

Ядерно-геофизические технологии контроля экологических последствий от добычи медьсодержащих полиметаллических руд

С.А. ЕФИМЕНКО, к.т.н., главный геофизик ТОО «Корпорация Казахмыс» г. Жезказган,
В.С. ПОРТНОВ, д.т.н., директор Департамента по организации учебного процесса,
А.К. ТУРСУНБАЕВА, д.т.н., директор Департамента по развитию Болонского процесса,
А.Д. МАУСЫМБАЕВА, магистр, начальник отдела международных связей,
Карагандинский государственный технический университет

Ключевые слова: рентген, спектр, рентгенофлуоресценция, месторождение, горно-металлургический комплекс, медь, руда, спектрометр, мониторинг.

Важной особенностью требований, предъявляемых государством к современным системам разработки минеральных ресурсов, являются: а) минимизация негативных последствий воздействия горно-металлургических комплексов на окружающую среду; б) выпуск экологически безопасной продукции. Несовершенство существующих промышленных технологий с каждым годом приводит к возрастанию техногенной нагрузки на биосферу в целом. В результате, почвы вокруг горно-металлургических комплексов загрязняются тяжелыми металлами Cd, Pb, Zn, Ni, Cu, Hg (TM) через: а) запыление атмосферы и окружающих территорий соединениями TM, находящимися в виде пыли в составе отходящих газов металлургического производства; б) запыление атмосферы и окружающих территорий соединениями TM с зеркал хвостохранилищ (TM, поступающие на обогатительные фабрики в составе исходной медной руды в количествах, превышающих регламент расхода реагентов, частично переходят в хвосты и накапливаются в хвостохранилищах); в) выхивание обслуживающим персоналом соединений TM вместе с пылью и газами на рабочих местах (комплексы крупного дробления шахт и обогатительных фабрик, основные цехи металлургического производства); г) загрязнение почв и вод соединениями TM, смываемыми с хранилищ отвальных шлаков металлургического производства.

ТОО «Корпорация Казахмыс» (Kazakhmys LLC) отрабатывает медьсодержащие полиметаллические месторождения Казахстана (Жезказган, Жаман-Айбат, Саякскую группу, Нурказган, Абыз, Шатырколь, группу месторождений Восточного Казахстана и др.). В состав корпорации входят четыре филиала: ПО «Жезказганцветмет», ПО «Балхашцветмет», ПО «Карагандацветмет» и ПО «Востокцветмет», 12 рудников подземной разработки, 5 рудников открытой разработки, 9 обогатительных фабрик, 2 медеплавильных завода.

Основной объем добычи руды обеспечивают шахты рудничной промышленной площадки ПО «Жезказганцветмет», разрабатывающие месторождение медистых песчаников Жезказган. Месторождение характеризуется полиметаллическим типом оруденения (основные промышленные компоненты – Cu, Pb, Zn; основные сопутствующие промышленные компоненты – Ag, Re, Cd, S, Os; второстепенные компоненты –

Co, Ni, Mo, Sn, Bi, As, Sb, Te, Se, Ga, In, Tl, Ge, Pd, Pt, Hg) и четырьмя технологическими сортами руд: медные сульфидные, комплексные (Cu – Pb, Cu – Pb – Zn), свинцовые (Pb, Pb – Zn, Zn) и смешанные (сульфидно-окисленные). В условиях Жезказгана стратегическое значение приобретают технологии ведения горно-добычных работ, максимально ограничивающие попадание свинец- и цинксодержащих комплексных и свинцовых руд в товарную руду сорта «медная сульфидная».

Самые современные, экологически чистые технологии добычи и переработки руд в Жезказгане могут эффективно работать только при наличии современных, адаптированных к решению задач экологического мониторинга, аналитических средств контроля за элементным составом и валовым содержанием металлов как в рудах месторождения, так и продуктах обогатительного и металлургического переделов. Средства контроля должны максимально соответствовать и специфике ведения горных работ в Жезказгане: горизонтальное залегание рудных тел (забои и уступы должны опробоваться только вертикальными сечениями); большая высота (7 м и более) забоев и уступов; огромные объемы добычи руды; широкий список основных и сопутствующих рудных компонентов.

