

ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ДВО РАН (ИГД ДВО РАН)

Основные научные результаты в 2020 году

В области физических и химических процессов разделения, концентрации и переработки минералов: теоретически обоснована и экспериментально подтверждена эффективность циклического перколяционного выщелачивания меди из низкосортных упорных медно-порфировых руд с сопутствующими золотом и серебром активированными растворами с сернокислотно-нитритной основой и растворами с хлоридными комплексообразователями. Достигнуто извлечение меди свыше 80 %, что позволяет использовать эту схему как для варианта кучного выщелачивания из руд, добываемых в карьере, так и для подземного выщелачивания меди из глубокозалегающих участков рудных тел (рис. 1).

(Rasskazova A.V., Sekisov A.G., Kirilchuk M.S., Vasyanovich Yu.A. Stage-activation leaching of oxidized copper-gold ore // Eurasian Mining. – 2020. – № 1. – С. 52-55. DOI 10.17580/em.2020.01.10).

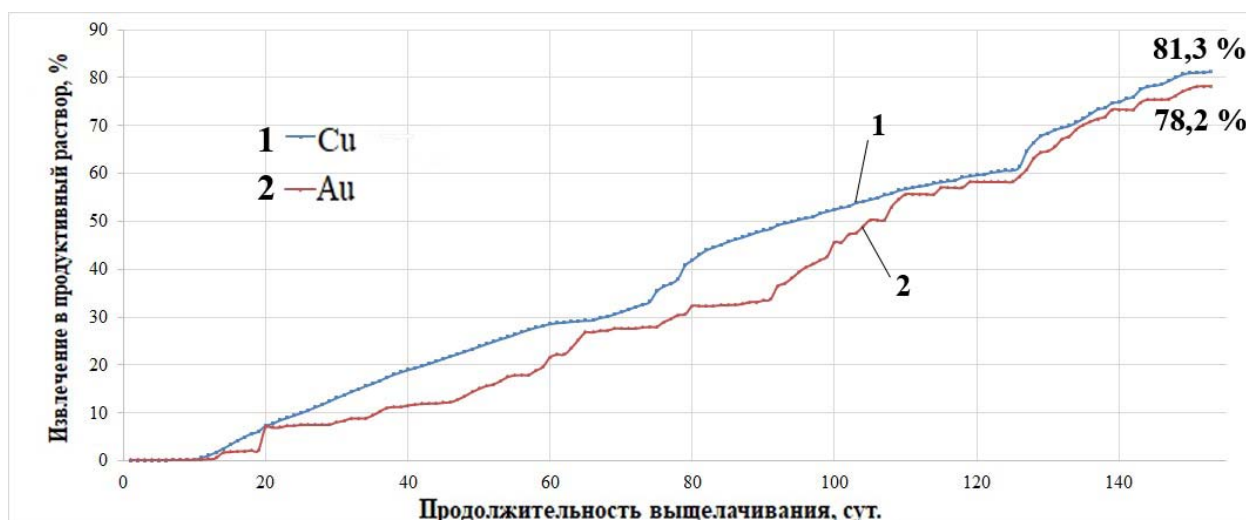


Рис. 1. Динамика выщелачивания меди (Cu) и золота (Au) из первичных диорит-порфировых руд месторождения Малмыж

По этому же направлению: с применением комбинированного минералоготехнологического метода установлены формы проявления золота и серебра в золото-медно-порфировой руде с низким содержанием ценных компонентов. Подтверждена флотуемость свободного золота диизобутилдитиофосфатом; извлечение тонковкрапленного золота определяется извлечением золотосодержащего халькопирита и пирита. Установлено, что использование аэрации для подавления пирита в цикле селективной флотации коллективного концентрата и применение активного угля для снижения избытка собирателя способствуют повышению качества золотомедных концентратов. Выявлено, что тонкие «угольные» покрытия селективны по отношению к поверхности золота и сульфидных минералов. В оптимальных условиях в концентраты медной флотации извлекается 70,1 % халькопирита и 12,6 % пирита; концентраты обогащены золотом - 11,6 г/т и серебром - 31,4 г/т (рис. 2).

(Gurman M., Ashimbayev A. Active carbons for selective flotation of primary gold-copper-porphyry ore [Электронный ресурс] // E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol. 192. P. 02004. DOI: 10.1051/e3sconf/202019202004).

