

УДК 622.014.2:550.835.41

## Опробование медных руд месторождений Казахстана рентгенорадиометрическим методом

С.А. Ефименко<sup>б</sup>, В.С. Портнов<sup>а</sup>,  
А.К. Турсунбаева<sup>а</sup>, А.Д. Маусымбаева<sup>а\*</sup>

<sup>а</sup> Карагандинский государственный технический университет,  
Казахстан 100027, Караганда, Б.Мира, 56

<sup>б</sup> ТОО «Корпорация Казахмыс», Управление горной службы,  
Казахстан 100600, Жезказган, пл. Металлургов, 1<sup>1</sup>

Received 16.11.2009, received in revised form 03.12.2009, accepted 18.12.2009

*Полиметаллический тип оруденения медных руд Жезказганского, Саякского, Коундрадского, Нурказганского и ряда других месторождений, интенсификация добычных работ подземным, открытым способом, контроль содержания меди и сопутствующих элементов, применение геофизического опробования с использованием энергодисперсных рентгенофлуоресцентных, переносных, лабораторных и каротажных спектрометров типа РПП-12, РЛП-21, РКП-1, обеспечивающих анализ до 34 элементов (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).*

*Совокупность методических и аппаратных разработок обеспечила статус рентгенорадиометрического опробования (РРО) как основного инструмента геологического мониторинга разведочных и добычных работ. По результатам РРО в рудах месторождений выявлены новые элементы (Mo на месторождении Кусмурын и Акбастау; Ta, Sr на месторождении Таскура и др.). Рассмотрена возможность мониторинга геологоразведочных работ, обеспечивающих формирование паспортов разведочных скважин по содержанию Cu, Zn, Pb, Ag, Cd, Mo, Se, Co, повышена надежность оперативного планирования, ведения разведочных, добычных работ и контроля за отгрузкой товарной руды по всему списку основных и сопутствующих рудных компонентов, включая Zn, Ag, Cd, Mo, Se, Co. Опробовано использование РРО в транспортных емкостях в режиме on-line.*

*На базе РРО создана надежная система оперативно обновляемых данных о валовом и элементном составе руд в границах шахтных полей и в рудопотоках разных уровней для обоснования новой концепции технического перевооружения рудников ТОО «Корпорация Казахмыс».*

*Ключевые слова: Медные руды, месторождения Казахстана, рентгенорадиометрический метод, элементы, концепция, анализ руд, технологии, цветной металл, спектрометр, аппарат, добыча.*

### Введение

Флагман цветной металлургии Казахстана ТОО «Корпорация Казахмыс», в состав которого входят 4 производственных объединения («Жезказганцветмет», «Балхашцветмет», «Карагандацветмет» и «Востокцветмет»), 12 подземных рудников, 5 рудников открытой разработки,

\* Corresponding author E-mail address: aliya\_maussym@mail.ru

<sup>1</sup> © Siberian Federal University. All rights reserved

9 обогатительных фабрик, 2 медеплавильных завода, разрабатывает большую группу медных месторождений Казахстана.

Основной объем добычи руды обеспечивают шахты и карьеры ПО «Жезказганцветмет», разрабатывающие Жезказганское месторождение медистых песчаников. Тип оруденения – полиметаллический. Основные промышленные компоненты – Cu (84,4 %), Pb (10,1 %), Zn (5,5 %); 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. Число технологических сортов руды – 4: медные сульфидные, комплексные (Cu – Pb, Cu – Pb – Zn), свинцовые (Pb, Pb – Zn, Zn) и смешанные (сульфидно-окисленные). Халькозин, борнит и халькопирит являются главными сульфидами Cu. На их долю приходится, соответственно, 55, 40 и 5 % запасов Cu на месторождении. Галенит и сфалерит – главные сульфиды Pb и Zn (бетехтинит и блеклая руда распространены меньше). Специфика горного производства состоит в том, что рудные тела залегают горизонтально (забои и уступы должны опробоваться вертикальными сечениями); большая высота (7 м и более) забоев и уступов; большие объемы добычи руды (до 70 000 т/сут); широкий перечень основных и сопутствующих рудных компонентов.