Экологический мониторинг в ПО «Жезказганцветмет» осуществляется геофизическая служба Рудоуправления по двум направлениям: рентгенорадиометрическое опробование забоев, уступов, руды в навале отбитой горной массы, буровых шламов из шпуров – РРОЗ; рентгенорадиометрический анализ истертых вагонных, забойных, керновых проб, проб бурового шлама скважин – РРАП.

Контроль за добычей свинец- и цинксодержащих комплексных и свинцовых руд на шахтах посредством РРОЗ выполняется с 1977 г., но в контексте контроля за Pb РРОЗ стало эффективным с 1980 г. (переход на аппаратуру РРК-103 «Поиск», РРОЗ на Cu и Pb) и высокоеффективным с 1998 г. (переход на аппаратуру РПП-12, РРОЗ на Cu, Pb, Zn).

Контроль за добычей посредством РРАП выполняется с 1987 года: аппаратура БАРС-3 (4 элемента: Cu, Pb, Zn, Fe), РАЛ-М1М (1990 г.; 8 элементов: Cu, Pb, Zn, Ag, Cd, Fe, Ba, As), РЛП-21 (1998 г.; 13 элементов: Cu, Pb, Zn, Fe, Ba, As, Mn, Sr, Ti, Ca, Y, Rb, K), РЛП-21 (2000 г.; 21 элемент: Cu, Pb, Zn, Ag, Cd, Fe, Sr, Ba, Mn,

Раздел «Геотехнологии. Безопасность жизнедеятельности»

Ti, Rb, Ca, Ni, Co, Cr, As, Zr, Se, Mo, W, Sn, Sb, Bi, V, Y, Nb, Pd, K); РЛП-21 (2006 г.; 34 элемента: Cu, Pb, Zn, Ag, Cd, Fe, As, Ba, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Ga, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Pd, In, Sn, Sb, Ta, Bi, W, U, Th).

Портативный полевой энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектрометр РПП-12 (ТОО «Физик», г. Алма-Ата, Казахстан) и позволяет определять содержание в рудах четырех (Cu, Pb, Zn, Fe) элементов. Конструктивно, РПП-12 состоит из датчика, устройства регистрации и обработки (УРО) и комплекта подъемных штанг на 8 м. В датчике размещаются источники ионизирующего излучения (1 или 2 источника Pu-238), пропорциональный детектор ионизирующих излучений СИ-13Р, предварительный усилитель, 1 аккумулятор. УРО включает: микропроцессор, анализатор импульсов на 1024 канала преобразований, жидкокристаллический индикатор, клавиатуру, 3 аккумулятора, разъем R232 для подключения к IBM совместимому компьютеру. Прибор РПП-12 включен в Государственный реестр средств измерений Республики Казахстан. Пакет уникальных прикладных программ обеспечивает полное разделение пиков меди и цинка во вторичных спектрах.

С внедрением РПП-12 на геологические разрезы всех нарезных и горно-подготовительных выработок, очистных забоев, уступов и камер в обязательном порядке выносятся содержания Cu, Pb и Zn. В результате геологи и горняки имеют полную картину о характере распределения свинцового и цинкового оруденения в добываемых панелях и блоках, а также в горно-подготовительных выработках.

Лабораторный энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектрометр РЛП-21 (ТОО «Физик», г. Алма-Ата, Казахстан) позволяет определять содержание в порошковых пробах руд 34 элементов. Этот список охватывает большую часть основных и сопутствующих промышленных элементов, сопутствующих элементов и элементов-загрязнителей окружающей среды.

РЛП-21 комплектуется Si-Li полупроводниковым детектором (ППД), охлаждаемым жидким азотом, радионуклидами америций-241 типа ИГИА-ЗМ, промежуточной мишенью (барий или цезий), компьютером и принтером; уникальным по сложности и возможностям программным обеспечением. Отличительные особенности РЛП-21:

1. Универсальная методика, обеспечивающая проведение РРАП по принципу «руды разные – градиуровка одна».