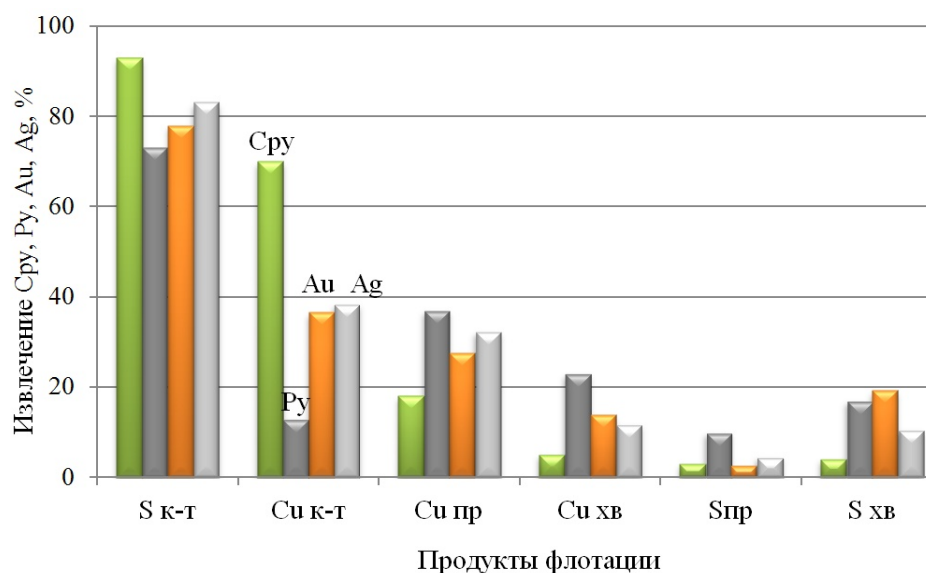


Рис. 2. Извлечение халькопирита (Cu₂S), пирита (FeS₂), золота (Au) и серебра (Ag) в продукты коллективно-селективной флотации первичной золото-медно-порфировой руды Малмыжского месторождения

В области геотехнологии: определена зависимость технологических потерь при обогащении золотосодержащих песков от содержания глинистых фракций и тяжелых минералов. Установлено, что увеличение количества тяжелых минералов в песках от 10 до 30 % сопровождается повышением потерь металла более чем в 2 раза относительно минимальных и 1,3 раза относительно средних значений по выборкам (на примере руч. Пр. Дарья, Амурская обл.). Влияние содержания глинистых частиц на технологические потери золота выявлено на примере россыпи р. Белой и россыпи р. Таймень (Амурская обл.), в пределах которых при идентичности значений других проявляемых факторов, определены участки с существенными изменениями показателей рассматриваемого фактора (рис. 3).

(Мирзеханов Г.С., Мирзеханова З.Г. Прогнозная оценка ресурсного потенциала галле-эфельных отвалов россыпных месторождений золота Дальнего Востока России // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2020. – № 2. – С 111-120).

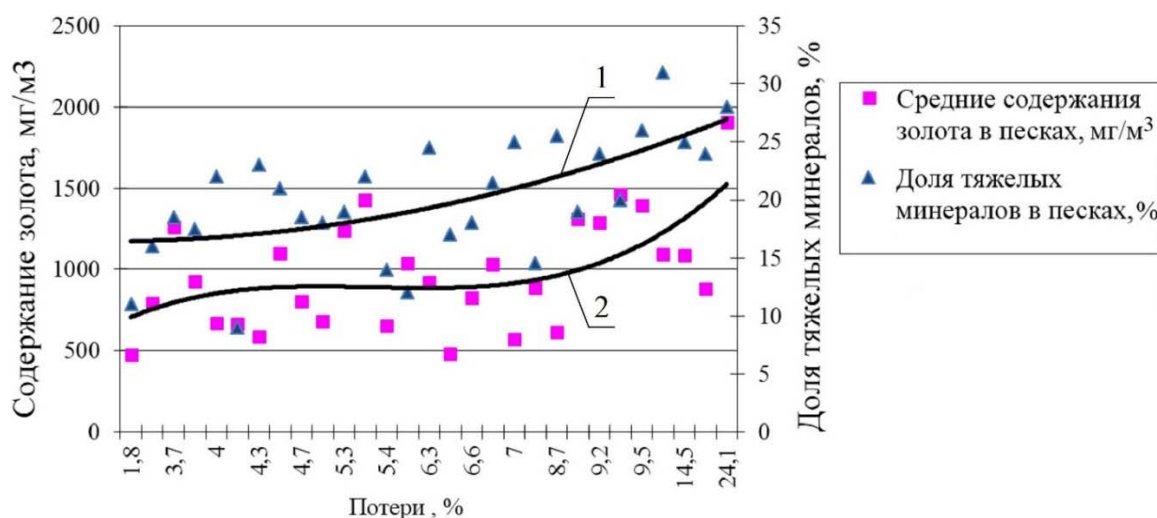


Рис. 3. Зависимость потерь от количества тяжелых минералов (1) и средних содержаний золота в песках (2) (россыпь р. Пр. Дарья)

В области физических и химических процессов разделения, концентрации и переработки минералов: экспериментально доказан рост эффективности процесса электрофлотации при увеличении плотности тока (рис. 4) за счет увеличения газонасыщения, что позволит уменьшить потери на объектах с тонкой вкрапленностью ценных компонентов. Исследования на материале, содержащем пирит, показали, что в процессе электрофлотации, при котором хвосты пневмофлотации (рис. 5 А) были переочищены с использованием электрофлотации, доизвлекаются частицы тонкого класса, оставшиеся в хвостах пневматической флотации (рис. 5 Б). Установлено, что в хвостах электрофлотации остаются крупные частицы пирита (рис. 5 В), отмечаются окисленные частицы (рис. 5 Г), не извлекаемые электролизными микропузырьками. В результате выход концентрата увеличивается до 1 %, а также извлекается тонкая фракция полезного компонента. В ходе сравнения размерностей частиц установлено, что концентрат пневмофлотации представлен частицами пирита 70-100 мкм, а концентрат электрофлотации – частицами размерностью с пиками 0,2, 3 и 20 мкм.