Остальные месторождения, такие как: золото-медно-порфировое месторождение Нурказган (Cu, Au, Ag, Mo, Se, S); колчеданно-медно-свинцово-цинковые месторождения Кусмурын (Cu, Zn, Pb, Au, Ag, Cd, Se, Te, S) и Акбастау (Cu, Zn, Pb, Au, Ag, Cd, Se, S, Te); золото-колчеданно-медно-свинцово-цинковое месторождение Абыз (Pb, Zn, Cu, Au, Ag, S, Se, Te, Cd, In, Hg); Саякская группа медно-скарновых месторождений (Cu, Mo, Fe, Au, Ag, Bi, Te, Se, Re); медно-порфировое месторождение Шатырколь (Cu, Mo, Au, Ag, Te, Se, U), – также характеризуются широким списком и большим размахом содержаний всех промышленных, сопутствующих и мешающих компонентов.

С переходом Казахстана к рыночной экономике возникла насущная потребность в техническом перевооружении горнорудных предприятий страны вообще и горных предприятий ТОО «Корпорация Казахмыс», в частности. Для Жезказгана наиболее оптимальной можно считать новую концепцию технического перевооружения рудников в рамках диверсификации горного производства, предложенную Г.Г. Ломоносовым [1].

Данная концепция может базироваться только на системе геологического мониторинга за валовым и элементным составом руд нового поколения. Актуальность создания такой системы для рудников корпорации была очевидной. С помощью комплекса теоретических, методических и аппаратных разработок предстояло: в корне изменить существующую традиционную систему опробования и анализа руд; адаптировать новую систему к задаче повышения полноты извлечения и комплексности использования запасов минерального сырья в недрах путем формирования информационных банков достоверных данных о содержании в рудах Cu, Pb, Zn, Ag, Cd, Fe, Mo, Te, Se, In и других компонентов; адаптировать новую систему к задачам экологического мониторинга.

Стержнем новой системы геологического-геофизического мониторинга руд (НСГГМР) должны были стать высокоточные и высокопроизводительные технологии опробования и анализа руд. Самыми перспективными из них давно и заслуженно считаются ядерно-геофизические технологии опробования руд (ЯГФТОР), из которых особо выделяются те, что базируются на рентгенометрическом методе. Общеизвестно, что по производительности, оперативно-

сти и представительности у ЯГФТОР альтернативы в горнорудной промышленности нет. Вопросы возникали только: по точности опробования и анализа; в связи с малой глубиной рентгенорадиометрического метода (основного метода в ЯГФТОР); по количеству определяемых основных и сопутствующих рудных элементов; по адаптации ЯГФТОР к специфике применяемых горных технологий.

Жезказганское месторождение медистых песчаников представляет собой очень сложный объект для внедрения ЯГФТОР как по фактору «вещественный состав руд», так и по фактору «специфика горного производства». Несмотря на это ЯГФТОР уже давно применяются на рудниках ПО «Жезказганцветмет»: с 1971 года проводился рентгенорадиометрический анализ проб (РРАП) бурового шлама скважин на Cu на Анненском и Златоуст-Беловском карьерах; с 1977 года – рентгенорадиометрическое опробование забоев (РРОЗ) на Cu [2], с 1979 года – РРОЗ на Cu и Pb [3], с 1980 года – рентгенорадиометрический каротаж (РРК) подземных разведочных и веерных отбойных скважин на Cu и Pb [4], с 1987 года – рентгенорадиометрический анализ проб (РРАП) руд на Cu, Pb, Zn.

Инструкция (первая в Министерстве цветной металлургии Казахской ССР) по РРОЗ на медь (1978 г.) была утверждена Вневедомственным научно-методическим советом по ядерно-физическим методам опробования полезных ископаемых в естественном залегании при ВНИ-ИЯГГе. Минцветмет СССР разрешил использование данных РРОЗ при подсчете запасов руд и металла на участках медных руд.