Данные мониторинга промышленных продуктов СОФ-3 на спектрометре РЛП-21 (по состоянию на 04.09.2011 г.)

Содержание металлов, % (* – ppm)										
Cu	Pb	Zn	Ag*	Cd*	W*	Bi*	As*	Ti	Fe	
1. Концентрат (с 18.12.2001 г., 3401 проба)										
26,70	3,86	6,89	493,2	1137,8	1100	200	1100	0,29	6,87	
2. Исходная руда (с 17.04.2002 г., 3299 проб)										
1,06	0,173	0,359	20,6	54,7	65	20	20	0,32	2,77	
3. Хвосты (с 25.08.2003 г., 2817 проб)										
0,113	0,030	0,096	3,4	13,0	30	20	20	0,32	2,63	

2. Высокоэффективный идентификатор аналитических линий элементов (идентификация линий идет по 14 параметрам). РЛП-21 на государственном стандартном образце руды ГСО-3597, содержащем As (3,96 %) и не содержащем Pb (линии AsKa и PbLa имеют одинаковую энергию 10,5 кэВ): «ложной» аномалии свинца от мышьяка нет ($C_{As} = 3,92 \%$; $C_{Pb} = 0,009 \%$).

3. III категория точности РРАП (точность рядового химического анализа) по ОСТ 41 – 08 – 205 – 04: для Ag (достигнута в девятнадцати ГСО); Zn (17); Pb (16); Cu и Fe (13); Cd (11); Ba (10); Sr (7); Se (6); Mn (5); As, In и Mo (4); Ni и Sb (3); Bi, Ga, Y, Rb, Nb, Th, U (1). Спектрометр обеспечивает IV категорию РРАП на Ag в ГСО 4822 ДВГ (0,40 ppm) и ГСО 8076 (0,67 ppm).

4. Низкие пределы обнаружения элементов (расчитаны по критерию 3 σ): Ag 1,2 ppm (ГСО-3029; $C_{Ag} = 2,1 \text{ ppm}$), Cd – 1,35 ppm (ГСО-4822 ДВГ; $C_{Cd} = 5,0 \text{ ppm}$); Zn 0,0058 % (ГСО-2887; $C_{Zn} = 0,011 \%$), Pb 0,0084 % (ГСО-2887; $C_{Pb} = 0,037 \%$). РЛП-21 отлично работает на рудах месторождения Нурказган, содержащих в среднем 2,8 ppm Ag и 40,0 ppm Mo.

Использование спектрометра РЛП-21 позволило:

1. Организовать эффективный контроль за содержаниями ТМ и других экологически проблемных элементов в вагонных пробах товарной руды шахт, геологоразведочных пробах, шпуровых пробах, пробах бурового шлама взрывных скважин карьеров.

2. Организовать (с 2001 г.) мониторинг элементного и валового состава промпродуктов Сатпаевской обогатительной фабрики № 3. Данный мониторинг дает важную экологическую информацию как о средних содержаниях металлов в промпродуктах (см. таблицу), так и динамике изменения средних содержаний этих металлов во времени (рисунок 1).

3. Установить (рисунок 2) присутствие стронция в рудах месторождения Таскура (максимально наблюдаемое содержание стронция составило 5,2 %).

С целью обеспечения высокоточного РРАП на легкие (Al, S, Si, P) элементы, что крайне важно с точки зрения экологии, была запущена в работу четвертая модификация спектрометра РЛП-21Т (рентгеновская трубка, охлаждение ППД), позволяющая проводить РРАП на полиметаллы и легкие элементы в процессе одного измерения (спектр пробы показан на рисунке 3). Этот РЛП-21Т обеспечивает проведение РРАП на 34 элемента: Cu, Pb, Zn, Ag, Cd, Mo, Fe, Se, As, Ba, W, Bi, Ti, Cr, Mn, V, Ni, Al, Si, S, P, Ca, Ga, Br, Sr, Zr, Rb, Y, Nb, Pd, Ar, Sc, U, Th. Диапазон энергий от 1,49 кэВ (AlK α) до 23,0 кэВ (CdK α).