(Копылова А.Е., Прохоров К.В., Богомяков Р.В. Интенсификация извлечения золота при электрохимической обработке пульпы флотации медно-порфировых и золотокварцевых руд/Материалы международной конференции «Инновационные процессы комплексной переработки природного и техногенного минерального сырья» (Плаксинские чтения – 2020) г. Апатиты, 21-26 сентября 2020 г. – Апатиты. – С. 137-140.

Prokhorov, K., Burdonov, A., Henning, P. Study of flow regimes and gas holdup in a different potentials medium in an aerated column/E3S Web of Conferences. – 2020. – № 192. – P. 02013).

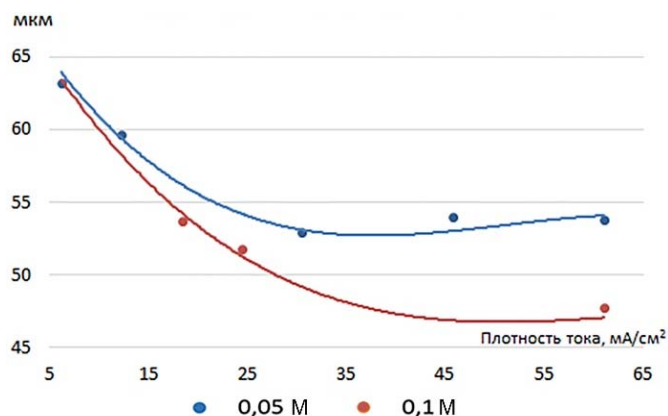


Рис. 4 – Средний диаметр пузырьков, образующийся при электролизе с концентрацией раствора электролита NaHCO_3 0,05 М и 0,1 М

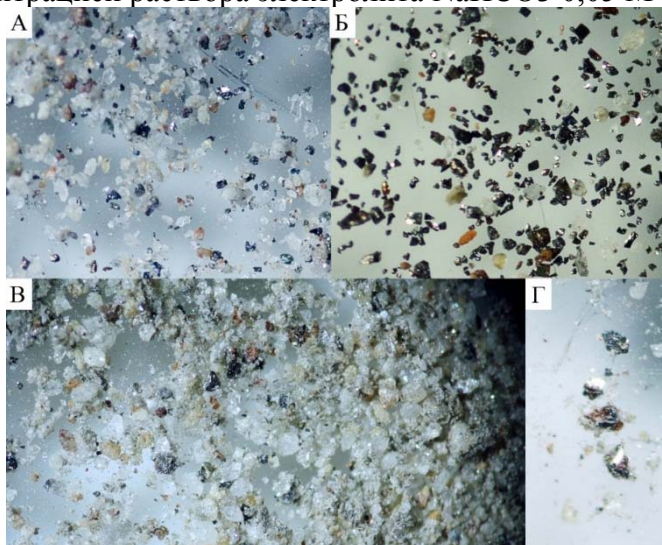


Рис. 5 – Продукты электрофлотации, где А – хвосты пневмофлотации, Б – концентрат электрофлотации на хвостах пневмофлотации, В – хвосты электрофлотации, Г – окисленные частицы пирита в хвостах электрофлотации

По этому же направлению: в результате исследований кинетики процесса основной флотации флюорита наиболее труднообогатимой шламовой фракции лежалых хвостов Ярославской горнорудной компании установлено, что для обновления поверхностного слоя частиц необходима обработка в шаровой мельнице, а также значительное повышение времени контакта с реагентами-собирателями, увеличение их расхода, применение диспергирующих добавок из группы неололов, препятствующих снижению селективности разделения. Найденные решения позволили выделить из бедного шламового сырья по схеме с восьмью перемешками черного концентрата качественные флюоритовые концентраты, содержащие 93-94,5 % CaF_2 (рис. 6).

(Kienko L., Voronova O. Evaluation of the influence of the dispersion-sludge characteristics of the pulp on the beneficiation indicators of technogenic fluorite-containing tailings // E3S Web of Conferences. 2020. - Vol. 192. - Article Number 02018. - DOI: 10.1051/e3sconf/202019202018.

Киенко Л.А., Воронова О.В. Влияния дисперсно-шламовых параметров пульпы на селективность флотации флюорита при обогащении техногенного сырья // Инновационные процессы комплексной переработки природного и техногенного минерального сырья (Плаксинские чтения – 2020): материалы Международной конференции, Апатиты, 21-26 сен. 2020 г. - Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2020. – С. 302-304).

