

ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ДВО РАН (ИГД ДВО РАН)

Основные научные результаты в 2017 году

В области физических и химических процессов разделения, концентрации и переработки минералов: выявлены основные особенности состава самородной платины в железомарганцевых рудах месторождения Поперечного Южно-Хинганского рудного узла. В кварц-браунитовом типе руд преобладает изоферроплатина с примесью Cu, Rh, Ir, Ru; в карбонат-магнетитовом типе руд – изоферроплатина с примесями Cu, Sn, Ni, Rh, Ir, Os; в пиритовых – изоферроплатина с примесями Sn, Ni, с вростками порообразующих минералов и самородного железа; изоферроплатина из железистых кварцитов характеризуется наличием редких вростков кристаллов ирарсита и холингуортита (рис. 1).

(Определение минеральных форм благородных металлов в железо-марганцевых месторождениях Дальнего Востока России / В. Г. Крюков, Н. М. Литвинова, Н. А. Лаврик, В. Ф. Степанова // Обогащение руд. - 2017. - № 4 (370). - С. 42-48).

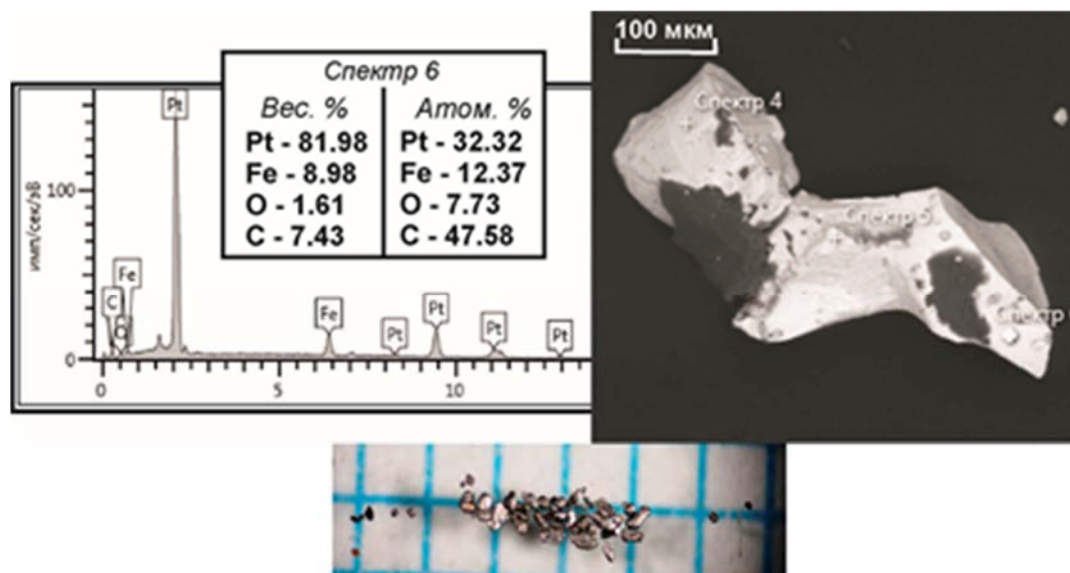


Рис. 1. Зерна (500 мкм) изоферроплатины с вростками кристаллов (1-10 мкм) холингуортита и тетраферроплатины из руд кварц-браунитового типа, выделенные с применением метода акустиче-ских воздействий.

По этому же направлению: в результате изучения перспектив вторичной переработки техногенных хвостов Ярославской горнорудной компании установлены основные элементы технологии, позволяющие обеспечить селективную концентрацию флюорита. Разработан комплекс технологических приёмов, обеспечивающих эффективное разделение кальцийсодержащих минералов. Установлена необходимость повышения тонины помола, определён оптимальный щелочной режим, предложена высокоселективная композиция модификаторов на основе аммонийно-фтористых солей, изучена зависимость показателей обогащения от типа применяемого собирателя. Из низкосортного сырья (14,8-21 % CaF_2 и 13,2-9,8 % CaCO_3) выделены концентраты, содержащие 93,83-93,98 % CaF_2 с извлечением флюорита, свыше 58 %. Снижение содержания CaF_2 в концентрате до 92,2 % позволяет повысить извлечение флюорита на 9 % и более (рис. 2).

(Киенко Л. А. Исследование перспектив вторичной переработки хвостов обогащения карбо-натно-флюоритовых руд Ярославской горнорудной компании / Л. А. Киенко, О. В.

Воронова, С. А. Кондратьев // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2017. - № 1. - С. 158-164).

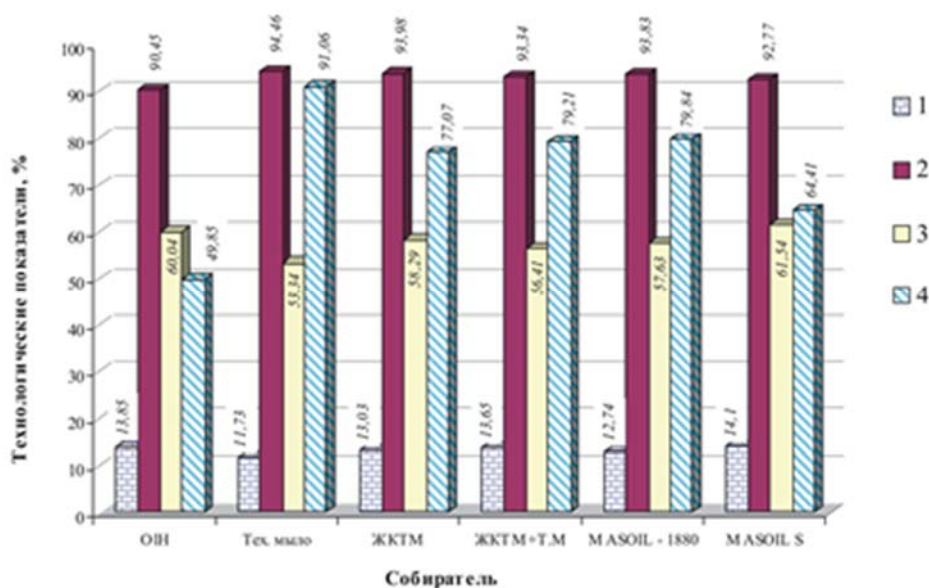


Рис. 2. Показатели флотации флюорита из техногенных хвостов с использованием различных собирателей: 1 – выход концентрата; 2 – содержание в концентрате CaF_2 ; 3 – извлечение флюорита; 4 – индекс селективности разделения флюорита и кальция.

