_m от медианного размера частиц вмещающей горной массы d_{50} ($k_{кор} = 0,97$): $I_m = 0,54 \cdot d_{50} - 0,07$ (рис. 2.4). Полученная зависимость позволит на стадии проектирования определить пригодность техногенного месторождения к применению технологии формирования обогащенной зоны по фактору «гранулометрический состав», а также оценить время, необходимое для формирования обогащенной зоны. Установлено, что значение медианного диаметра $d_{50}=0,3$ мм является граничным условием применения технологии формирования обогащенной зоны по фактору «гранулометрический состав».

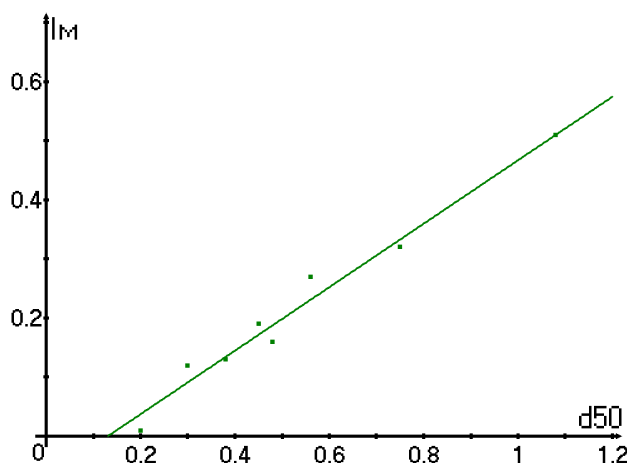


Рис. 2.4. Зависимость интенсивности изменения содержания золота по глубине от медианного размера частиц вмещающей горной массы

Авторы: Алексеев В.С., (4212) 31-17-06, alekseev.igd.khv@mail.ru;
Таганов В.В., (4212) 31-14-91, street-dv@mail.ru.

Публикация: Таганов В.В., Алексеев В.С. Разработка инновационной технологии формирования обогащенных зон техногенных комплексов россыпных месторождений // Проблемы недропользования. 2023. № 2. С. 23-31. DOI: 10.25635/2313-1586.2023.02.023.

2.7. В результате анализа литературных источников и данных о запасах и объемах добычи золота ряда природных и техногенных россыпных месторождений Хабаровского края определены наиболее вероятностные границы погрешности подсчета запасов россыпных месторождений золота по различным категориям (рис. 2.5). Результаты исследований позволят недропользователям и инвесторам точнее оценивать свои риски при выборе участков для разработки, что благоприятно скажется на инвестиционной обстановке.

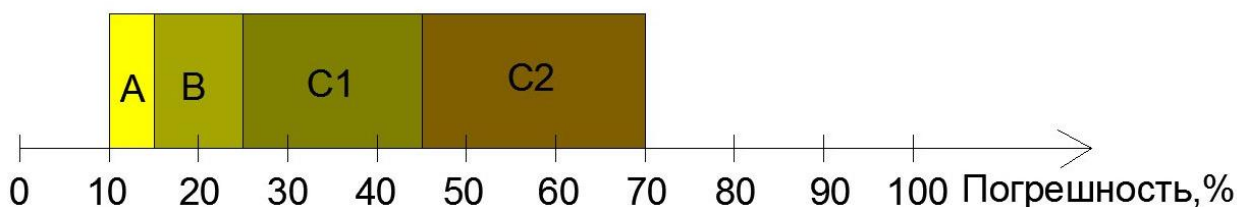


Рис. 2.5. Диапазон погрешности при подсчете запасов

Авторы: Степаненко Д.В., (4212) 31-17-06, step_17.95@mail.ru.
Алексеев В.С., (4212) 31-17-06, alekseev.igd.khv@mail.ru.

Публикация: Степаненко Д.В., Алексеев В.С. Оценка погрешности подсчета запасов россыпных месторождений для различных категорий // Маркшейдерия и недропользование. 2023. № 1. С. 14-18. DOI: 10.56195/20793332_2023_1_14_18.

2.8. На основе анализа состояния, структуры минерально-сырьевой базы рудных полезных ископаемых субъектов Дальневосточного федерального округа, а также потребности их разработки, методами исследования геосистем и территориальной организации производств разработана новая концепция освоения и внутрирегионального использования минерально-сырьевых ресурсов олова и интеграционного проекта его освоения

Показатели социальной эффективности проекта создания вертикально интегрированного горно-металлургического комплекса ДФО

№	Показатель	Значение
1	Проектная мощность (металлургия)	6 млн т / год
2	Инвестиции в проект	\$ 5335 million
3	Величина среднегодового прироста ВРП за период реализации проекта	Рост ВРП на 6,6 % в год
4	Множитель ВРП	3,8
5	Инвестиционный мультипликатор	2,2
6	Налоговый мультипликатор	1,3
7	Мультипликатор (рост ВРП/инвестиции)	MULT (ВРП / Инвестиции = 1,6)
8	Мультипликатор занятости	2,8