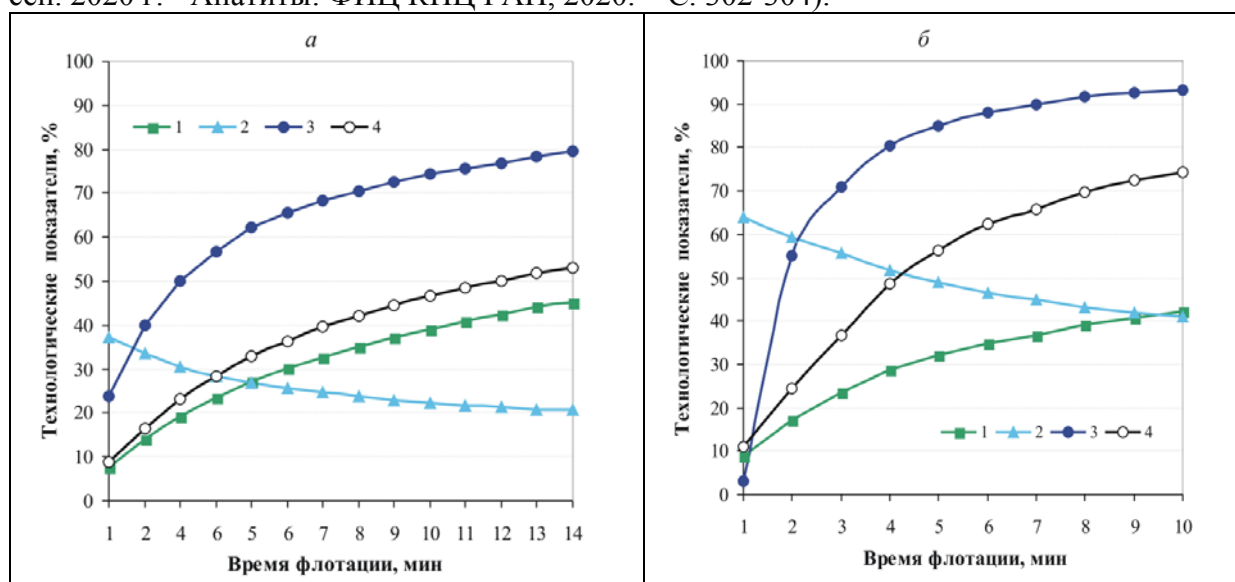


Рис. 6. Сравнительные результаты исследований кинетики основной флотации флюорита из пробы хвостов, отобранной из основного объема хвостохранилища (а) и из пробы шламовых хвостов (б).

По этому же направлению: Разработана гравитационно-флотационная схема доизвлечения шеелита из песковой фракции лежалых хвостов хвостохранилища Приморской обогатительной фабрики, которая позволила получить кондиционный шеелитовый концентрат с массовой долей 70,9 % WO_3 , сквозное извлечение – 57,3 % (рис. 7). Установлен минеральный состав песковой фракции лежалых хвостов, содержание шеелита и халькопирита, их ассоциации по классам крупности. Рассчитаны технико-экономические показатели переработки техногенных отвалов.

(Шепета Е.Д., Лебедок А.В., Саматова Л.А. Исследование возможности переработки вольфрамсодержащих лежалых хвостов с использованием флотомшины PneufloR // Обогащение руд. – 2020. - № 1. – С. 48-53.

Shepeta E., Litvinova N., Bubnova M., Bilen M. Research on modeling the technology of processing anthropogenic old tailings of Primorsky Concentrating Factory // E3S Web of Conferences. 2020. - Vol. 192. - Article Number 02011. - DOI: 10.1051/e3sconf/202019202011).

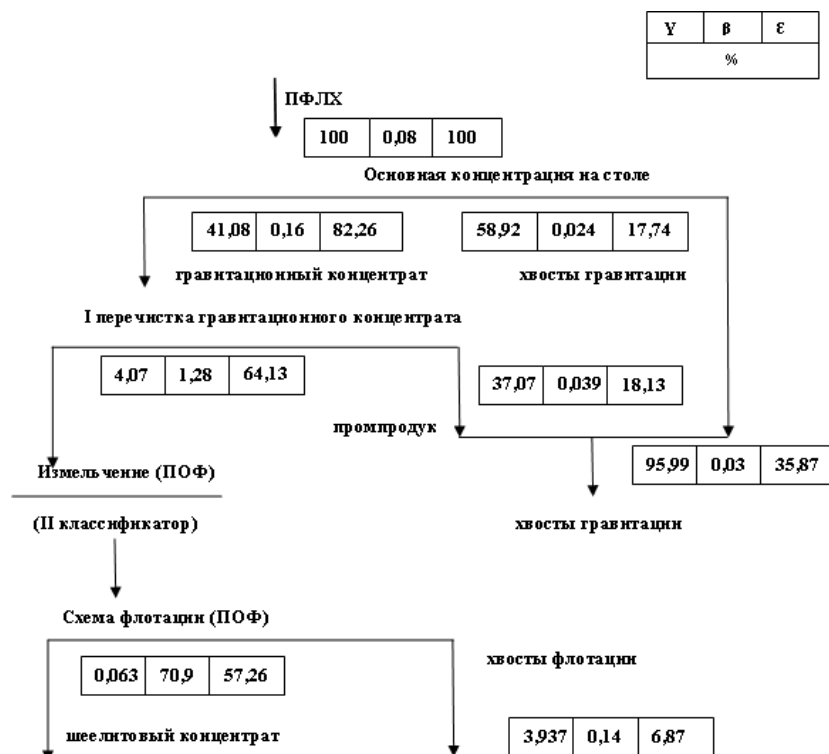


Рис. 7. Предлагаемая схема переработки ПФЛХ

В области геотехнологии: в результате анализа эксплуатационных расходов и энергоемкости процесса обогащения песков россыпных месторождений золота выполнена систематизация основных типов промывочных приборов, получены показатели удельных расходов топлива и эксплуатационных затрат, произведена оценка качества подготовки песков. Получены данные удельных затрат работы прибора на 1 м³ песков, что позволит рассчитать эффективность применения конкретного прибора в зависимости от содержания золота в эфельных и галечных фракциях хвостов обогащения, а также необходимость его замены на прибор либо более производительный, либо позволяющий повысить качество дезинтеграции (размыва песков) (табл. 1).