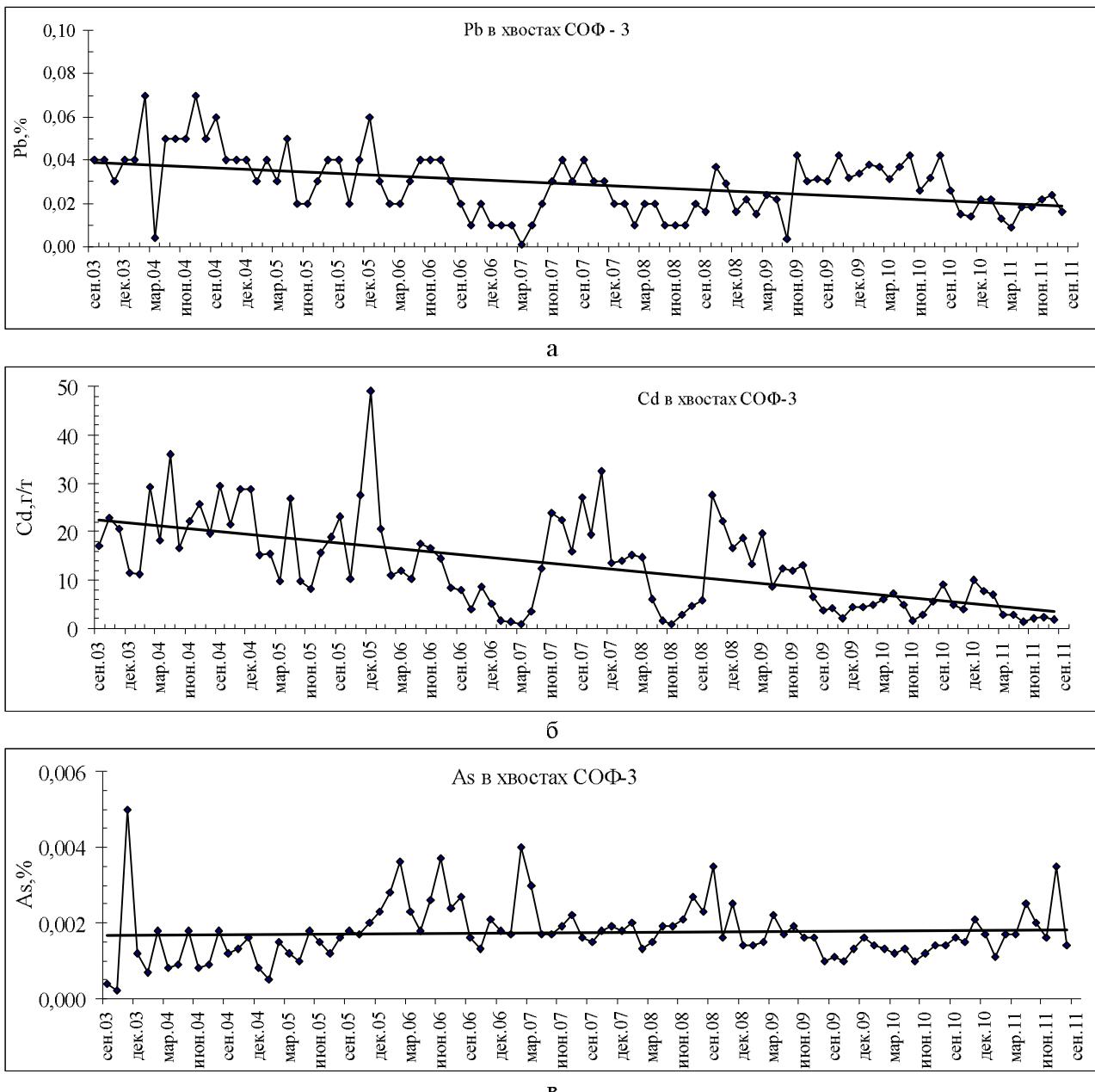


Рисунок 1 – Динамические ряды среднемесячных содержаний свинца, кадмия и мышьяка в отвальных хвостах СОФ – 3

Данная модификация включает: миниатюрную рентгеновскую трубку мощностью 50 Вт; дрифтовый полупроводниковый детектор (SDD) площадью 25 мм^2 , с разрешением 150 эВ по линии 5,9 кэВ при импульсной загрузке детектора 100 кГц. Для оптимизации условий возбуждения линий легких элементов основная (теллур) мишень была дополнена мишенью из калия. Для определения Al, Si, S, P не требуется ни вакуумный насос, ни инертный газ.