По этому же направлению: по результатам исследования конструктивных и технологических параметров работы нескольких типов действующих промывочных приборов на ряде россыпных месторождений (р. Уорголан АО «АС Амур», р. Буор-Сала и р. Улахан ООО «Амур Золото») разработана общая методика комплексной оценки эффективности эксплуатации всего горно-обогатительного оборудования в зависимости от анализа вещественного состава пород месторождения, их гранулометрии, ситовых и морфологических характеристик золота, содержания глинистых частиц. На основе исследования уровня потерь платины и золота в интервале суточной работы промывочного прибора ПБШ-200 установлено, что главным фактором, влияющим на величину потерь металла на шлюзах, является содержание глинистых частиц в исходных песках, влияние всех остальных факторов менее существенно. Так изменение содержания глины от 7,6 до 28,6 % приводит к увеличению потерь платины и золота в 6 раз (рис. 3).

(Анализ работы шлюзовых промывочных приборов при отработке россыпных месторождений золота / Р.С. Серый, В.С. Алексеев, П.П. Сас // Цветные металлы.- 2017.- № 2.- С. 31-35.

Алексеев, В.С. Извлечение упорных форм золота из гравитационных концентратов и хвостов обогащения россыпей с применением химических реагентов / В. С. Алексеев, Т. С. Банщикова // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2017. - № 4. - С. 159-164).

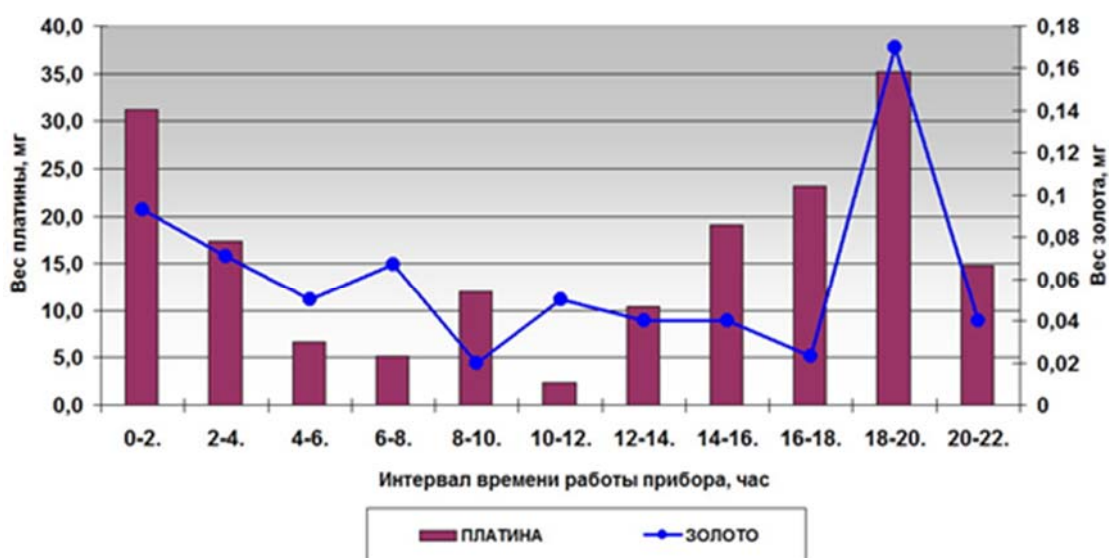


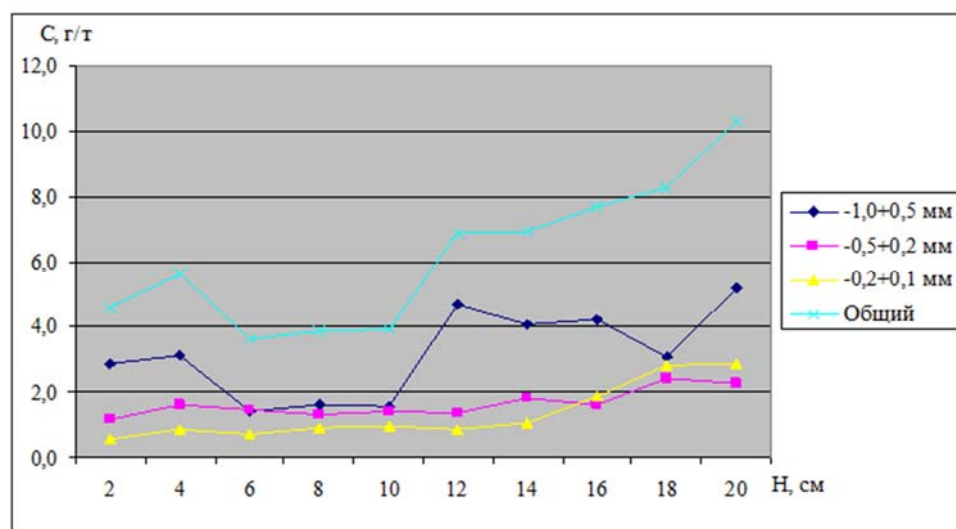
Рис. 3. Изменение потерь золота и платины в течение суток при минимальном значении глинистости песков.

В области геотехнологии: в результате лабораторных и опытно-промышленных исследований по определению эффективных параметров технологических процессов создаваемой технологии формирования продуктивного пласта техногенных россыпей воздействием безнапорных потоков воды и криогенных процессов на горную массу установлено, что наиболее рациональным режимом фильтрационного потока технологической воды, обеспечивающим максимальную миграцию золота в приплотиковый слой, является циклический режим с одной и той же продолжительностью многократного затопления и осушения техногенного блока. В результате в нижней части блока сформируется обогащенный пласт, куда мигрирует около 70 % золота всех фракций ($-1 + 0,1$ мм) (рис. 4).

(Ресурсный потенциал техногенных золотороссыпных месторождений и стратегия их масштабного освоения / В. С. Литвинцев, В. С. Алексеев, И. А. Краденых, В. И. Усиков // Маркшейдерия и недропользование. 2017. № 5 (91). С. 21-29).