(Seryi R., Alekseev V. Estimation of operating costs and energy consumption in beneficiation of alluvial gold deposits [Электронный ресурс] // E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol. 192. P. 01007. DOI: 10.1051/e3sconf/202019201007).

Таблица 1 – Эксплуатационные показатели промывочных приборов

Наименование	ППМ-5	ГИТ-52	ПГШ-50	ПЗШ-100	ПБШ-100
Производительность фактическая, м ³ /час	70	100	40	90	90
Суммарная установочная мощность, кВт	135	98	290	658	135
Суммарный суточный расход диз. топлива, т	0,51	0,39	1,04	2,12	0,50
Стоимость прибора без НДС, млн. руб.	9	5,5	3,7	12	7
Годовые эксплуатационные затраты, млн. руб.	3,5	0,5	0,8	5	1
Сезонная производительность, работа 20 ч/сут, 150 дней/году, тыс. м ³	210	300	120	270	270
Сезонный расход топлива, 150 сут, т	76,5	58,3	155,3	317,6	74,7
Сезонные расходы (ГСМ 50 тыс. руб./тонна, запчасти, амортизация 20%), млн. руб.	9,1	4,5	9,3	23,3	6,1
Удельный расход топлива, кг/м ³	0,36	0,19	1,29	1,18	0,28
Удельные затраты работы прибора на 1 м ³ песков, руб	43	15	78	86	23

По этому же направлению: в результате проведенных лабораторных экспериментальных исследований по изучению влияния циклического затопления-осушения (З-О) горной массы техногенных комплексов россыпных месторождений на величину миграции частиц золота впервые для частного случая установлена многофакторная зависимость (1) изменения содержания золота C по мощности h экспериментального блока песков от показателя цикла $k_{ц}$ (рис. 8), позволяющая определять параметры цикла З-О горной массы, при котором частицы золота мигрируют в нижележащие слои наиболее эффективно, что способствует формированию обогащенной зоны минимального объема и значительному сокращению объема промывки техногенных песков.

(Taganov V., Gevalo K., Alekseeva E. Experimental research of gold migration influenced by cyclic flooding-drainage of rock mass [Электронный ресурс] // E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol. 192. P. 01008. DOI: 10.1051/e3sconf/202019201008)

$$C = -0,208 + 9,467 \cdot k_{ц} + 0,305 \cdot h - 4,203 \cdot k_{ц}^2 + 0,010 \cdot h^2 - 0,393 \cdot k_{ц} \cdot h, \quad (1)$$

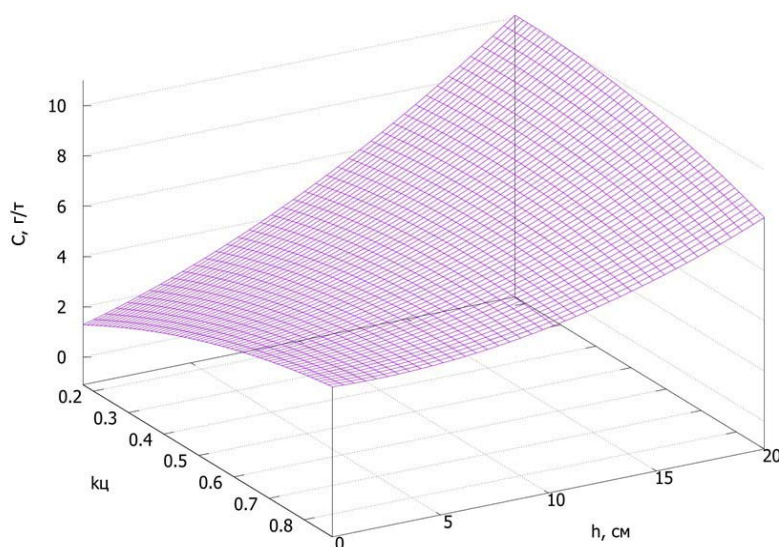


Рис. 8. График зависимости содержания золота от коэффициента цикла и глубины

В области горной информатики: научно обоснована необходимость создания медной промышленности полного технологического цикла на Дальнем Востоке России, определяемая целями и задачами социально-экономического развития Дальнего Востока. С учетом новых данных разработаны базовые принципы и методический подход к организации нового центра медной промышленности, обусловленные в первую очередь такими факторами: – значительные потребности в медной продукции экономики региона, где осуществляются и подготавливаются многие масштабные проекты в различных областях экономики; – дальность и дороговизна завоза любой продукции в регион (рис. 9).

(Ханчук А.И., Архипов Г.И., Иванов В.В. Ресурсы меди Дальнего Востока России: состояние, проблемы и перспективы использования. Вестник ДВО РАН. 2019. №2. с.12-24. DOI: 10.25808/08697698.2019.204.2.002.

Архипов Г. И. Перспективы развития медной промышленности на Дальнем Востоке. Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 2. с. 59-67. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-2-59-67).