Такую возможность обеспечивает специальная конструкция зондового устройства датчика: путь прохождения рентгеновских флуоресценций элементов от пробы на детектор по воздуху минимизирован. Несмотря на это, во вторичных спектрах присутствует интенсивная линия К-серии аргона. Возможности математического аппарата спектрометра РЛП-21Т позволяют уверенно выделять пики линий AlK α , SiK α ,

SK α и PK α на фоне линий рентгеновских флуоресценций мешающих элементов. Положительно решены проблемы учета пиков «двойных наложений», пиков вылетов и пика аргона, входящего в состав воздуха.

Данная модификация спектрометра также является прекрасным инструментом для мониторинга содержаний урана и тория в рудах.

РФА руд на уран и торий на полиметаллических месторождениях представляет собой очень сложную методическую задачу: на линии L-серий урана и тория накладываются более мощные линии K- и L-серий других элементов.

Программное обеспечение спектрометра РЛП-21Т располагает математическим инструментом, описывающим с точностью до 97-98 % спектр всех 19 линий, из которых состоит L-серия мешающего (например, свинец) элемента и всех 5 линий, из которых

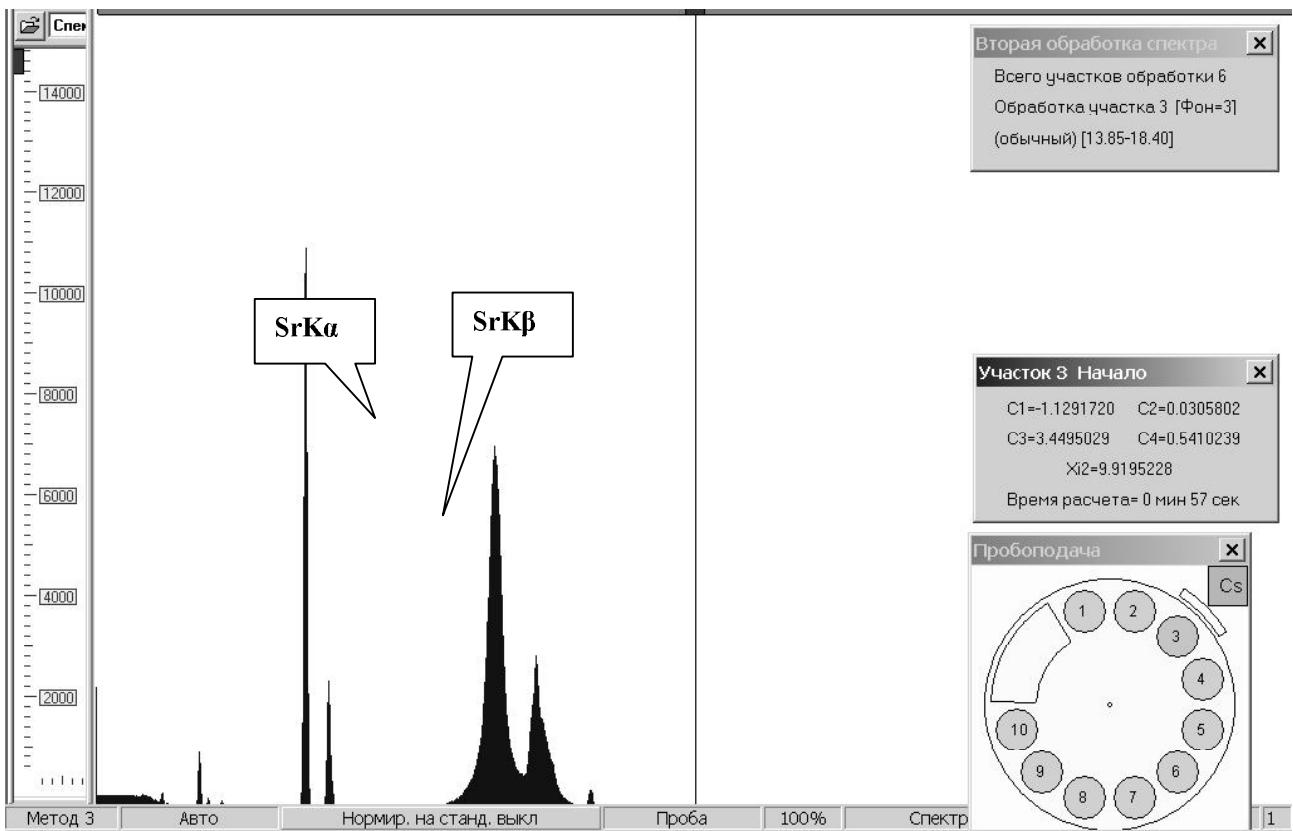


Рисунок 2 – Месторождение Таскура. Спектр пробы № 2477: Cu=0,12%, Sr=0,95%

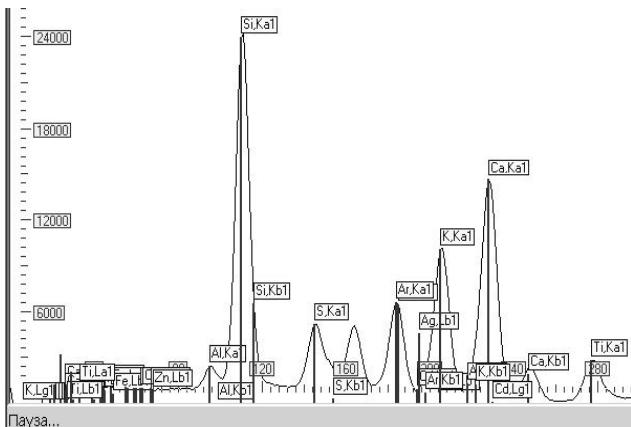


Рисунок 3 – Спектр пробы руды в области легких (Al, S, Si) элементов

состоит К-серия мешающего (например, молибден) элемента. Аналогично происходит со всеми остальными элементами, вклад которых надо учесть. В результате, в энергетических интервалах, в которых измеряются интенсивности аналитических линий урана и тория, фиксируются только их «чистые» линии.