Автор: Архипова Ю.А., (4212) 31-17-32, e-mail: yuliya_arhipovas@mail.ru

Публикация: Arkhipova Yu.A. The economic significance of the implementation of a large resource project in the Russian Far East. Multiplicative effect. In: J. Sib. Fed. Univ. Humanit. soc. sci., 2023, 16(3), 378–390. EDN: GHJQQW

2.10. При изучении особенностей золота из проб (магнитной, парамагнитной, хвостов стола) с доводочного участка ШОУ золотороссыпного месторождения ручьёв Покровский - Верный, формирующегося в непосредственной близости от золоторудного месторождения Белая Гора (Хабаровский край), впервые обнаружены наряду с гипогенной амальгамой золота и серебра (вейшанитом $(Au, Ag)_3Hg_2$) (рис. 2.7) выделения самородных металлов Fe, Cr, Al, Cu, Zn, Pb и интерметаллидов различной морфологии зёрен, в том числе сферической. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что выделение золота и ассоциирующих с ним самородных металлов могло происходить в 3 этапа: 1 – в процессе образования покровов базальтов-андезибазальтов, туфов и брекчий взрывов; 2 – при гидротермально-метасоматических процессах и формировании штокверка золоторудного месторождения; 3 – с флюидами глубинных разломов на отдельных участках.

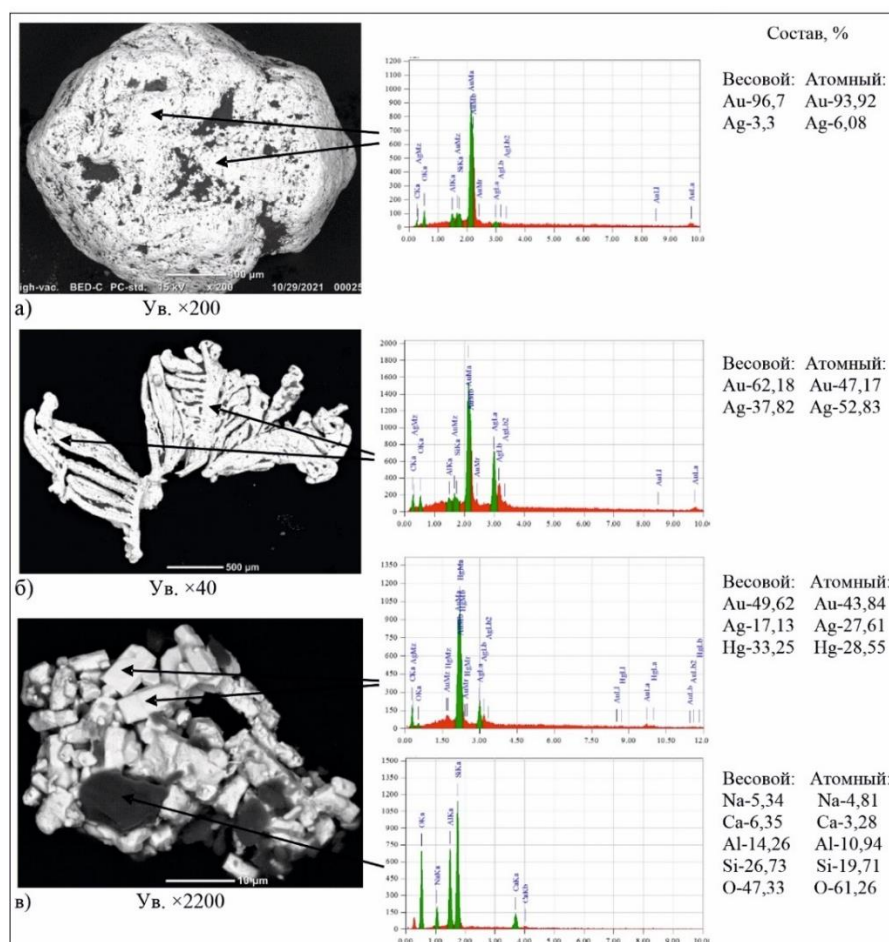


Рис. 2.7. Зёрна золота различной морфологии и состава: а) высокопробное золото в виде изометричных кристаллов и сростков; б) дендритовидные выделения золота с высокой примесью серебра (электрум); в) гипогенная амальгама золота и серебра (вейшанит). Фото с электронного микроскопа

Авторы: Лаврик Н.А., (4212) 31-17-32, e-mail: lavrik@igd.khv.ru
Литвинова Н. М., (4212) 31-17-32, nauka22@yandex.ru;
Лаврик А.В., 31-17-32, alexalavrikxx@gmail.com