По этому же направлению: на примере Хабаровского края сформированы геолого-экономические модели территориально-производственного узла 2 типов. Основу первого типа составляют результаты ежегодной добычи полезных ископаемых на период до 2025 года. Они интегрируются в единую систему – территориально-производственную геолого-экономическую модель. Второй тип основывается на определении удельной

продуктивности эталонных месторождений, выделении перспективных объектов по основным видам полезных ископаемых, их сравнении с месторождениями-эталонами, прогнозе ресурсов и переводе их с учетом понижающих коэффициентов в запасы. С учетом экспертной оценки динамики цен формируется модель прогнозного типа (табл. 2). Модели могут корректировать направления развития территорий.

(Kryukov V., Kradenykh I. On the geological and economic assessment of the Lower Amur region (Russia) // E3S Web of Conferences. 2020. - Vol. 192. - Article Number 03013. - DOI: 10.1051/e3sconf/202019203013.

Крюков В.Г., Краденых И.А. О методике и результатах геолого-экономической оценки Нижнего Приамурья (Россия) // Современные исследования в гуманитарных и естественнонаучных отраслях: Сборник научных статей. – М.: Изд-во "Перо", 2020. - С. 9-13).



Рис. 9. Инфраструктура и сырьевая база медной промышленности Дальнего Востока

Таблица 2 – Оценка потенциальной ценности ареалов на отдаленную перспективу

Вид полезного ископаемого	Объем ожидаемых запасов, т	Коэффициент сквозного извлечения	Расчетная цена, тыс. руб./ т	Потенциальная ценность объекта, млрд руб.
Ареал 1				
Золото	569,4	0,9	4895,1	2,5
Медь	5200000	0,77	794,6	3181,7
Алюминий	4540000	0,65	202,9	598,9
Свинец	71000	0,72	148,4	7,6
Цинк	135000	0,7	180,7	17,1
Цеолиты	81330000	0,85	11,2	775,0
Итого	—	—	—	4582,8
Ареал 2				
Золото	1200	0,9	4895,1	5,3
Медь	15000000	0,77	794,6	9177,9
Алюминий	10000000	0,65	202,9	1319,3
Свинец	150000	0,72	148,4	16,0
Цинк	400000	0,7	180,7	50,6
Вольфрам	150000	0,55	3970,3	327,6

В области геомеханики: по результатам анализа экспериментальных данных геомеханического мониторинга в условиях глубоких горизонтов (ниже -420 м) Николаевского месторождения установлена закономерность изменения выделенной суммарной энергии сейсмоакустических событий во времени, включая периодичность сейсмоакустической активности массива горных пород (с регистрацией максимумов энергии до $1,2 \cdot 10^6$ Дж каждые 1,5-2 года) и ее взаимосвязь с основными элементами тектонической структуры – телом олистолита известняков и зоной субширотного разлома ТН-3 (рис. 10).

(Рассказов И. Ю., Федотова Ю. В., Сидляр А. В., Потапчук М. И. Анализ проявлений техногенной сейсмичности в удароопасном массиве пород Николаевского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 11. – С. 46–56).

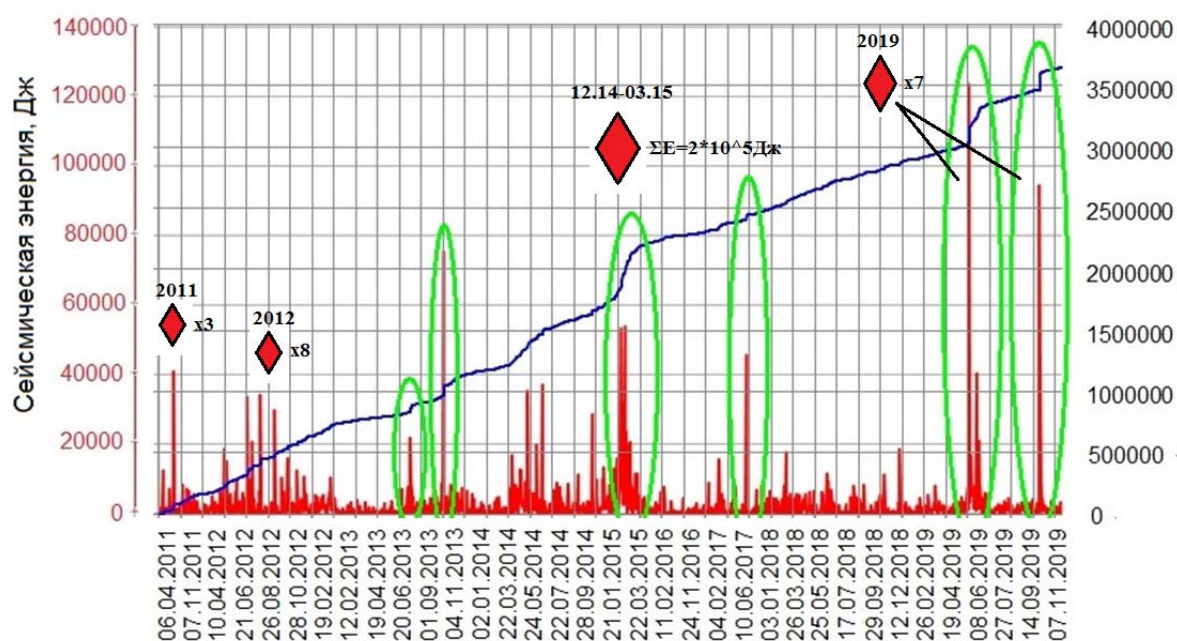
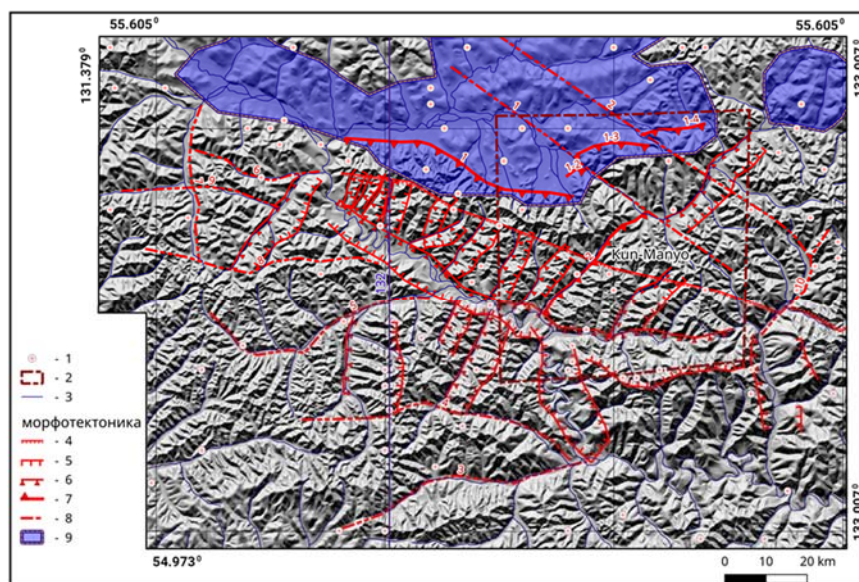