Результаты РРАП на спектрометре РЛП-21Т ГСО-4322-ДВГ следующие: уран – 16,2 ppm (ГСО – 17,0 ppm), торий – 38,4 ppm (38,0 ppm), медь – 0,0045% (0,0040%), свинец – 0,014% (0,010%), марганец –

0,059% (0,062%), никель – 0,0007% (0,0007%), мышьяк – 0,055% (0,060%), хром – 0,0042% (0,0047%), титан – 0,0054% (0,0070%), молибден – 0,027% (0,026%), рубидий – 0,16% (0,15%).

С помощью спектрометров РПП-12 и РЛП-21 (РЛП-21Т, РЛП-21ТЖ) удалось организовать эффективный экологический мониторинг на таких сложных, характеризующихся большим размахом содержаний всех промышленных и мешающих компонентов полиметаллических месторождениях, как: золото-медно-порфировое месторождение Нурказган, колчеданно-медно-свинцово-цинковые месторождения Кусмурин и Акбастау, золото-колчеданно-медно-свинцово-цинковое месторождение Абыз, Саяксская группа медно-скарновых месторождений, медно-порфировое месторождение Шатырколь, а также на Балхашской, Нурказганской и Карагайлинской обогатительных фабриках, перерабатывающих руды этих месторождений.

Таким образом, огромная медная корпорация Казахстана стала работать с использованием ядерно-геофизических технологий опробования руд (ЯГФТОР) в качестве фактически основного инструмента геологического мониторинга горных работ. Информационная база, создаваемая ЯГФТОР, представляет собой также и источник достоверной информации, которую предстоит рационально использовать экологическим службам корпорации.