Однако, несмотря на росший из года в год удельный вес ЯГФТОР в системе геологического обслуживания горных и геологоразведочных работ и создание мощной геофизической службы, иллюзий не было: уровень аппаратного и методического обеспечения тех лет позволял решать с помощью ЯГФТОР только локальные задачи – до комплексного прорыва было далеко. Предстояло: существенно повысить точность РРОЗ, РРАП и РРК, максимально расширить список определяемых элементов, существенно повысить чувствительность ЯГФТОР; способствовать широкому внедрению on-line технологий опробования руд в транспортных емкостях и на ленте транспортеров. Решению этих проблем посвящена настоящая работа.

### Методические аспекты

Началом создания НСГМР следует считать 1990 год, когда в геофизической службе был внедрен энергодисперсионный рентгенофлюоресцентный (EDXRF – по современной международной классификации) спектрометр РАЛ-М1М (разработчик методики – ТОО «Геофизик», г. Кентау, Казахстан) с кремний-литиевым полупроводниковым детектором (ППД), радиоактивными источниками Am-241, промежуточной мишенью из бария. Программное обеспечение РАЛ-М1М содержало эффективную методику учета взаимного влияния элементов, изменений вещественного состава и плотности анализируемых проб руд. Алгоритм расчета массовых долей Cu, Zn, Pb, Ag, Cd, Fe, Ba и As отличался большой сложностью [5]. Высокопроизводительная электроника и мощный математический аппарат позволили: расширить список определяемых элементов до восьми; впервые включить в этот список Ag и Cd; обеспечить достаточно высокую чувствительность РРАП – нижний предел обнаружения по Ag и Cd был доведен до 2,4 ppm (критерий  $3\sigma$ ; экспозиция измерений – 415 с; государственные стандартные образцы ГСО-3029 с  $C_{Ag} = 2,1$  ppm и ГСО-4322 с  $C_{Cd} = 5,0$  ppm); точность РРАП соответствовала точности рядового

химического анализа (III категории по ОСТ-41-05-205-81 [6]); перейти к формированию суточного отчета ОТК по добыче Ag по данным РРА вагонных проб (ранее отчет формировался по результатам анализа декадных и месячных объединенных проб) и существенно повысить его достоверность; приступить к изучению закономерностей распределения Ag в рудах и в рудопотоках всех уровней; перейти к оперативному регулированию добычи Ag [7].

Хотя РРАП на спектрометре РАЛ – М1М явился первой важной ячейкой структуры НГСМР, однако контуры, близкие к окончательным, она начала приобретать после поступления в геофизическую службу ПО «Жезказганцветмет» современных EDXRF спектрометров, разработанных в ТОО «Физик» (г. Алма-Ата, Казахстан): РПП-12 (рентгенорадиометрический переносной прибор, 1998 год), РЛП-21 (рентгенорадиометрический лабораторный прибор, 1998 год) и РКП-1 (рентгенорадиометрический каротажный прибор, 2002 год).

Нахождение интенсивностей линий рентгеновских флюоресценций определяемых элементов в спектрометрах РПП-12, РЛП-21 и РКП-1 осуществляется посредством минимизации функции среднеквадратического отклонения вида:

$$\chi^2(p) = \frac{1}{n-m} \sum_i \frac{1}{Y(i)} [Y(i) - F(i, p)]^2, \quad (1)$$

где  $p$  – вектор искомых параметров,  $n$  – число обрабатываемых каналов,  $m$  – число искомым параметров,  $i$  – текущий номер канала,  $Y(i)$  – интенсивность в  $i$ -ом канале,  $F(i, p)$  – искомый функционал.