Рис. 10. Совмещенная кумулятивная кривая накопления энергии САЭ-событий и ее распределение в районе ТН-3 в период 2011-2019 гг.

По этому же направлению: разработана методика геодинамического районирования рудных районов и узлов с выделением блочной структуры по цифровым моделям рельефа на основе матриц высот SRTM30 и SRTM03. За основу принята гипотеза горизонтально дрейфующих тектонических потоков, содержащих жесткие, слабо деструктурированные массивы горных пород, которые являются аккумуляторами и концентраторами горизонтальных напряжений, способных разряжаться при проведении поблизости горных работ, провоцируя опасные геодинамические явления. По этой методике составлена морфотектоническая схема Кун-Маньенского рудного поля, ставшая основой для прогноза потенциальной удароопасности горных работ при эксплуатации месторождений района. Таковая опасность признана возможной, поэтому требуется цикл более детальных, тематических исследований (рис. 11).

(Usikov V. Prognosis of dangerous geodynamic phenomena at the Kun-Manye field based on the analysis of digital elevation models // E3S Web of Conferences. 2020. - Vol. 192. - Article Number 04015. - DOI: 10.1051/e3sconf/202019204015).



1 – эпицентры землетрясений; 2 – контур рудного поля; 3 – гидросеть; 4 – сбросы; 5 – линия отрыва висячего крыла от лежащего обращенного надвига; 6 – тыльная кромка висячего крыла обращенного надвига; 7 – фронты надвигов; 8 – активные в настоящее время тектонические нарушения неясной кинематики; 9 – контуры жестких тектонических блоков

Рис. 11. Морфотектоническая схема рудного района Кун-Манье и прилегающих площадей на основе ЦМР, визуализированной в виде оттененной карты рельефа (с учетом данных В.А. Гурьянова)

По этому же направлению: по результатам экспериментальных исследований установлено, что удароопасность и техногенная сейсмичность нижней части (ниже гор. - 320 м) Николаевского месторождения определяется развитием геодинамических процессов в районе активного разлома ТН-3 и восточной границы олистолита известняков, являющихся главными элементами техногенной трансформации природно-технической системы. Объемным моделированием выявлены закономерности перераспределения напряжений при отработке запасов в приразломной зоне (рис. 12), заключающиеся в концентрации напряжений (до 140 МПа) на участках крутообразного поднятия поверхности тела олистолита и в целиках между очистной камерой и тектоническим нарушением ТН-3. Снижение удароопасности в целиках обеспечивается расположением очистных камер под углом более 57° к ТН-3.

(Рассказов И. Ю., Федотова Ю. В., Сидляр А. В., Потапчук М. И. Анализ проявлений техногенной сейсмичности в удароопасном массиве пород Николаевского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 11. – С. 46–56).

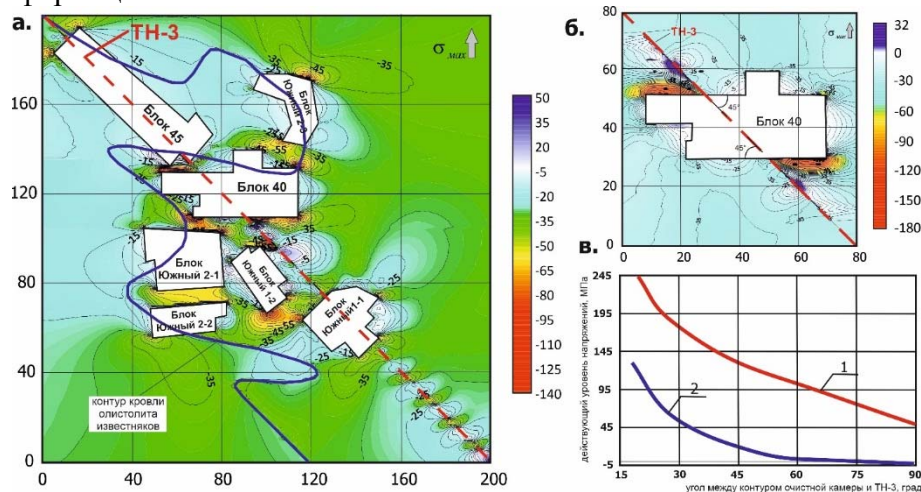


Рис. 12. Удароопасность и техногенная сейсмичность нижней части Николаевского месторождения