По этому же направлению: с использованием модернизированного обогатительного оборудования промывочных приборов, установлены закономерности влияния природных (вещественный и гранулометрический состав горной массы и полезного ископаемого) и технологических (расход технологической воды, отношение твердого к жидкому (Т/Ж), скорость двухфазного потока на шлюзовом комплексе, наклон шлюзов, ход и частота поршня отсадочной машины и др.) факторов на технологические и экономические показатели работы горного оборудования. Внедрение разработок на промывочных приборах Хабаровского и Приморского краев и Сахалинской области позволило существенно (на 25 %) повысить извлечение драгоценных металлов (золото, платина) и снизить расходы технологической воды и электроэнергии.

(Серый Р.С., Алексеев В.С., Сас П.П. Анализ работы шлюзовых промывочных приборов при от-работке россыпных месторождений золота // Цветные металлы. 2017. № 2. С. 31-35).



Мощность блока, см

Рис. 4. Изменение содержание золота по фракциям в блоке техногенного месторождения в результате воздействия циклического потока воды

По этому же направлению: разработан концептуальный подход к моделированию установок для микродезинтеграции высокоглинистых песков россыпных месторождений. Созданы, защищенные патентами, технические системы, в основе которых лежат процессы кавитационно-акустического воздействия на минеральную составляющую гидросмеси, обеспечивающие эффективность разделения мелких фракций минеральных компонентов при низком энергопотреблении. Обоснована связь волнового сопротивления и сдвиговой характеристики высокоглинистой твердой составляющей гидросмеси с основными гидродинамическими параметрами системы многоступенчатой струйно-акустической дезинтеграции (рис. 5).

(Khrunina N.P., Cheban A.Yu. Improving microdisintegration processes of sands of an integrated deposit of precious metals with high strength characteristics // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. 2017. Vol. 58, No. 4. P. 330-334.

Хрунина Н.П., Чебан А.Ю. Совершенствование процессов микродезинтеграции песков комплексного месторождения благородных металлов с высокими прочностными характеристиками // Известия вузов. Цветная металлургия. 2017. № 3. С. 4-10).

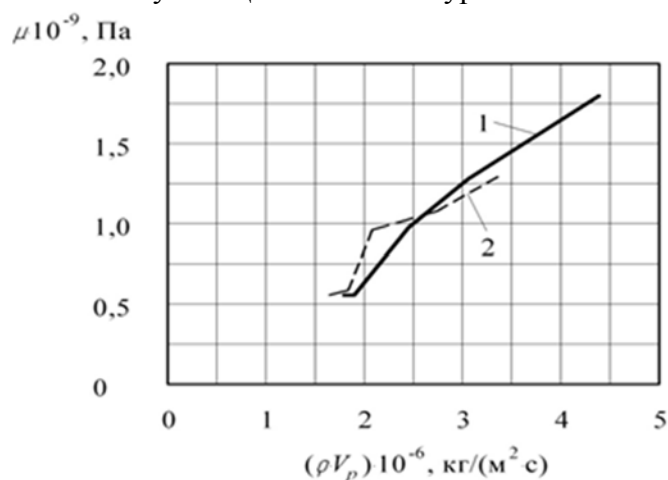


Рис. 5. Зависимость модуля сдвига (μ) от равновесного акустического сопротивления (ζ) песков комплексного месторождения Фадеевского рудно-россыпного узла при водонасыщении 4,4 % (1) и 30 % (2)

В области физических и химических процессов разделения, концентрации и переработки минералов: установлены направленные изменения технологических свойств труднообогатимых золотосодержащих руд при лазерном воздействии, включая снижение энтропии при самоорганизации мелких форм золота, находящихся на минеральной матрице, что позволяет создать поточные технологии доизвлечения субмикронных и ультрадисперсных частиц золота (рис.6, 7).

(Vanina E.A., Veselova E.M., Leonenko N.A. Simulation of nonlinear effects at laser modification of the surface minerals with gold // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2017. Т. 10176. С. 101761V.

Банщикова Т.С., Леоненко Н.А., Алексеев В.С. Физико-химические способы извлечения тонко-дисперсного золота из техногенных россыпей Приамурья // Обогащение руд. 2017. № 6 (372). С. 32-37).

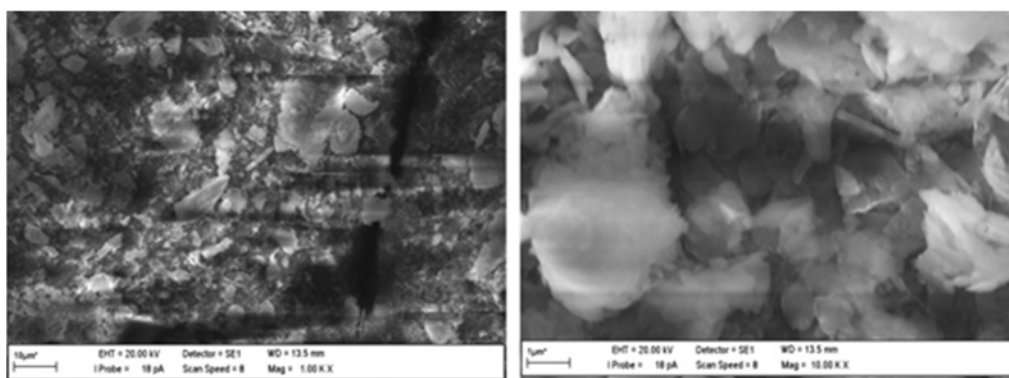


Рис. 6. Исходные образцы техногенных высокоглинистых песков до лазерной обработки золотосодержащего высокоглинистого образца

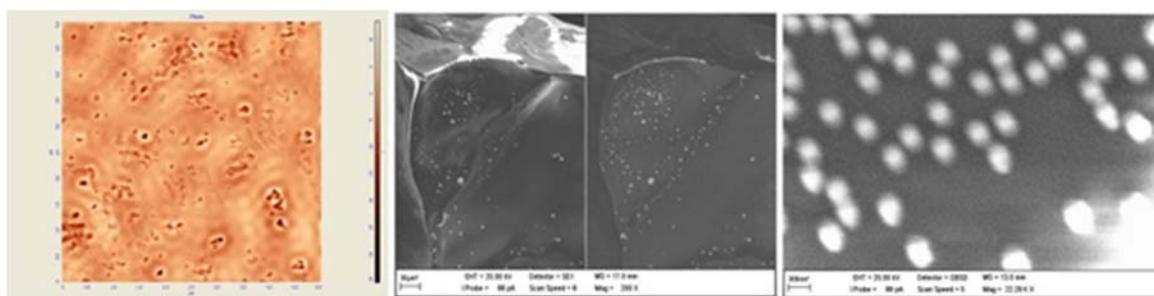


Рис. 7. Изображение фазового контраста алюмосиликатного спека с субмикронным золотом после лазерной обработки: а – атомно-силовая микроскопия, площадь сканирования 5х5 мкм, б – электронная микроскопия образца после лазерной обработки, в – размер нанометрических объектов золота 300 нм

По этому же направлению: на основе исследований процесса флотационного извлечения недожога из золошлаковых отходов Хабаровской ТЭЦ-1 установлено, что содержание углерода во флотационном концентрате, а соответственно и его качество, как продукта для повторного сжигания, возрастает на 1,37 – 3,96 %, в случае применения предварительной физико-химической подготовки воды (последовательные электролиз и ультразвуковая обработка для генерации в ней микропузырьков водорода и кислорода) (рис. 8).