Публикация: Лаврик Н.А., Литвинова Н.М., Лаврик А.В. (2023). Минералогические особенности золота из россыпей южного склона Белой Горы (Хабаровский край) и этапы его формирования. Георесурсы, 25(3), с. 198–207. <https://doi.org/10.18599/grs.2023.3.23>

2.11. В рамках направления исследования «Развитие горного комплекса в зонах инфраструктурных проектов»: 1) определена необходимость выделения системообразующего проекта или интегрированных в пределах локальной территории группы горнорудных проектов как основы дальнейшего освоения территории. В качестве интегрирующих рассматриваются Джугджурский (черные металлы, Тугуро-Чумиканский район) и Малмыжский (медь, Нижнее Приамурье) районы, инвестиции в которые превышают 100 млрд рублей по каждому; 2) разработана и апробирована методика выделения перспективных объектов. Для Нижнего Приамурья из 670 мелких месторождений и рудопроявлений выделено 43 перспективных объекта, в Преддугджурье из 508 – 27 (рисунок). Апробация прошла на 19 объектах Нижнего Приамурья. Прогностическая оценка авторов подтверждена на 15; 3) установлена специфика перспектив видов минерального сырья каждой территории: Нижнее

Приамурье – золото-медь-алюминий-вольфрам-бериллий, для Преджугджурья – уголь-черные металлы-никель-фосфориты-редкие земли.

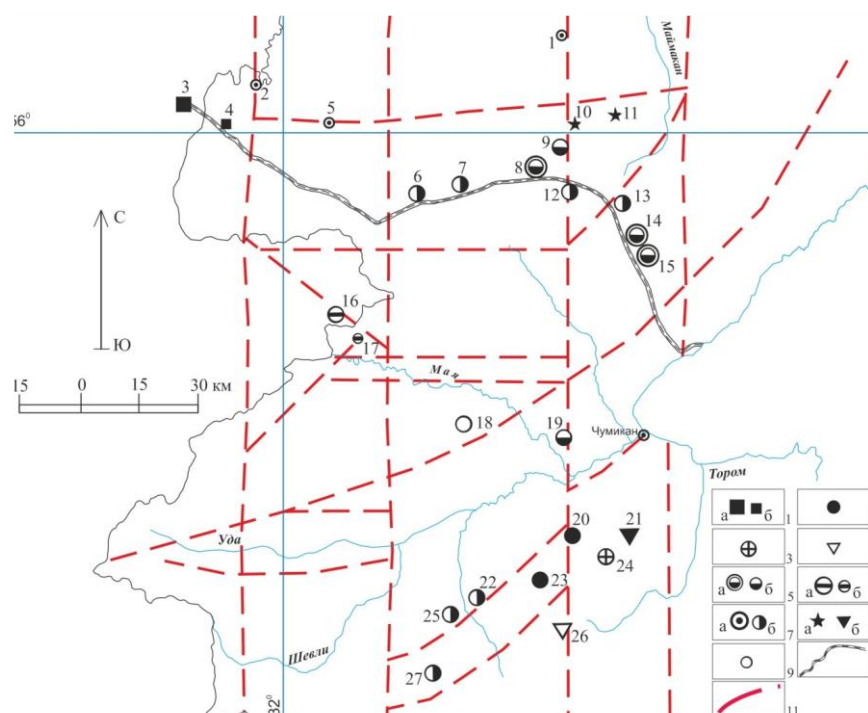


Рис. 2.8. Схема расположения месторождений в Преджугджурье.

1. Бугундя. 2. Арбарастах. 3. Эльгинское. 4. Худурканское. 5. Тавитчак. 6. Богидэ, 7. Сорого. 8. Перевальное. 9. Ляльми-Макит. 10. Радужное. 11. Геранское. 12. Гаюм. 13. Маймакан. 14. Киранканское. 15. Авляяканское. 16. Кун-Манье. 17. Атага. 18. Майское. 19. Горелое. 20. Ирское. 21. Ветвистое. 22. Урожайное. 23. Мильканское. 24. Ирнимийское. 25. Гербикан. 26. Лагапское. 27. Давакит.

1 – Месторождения угля: а) крупное, б) мелкое.

2-4 – Рудопрооявления: 2 – железорудные, 3 – марганцевые, 4 – фосфориты.

5-6 – Месторождения (а) и рудопрооявления (б), 5 – золота, 6 – никеля.

7-9 – Рудопрооявления: 7а – редких земель, урана, 7б – фосфор-железо-титановые, 8а – ирризирующие лабрадориты, 8б – яшма, 9 – полиметаллы. 10 – Трасса. 11 – Разломы.

Автор: Крюков В.Г., (4212) 31-17-32, e-mail: kryukov-vg@mail.ru

Публикация: Крюков В.Г, Краденых И.А. Экономика горного комплекса в зонах реализации инфраструктурных проектов в Хабаровском крае // Региональные проблемы. – 2022. – Т. 25. – №3. – С. 124-126.