По этому же направлению: методами геодинамического районирования детально изучены физико-механические свойства и напряженное состояние массива горных пород Мало-Тулукуевского месторождения урановых руд в Юго-Восточном Забайкалье. Установлены склонность основных типов горных пород к разрушению в динамической форме (прочность на одноосное сжатие и модуль Юнга гранитоидов составляет соответственно 116,34 МПа и 59,2 ГПа, а коэффициент хрупкости $K_{хр} \geq 0,5$) и повышенный уровень действующих в нетронутом массиве сжимающих напряжений, наибольшие из которых на глубинах 400-600 м достигают величины 49,9 МПа и ориентированы в С-СЗ направлении. По результатам исследований месторождение «Мало-Тулукуевское» отнесено к категории опасных по горным ударам с глубины 570 м (абс. отм. +250 м и ниже) и разработаны «Указания по безопасному ведению горных работ...».

(Rasskazov I., Sidlyar A., Tereshkin A., Golosov A. Assessment and control of geodynamical risks under the conditions of a rock-bump hazardous complex deposit // E3S Web of Conferences. 2020. - Vol. 192. - Article Number 01011. DOI: 10.1051/e3sconf/202019201011).

В области численного моделирования и геоинформатики: предложен эффективный алгоритм локации сейсмоакустических (САЭ) источников в сложно-структурных геосредах, основанный на применении градиентных методов и метода равномерного поиска, заключающийся в построении детальной карты скоростей распространения упругих волн акустического диапазона и учете скоростной анизотропии и конфигурации наблюдательной сети датчиков и их чувствительности при регистрации и расчете параметров САЭ-событий.

(Konstantinov A., Gladyr A., Rasskazov M. Designing an improved geoacoustic event location algorithm in the “Prognoz-ADS” system // E3S Web of Conferences. 2020. - Vol. 192. - Article Number 04013. DOI: 10.1051/e3sconf/202019204013).

По этому же направлению: разработан и апробирован в шахтных условиях высокочувствительный (~ 10 В/м $\cdot$ с $^{-2}$) пьезоакустический преобразователь (геофон) AP2088 для автоматизированной системы контроля горного давления «Prognoz-ADS», обеспечивающий уверенную регистрацию акустической эмиссии в массиве горных пород в диапазоне частот от 0,1 до 10 кГц и энергетического класса сейсмоакустических событий от 10 до 106 Дж. Новая модель геофона добавлена в реестр средств измерения Российской Федерации № 77757-20 от 03.03.2020 г. (ИГД ДВО РАН)

(Anikin P., Kursakin G., Fedotova Iu. Improvement of the automated seismic and acoustic monitoring system “Prognoz-ADS” main elements // E3S Web of Conferences. 2020. - Vol. 192. - Article Number 04014. DOI: 10.1051/e3sconf/202019204014).

По этому же направлению: для прогнозной оценки гидрологических последствий изменений лесного покрова в бассейне Амура разработаны климатические карты пожарной опасности в лесах по сезонам года (учет температуры, осадков, точки росы) с изолиниями сгущения над преобладающими районами возгораний, где протекают реки.

(Sokolova G., Verkhoturov A., Hayasaka H. Hydrological consequences of changes forest cover on watersheds of the Amur river basin // E3S Web of Conferences. 2020. - Vol. 192. - Article Number 04011. DOI: 10.1051/e3sconf/202019204011).

По этому же направлению: для прогнозной оценки сокращения выбросов парниковых газов от пожаров на водно-болотных угодьях бассейна Нижнего Амура разработана классификация активных пожаров (hotspots MODIS) на основе анализа параметров циркуляции атмосферы на картах барической топографии, построенных по данным реанализа NCEP/NCAR на уровнях 925, 850, 500 гПа за синхронные с пожарами периоды.

(Hayasaka H., Sokolova G.V., Ostroukhov A., Naito D. Classification of active fires and

weather conditions in the Lower Amur river basin // Remote Sensing. - 2020. - Т. 12, № 19. - С. 3204. DOI: 10.3390/rs12193204).

По этому же направлению: Разработан оптический стенд для калибровки сейсмоакустических преобразователей. Используемый способ предполагает повышение достоверности и точности проводимых измерений в отличие от известных. Использование волоконной оптики существенно уменьшает габариты устройства и позволяет повысить чувствительность устройства в целом в широком диапазоне частот, что весьма необходимо для геофизических антенн, в которых используются сейсмоакустические преобразователи.

(Krivosheyev I., Ignatieva M., Krivosheyeva E. Calibration method for seismic acoustic transducers for rock mass control // E3S Web of Conferences. 2020. - Vol. 192. - Article Number 04018. DOI: 10.1051/e3sconf/202019204018).