(Рассказова А. В., Секисов А.Г., Литвинова Н.М., Билен М. Влияние физико-химических воздействий на процесс флотационного выделения несгоревших частиц угля из золы ТЭЦ // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2017. Специальный выпуск № 24. С. 132-138).

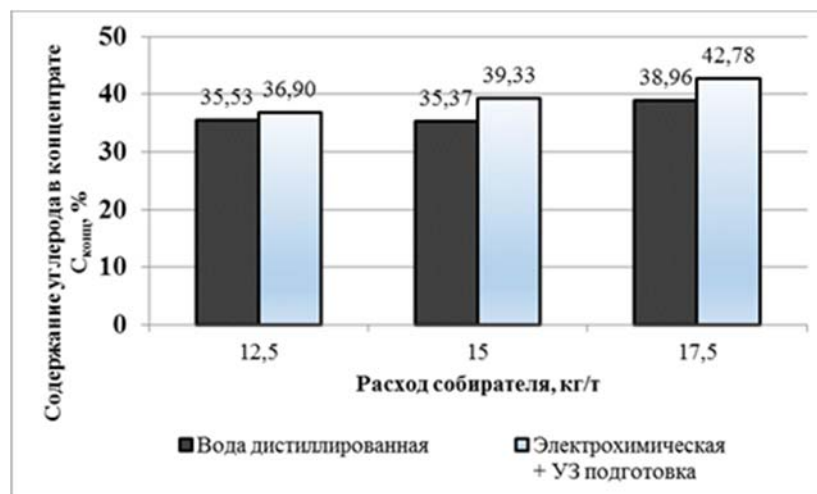


Рис. 8. Содержание углерода во флотационном концентрате (недожог) по результатам экспериментов с флотационной переработкой золошлаков ТЭЦ с различными расходами собирателя при использовании предварительно активированной и неактивированной воды

По этому же направлению: установлены зависимости кинетических и динамических показателей активационного выщелачивания дисперсного золота из упорных руд и песков россыпей от основных параметров водногазовых эмульсий, подготовленных посредством электрохимической и фотохимической обработки растворов экологически безопасных реагентов, что позволило научно обосновать эффективный способ разработки золотосодержащих россыпей и месторождений кор выветривания, обеспечивающий существенное повышение полноты использования их запасов (рис. 9).

(Секисов А.Г., Зыков Н.В., Лавров А.Ю., Рассказова А.В. Основные направления совершенствования процессов кучного выщелачивания золота // Вестник ЗаГК. №10. 2017. С. 7-12.

Патент № 2609030. «Способ скважинного выщелачивания золота из глубокозалегающих россыпей» от 18.11.2015г. Оpubл. в Бюл. № 4 (30.01.2017). Авторы: Опарин В.Н., Секисов А.Г., Смоляницкий Б.Н., Тапсиев А.П., Зыков Н.В., Лавров А.Ю.).

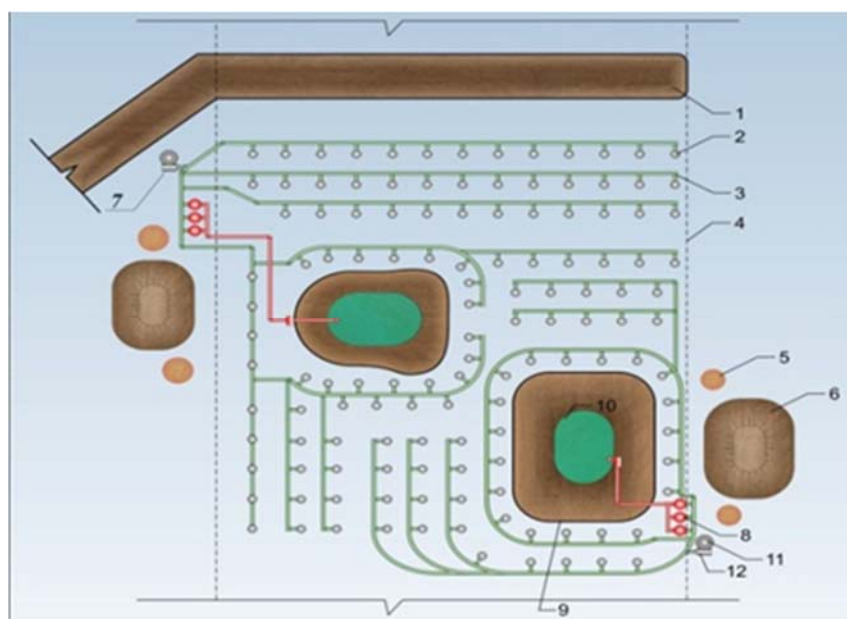
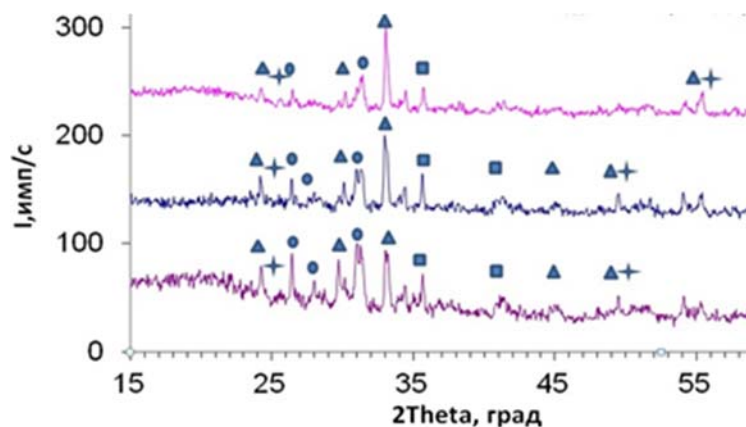


Рис. 9. Схема комбинированной разработки россыпного месторождения золота: 1 - дренажная канава, 2 - закачные скважины, 3 - трубопровод, 4 - граница блока, 5 - хвосты промывки песков, 6 - гале-эфельные отвалы, 7 - напорный насос, 8 - сорбционные колонны, 9 - котлован, 10 - прудок-накопитель, 11 - емкость с реагентом, 12 - насос-дозатор

По этому же направлению: обоснован метод кислотного разложения упорных марганцевых промежуточных продуктов обогащения с последующим выделением Mn из раствора. Предложен химизм взаимодействия марганецсодержащих минералов с реагентами на стадиях выщелачивания и осаждения. Показано, что применение гидрометаллургических методов в комбинации с гравитационным и магнитным обогащением упорной гематит-браунитовой руды обеспечивает повышение сквозного извлечения марганца в минеральной и химической форме на 10,39 % (рис. 10).

(Гурман М.А., Щербак Л.И. Флотационное обогащение бедной золото- и углеродсодержащей руды // Горный журнал. 2017. № 2. С.70-74).



▲ – браунит; ● – тефроит; ■ – гематит; ✱ – кварц

Рис. 10. Рентгенограммы концентратов гематит-браунитовой руды:

По этому же направлению: научно обоснована малоотходная технология переработки золотосодержащих руд жильно-штокверкового морфолого-структурного типа, обеспечивающая повышение полноты использования запасов месторождений за счет дифференцированного установления кондиций по их 3-м основным сортам, перерабатываемых с использованием прямого чанового выщелачивания высокосортных руд, активационного кюветного выщелачивания рядовых руд, активационного кучного выщелачивания бедных руд, окомкованных кеков цианирования богатых руд и хвостов кюветного выщелачивания (табл. 1).

(Секисов А.Г. Зыков Н.В., Лавров А.Ю., Рассказова А.В. Основные направления совершенствования процессов кучного выщелачивания золота // Вестник ЗабГК. 2017. № 10. С. 6-12).

Таблица 1 – Граничные значения содержаний золота по технологическим сортам руд и способы их переработки

Сорт руды	Интервал содержаний золота, г/т	Способ переработки
1	от 3,5	Переработка на золотоизвлекательной фабрике с использованием процессов прямого цианирования и Мэрилл-Кроу (осаждения растворенного золота цинком)
2	1,5-3,5	Переработка на месте с использованием процессов предокисления активированными растворами и стадийного сорбционного выщелачивания в кюветах
3	0,55-1,5	Переработка кучным выщелачиванием совместно с кеками цианирования и хвостами сорбционного выщелачивания после окомкования с цементом и активным раствором комплексобразователя

По этому же направлению: экспериментально установлено влияние обработки ультразвуком оборотной воды на флотируемость минералов руды. В опытах с материалом вторичной переработки хвостов обогащения карбонатно-флюоритовых руд Ярославской горнорудной компании прирост извлечения халькопирита составил 1,36 % в медный концентрат и шеелита – 2,46 % в черновой шеелитовый концентрат. Кроме того, установлено влияние высокочастотных колебаний на избирательное измельчение минералов прожилково-вкрапленных образцов, что меняет их поверхностные свойства (Рис. 11).

(Киенко Л.А., Воронова О.В. Исследование перспектив вторичной переработки хвостов обогащения карбонатно-флюоритовых руд Ярославской горнорудной компании // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2017. № 1. С. 158-164).

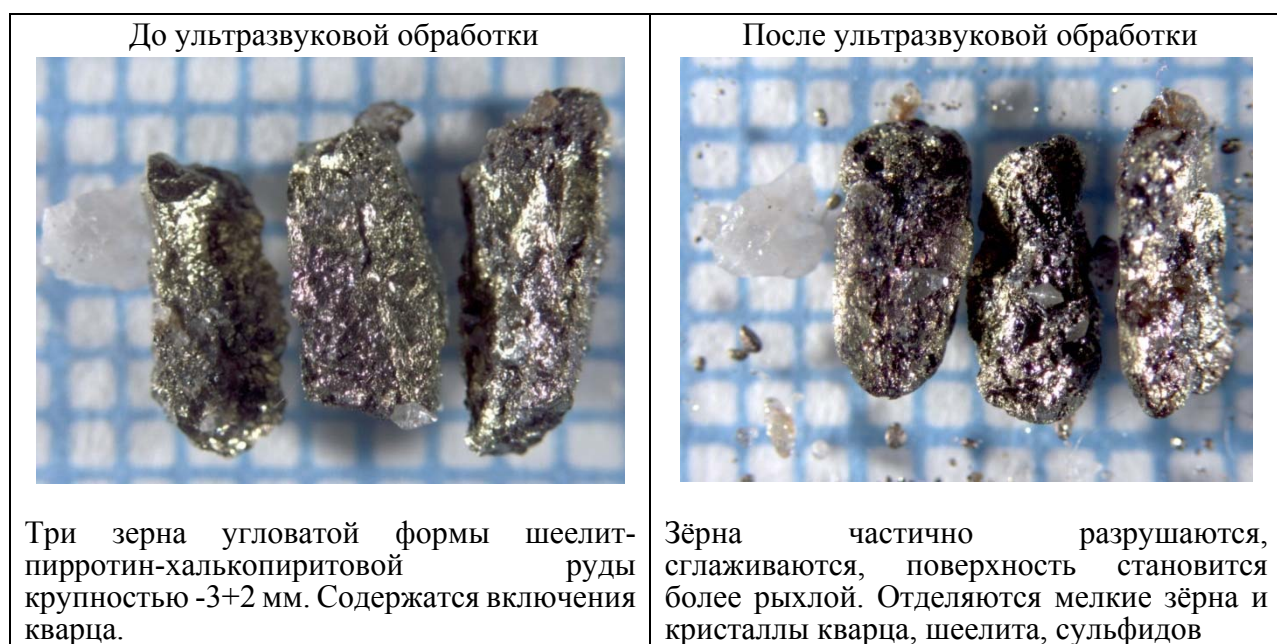


Рис. 11. Образцы породы до и после ультразвуковой обработки

По этому же направлению: в результате исследований по повышению контрастности поверхностных свойств минералов, обладающих близкими технологическими свойствами, за счет составления комбинаций трехкомпонентных смесей собирателей с сильными и слабыми флотационными свойствами установлено, что применение трехкомпонентных комбинаций собирателей (собиратель с тиамидной группой, диалкилдитиофосфат и ксантогенат) позволяет изменить эффективность флотации ценных сульфидных минералов, увеличить крупность медных концентратов, за счет роста извлекаемости крупных зерен халькопирита.

(Саматова Л.А., Рябой В. И., Шепета Е.Д. Изучение флотационных свойств новых со-бирателей при обогащении шеелит-сульфидных руд // Известия вузов. Цветная металлургия. 2017. № 2. С. 21-28.

Шепета Е. Д., Игнаткина В.А., Саматова Л. А. Повышение контрастности свойств кальцийсодержащих минералов при флотации шеелит-карбонатных руд // Обогащение руд. 2017. № 3. С. 41-48).

В области теплофизики: получены данные для обоснования новой теории устойчивости течения в пароводяной скважине. На примере скважин А-2 и А-3 Мутновского месторождения парогидротерм показано существование теоретически предсказанного метастабильного течения, когда условие устойчивости для скважины, в целом, не выполняется, но отсутствуют условия для ее развития на устье. На примере скважин 4-Э и А-3 Мутновского месторождения, устойчиво работавших при испытаниях в диапазоне устьевых давлений 7,0–11,9 бар и 3,0–12,2 бар, соответственно, но неспособных к устойчивой эксплуатации с устьевым давлением 7,0–7,5 бар, доказана зависимость режима работы от условий вниз по потоку от устья (рис. 12). Новая теория дает широкие возможности в разработке способов обеспечения устойчивой работы скважин, включая активно обсуждаемые за рубежом способы побуждения скважин к работе на самоизливе.

(Shulyupin A.N. Steam-water flow instability in geothermal wells // Int J of Heat and Mass Transfer. 2017. Vol. 105. P. 290-295.

Шулюпин А.Н., Чермошенцева А.А. Объяснение зависимости результатов опробования скважин от технологии проведения измерений в рамках новой теории устойчивости // Наука, образование, инновации: пути развития. Материалы VIII всерос. научно-практ. конф. Петропавловск-Камчатский, 2017. С. 41-45).

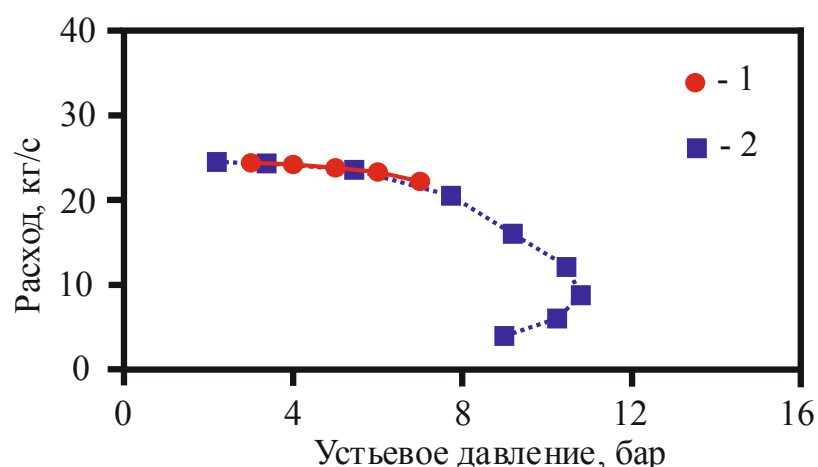


Рис. 12. Расчетные графики производительности для аналога скважин 4-Э и А-3 Мутновского месторождения парогидротерм: 1 – в условиях эксплуатации, 2 – в условиях испытания

В области горной информатики: обоснована возможная последовательность формирования территориально-производственных группировок – кластеров предприятий горнорудной и перерабатывающей промышленности в пределах ДФО, включая первоочередные: Алданский золото-редкометалльный, Дальневосточный металлургический и Нижнеамурский золото-полиметаллический.

(Крюков В.Г., Потапчук М.И. О подготовке рудных месторождений к освоению на основе анализа рейтинговых показателей // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. №11 (специальный выпуск 24). С. 364-372).

По этому же направлению: разработана методика оценки финансово-экономического состояния предприятий в целях создания вертикально-интегрированной компании (ВИК), для предупреждения банкротства и обеспечения устойчивого развития горнодобывающих и металлургических предприятий, особенно базовых и

структурообразующих. В качестве методического обеспечения их деятельности предложен внутренний стандарт, включающий контрольно-аналитические процедуры по предупреждению банкротства и как выход – объединение в ВИК.

(Архипова Ю.А. Факторный анализ финансовых результатов и пути повышения эффективности деятельности предприятий / Ю. А. Архипова // Горный информационно-аналитический бюллетень. (Специальный выпуск 24). 2017. № 11. С. 402-411).

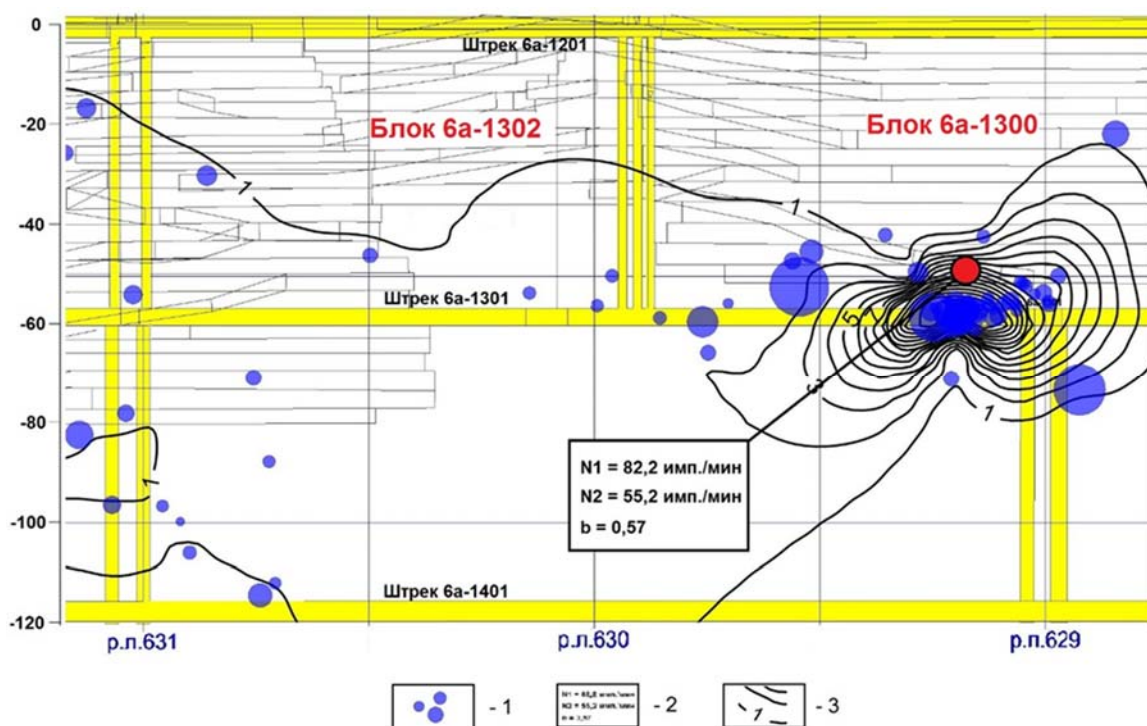
По этому же направлению: по результатам стратегической оценки предложено планирование рационального освоения минеральных ресурсов горнорудной промышленности Дальнего Востока, включающее макроэкономический анализ ресурсов региона, их сравнение с российскими и мировыми, анализ отраслевого, административного и территориально-корпоративного недропользования с позиции промышленно-отраслевого подхода в использовании ресурсов в развивающемся регионе.

(Архипов Г.И. Минеральные ресурсы горнорудной промышленности Дальнего Востока: стратегическая оценка возможностей освоения. Хабаровск: ИГД ДВО РАН, 2017. 820 с).

В области геомеханики: с применением измерительных средств системы комплексного геомеханического мониторинга в условиях глубоких горизонтов месторождения Антей получены новые экспериментальные данные о процессах подготовки опасных геодинамических явлений, позволившие обосновать надежные критерии отнесения участка массива горных пород к удароопасной категории (рис. 13). Разрушительные динамические проявления горного давления прогнозируются при величине комплексного показателя удароопасности $K_{уд} \geq 5,11$, при этом интенсивность акустической эмиссии (АЭ) составляет $N_1=24$ имп./мин., показатель амплитудного распределения АЭ – $b \leq 1$.

(Рассказов И.Ю., Цирель С.В., Розанов А.О., Терешкин А.А., Гладырь А.В. Использование данных сейсмоакустических наблюдений для определения характера развития очага разрушения породного массива // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2017. – № 2. – С. 29-37.

Guzev, M. A. Algorithm of potentially burst-hazard zones dynamics representation in massif of rocks by results of seismic-acoustic monitoring / M.A. Guzev, I.Yu. Rasskazov, G.Sh. Tsitsiashvili // Procedia Engineering. – 2017 – № 191. – pp. 36–42).

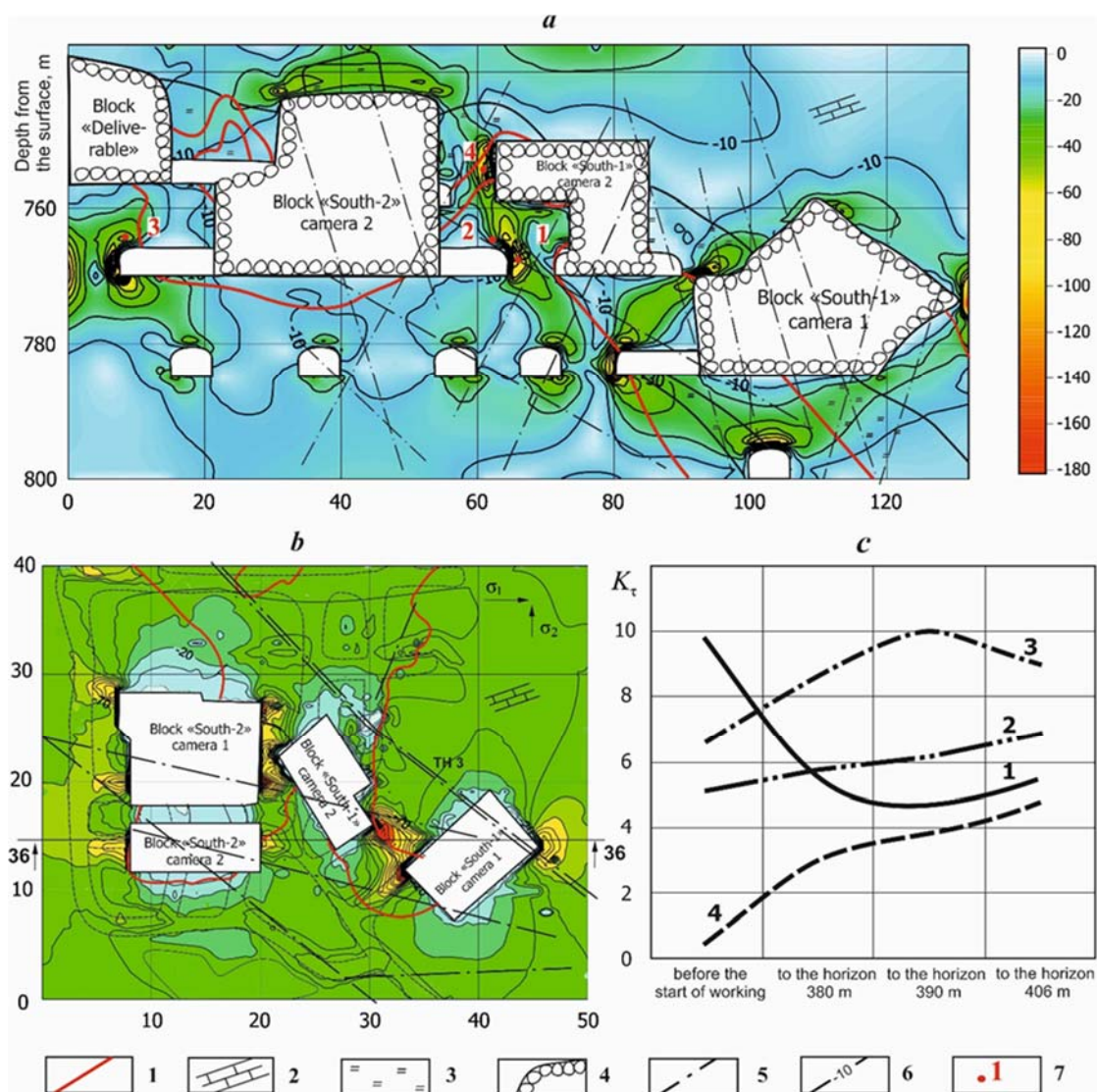


1 – очаги сейсмоакустических событий; 2 – параметры АЭ полученные с применением прибора « Prognoz L»; 3 – изолинии плотности пространственного распределения сейсмоакустических событий

Рис. 13. Результаты сейсмоакустического контроля участка массива горных пород месторождения Антей в феврале-марте 2017 г. Антей в феврале-марте 2017 г.

По этому же направлению: методами численного моделирования выявлены закономерности формирования сложного техногенного поля напряжений в массиве полиметаллического Николаевского месторождения (в Восточном Приморье), разрабатываемого системой подэтажных штреков со сплошной камерной выемкой, которые характеризуются наличием областей разгрузки (в бортах очистных камер) и зон высокой концентрации напряжений (коэффициент касательных напряжений более чем в 4 раза превышает исходный уровень), преимущественно в кровле очистных выработок и в краевых частях массива (рис. 14). Основные выявленные в процессе моделирования НДС особенности формирования полей напряжений хорошо согласуются с данными инструментального геомеханического контроля.

(Сидляр, А.В. Геомеханическое обоснование мер безопасности при разработке Николаевского полиметаллического месторождения, опасного по горным ударам / А.В. Сидляр, М.И. Потапчук, А.А. Терёшкин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 7. – С. 184-194).



1 – руда; 2 – известняк; 3 – безрудный скарн; 4 – выработанное пространство; 5 – тектонические нарушения; 6 – изолинии напряжений; 7 – точки, для оценки изменения уровня напряжений

Рис. 14. Распределение напряжений в участке массива горных пород Николаевского месторождения: а – в разрезе по линии 36; б – в плане; с – изменение коэффициента концентрации напряжений в отдельных точках

По этому же направлению: в процессе геомеханического мониторинга выявлена взаимосвязь динамических проявлений горного давления и сейсмических волн от природных (землетрясения) и техногенных (технологические взрывы) источников. Сейсмические волны выступают в роли триггера и инициируют разрушение в динамической форме участков массива горных пород, находящихся в предельно напряженном состоянии.

По данным высокоточного деформационного контроля на геодинамическом полигоне в районе Стрельцовского рудного поля установлено, что сейсмические волны от сильных землетрясений оказывают заметное влияние на деформационное поле, что может являться дополнительным фактором, инициирующим динамические проявления горного давления на месторождении Антей (рис. 15).

(Петров В.А., Рассказов И.Ю., Лексин А.Б., Погорелов В.В., Ребецкий Ю.Л., Саньков В.А., Ашурков С.В. Геодинамическое моделирование рудоносных геологических структур (на примере района Стрельцовского урановорудного поля) // Геология рудных месторождений. 2017. Т. 59. № 3. С. 173-200).

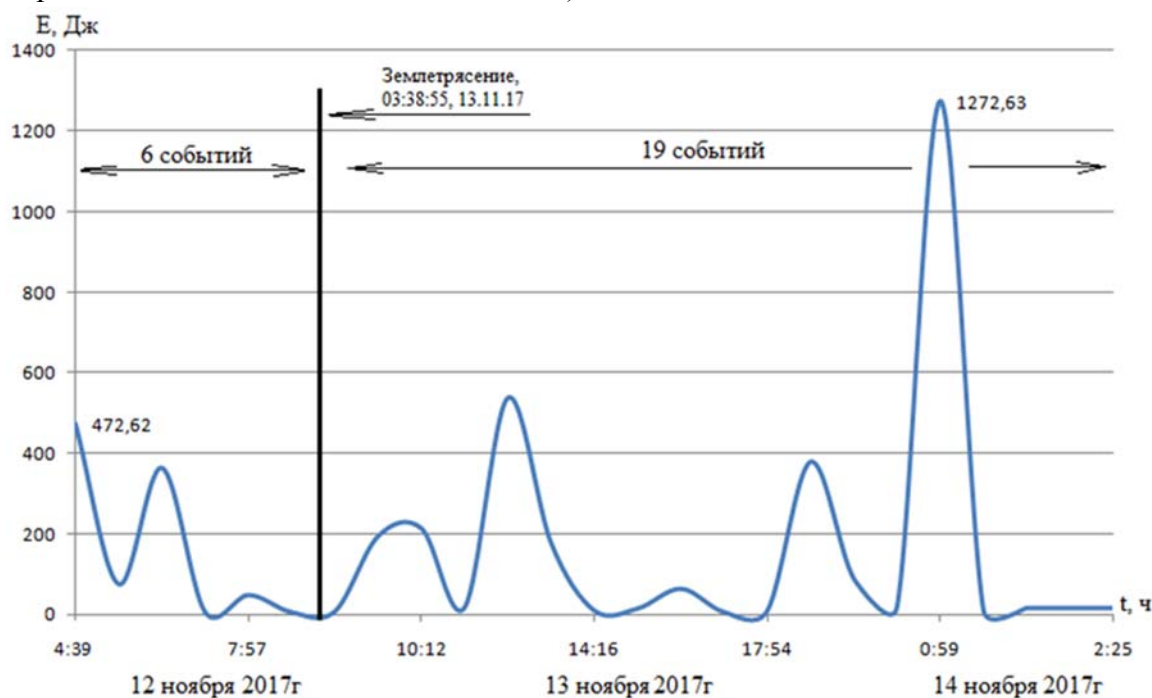


Рис. 15. Изменение суммарной энергии САЗ-событий в массиве месторождения Антей до и после землетрясения в Иране, 13.11.2017

В области горной экологии: для Дальневосточного региона предложен эффективный способ оценки антропогенного загрязнения окружающей среды пылью на основе анализа спутниковых снимков Landsat зимнего периода, когда пылевой ареал отчетливо выделяется на фоне заснеженной поверхности земли. Способ успешно опробован в Буреинском угольном бассейне, на горнопромышленных объектах Еврейской автономной области и на территории поселка Ванино.

(Усиков В.И., Липина Л.Н., Бубнова М.Б. Оценка антропогенного загрязнения окружающей сре-ды по спутниковым снимкам Landsat зимнего периода. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 11 (специальный выпуск 24). С. 373-380).