Для полного расчета содержаний определяемых элементов используется математическая модель [8], учитывающая: а) эффекты селективного поглощения и подвозбуждения определяемыми элементами; б) эффекты подвозбуждения рассеянным излучением; в) наличие в возбуждающем спектре двух интенсивных линий и многое другое. Для учета изменения геометрических условий измерений, а также массового коэффициента ослабления неопределяемыми элементами используется либо рассеянное излучение бариевой или цезиевой мишени (основной источник ионизирующего излучения в РЛП-21 – америций-241), либо рассеянное излучение источника ионизирующего излучения плутоний – 238 (РПП-12 и РКП-1).

Кроме этого, программные продукты обеспечивают расчет большого числа поправочных коэффициентов:  $k_i$  – соотношения основных линий К- и L-серий характеристического излучения определяемых элементов;  $q_i$  – полиномиальной функции от содержаний определяемых элементов, рассчитанной по методу «плоскость 2»;  $d_{ij}$  – взаимных вкладов аналитических линий элементов;  $v_{si}$  – корректировки измеренной интенсивности рассеянного излучения радионуклида;  $\mu_{ij}$  – массив массовых коэффициентов ослабления аналитической линии  $i$ -го элемента  $j$ -м элементом;  $d$  и  $K_{is}$ , входящих в главные формулы расчета содержаний элементов;  $h_{ij}$  – учета эффектов подвозбуждения аналитическими линиями элементов;  $F_i$  и  $F'_i$ , определяющих точность расчета концентраций определяемых элементов;  $k$  (смещения) и  $g$  (сигма), позволяющих производить корректировку интенсивностей на импульсную загрузку ППД и пропорционального детектора.

Сложнейший математический аппарат и самая современная электроника, заложенные в этих спектрометрах, позволили не только резко расширить мониторинговые возможности РРОЗ до 4 (Cu, Pb, Zn, Fe) элементов; РРАП до 34 элементов (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); РПК скважин шарошечного бурения карьеров до 4 (Cu, Pb, Zn, Fe) элементов, но и снять практически все претензии горняков и геологов к достоверности, точности и представительности РРАП, РРОЗ и РРК скважин.

Одной из важнейших составляющих структуры НСГГМР является автоматизированная система контроля за добычей основных и сопутствующих рудных компонентов в транспортных емкостях в режиме on-line. Такая система уже успешно работает на горных предприятиях в Норильске. Промежуточный вариант такой системы был испытан у опрокидывателя вагонеток ВГ-12 на рудничном дворе откаточного горизонта +30 м шахты № 65 Южно-Жезказганского рудника. Через пункт опробования ОТК ежедневно проходит около 18 000 т руды (125 «кольцовок» по 12 вагонеток ВГ-12 в каждой). Программа эксперимента заключалась в следующем: пробница ОТК методом вычерпывания отбирала с вагонеток пробы руды; материал пробы с «кольцовки» направлялся на подземный блок дробления (дробилки ДЛЩ 80-150 и ДВГ 200-150), затем на блок геофизического опробования (спектрометр РПП-12, сетевой компьютер), после чего выдавался на-гора и обрабатывался по действующей технологии; оператор на РПП-12 вводил в компьютерную программу «Эксперимент» в режиме «клиент-сервер» данные (номер рудоспуска, количество вагонеток, среднее содержание Cu, Pb, Zn); результаты РРО вагонеток по линиям связи передавались на мониторы директора и диспетчера рудника, экономиста ОТК рудничной промышленной площадки.

Структура НСГГМР включает такие важные подсистемы, как «комплексное использование минерального сырья» и «экологический мониторинг». Наполнение информационных баз этих подсистем обеспечивалось за счет данных РРАП руд и промышленных продуктов горного, обогатительного и металлургического переделов.

### Аппаратура

Спектрометр РПП-12 [9] предназначен для проведения высокоточного многоэлементного РРО руд в естественном залегании (стенки горных выработок, уступы карьеров, естественные обнажения и т.д.), в отбитой горной массе и крупнодробленых пробах (руда в навале, штуфы, керн, пробы бурового шлама), а также для экспресс-анализа порошковых проб руд и горных пород в условиях полевых лабораторий на 4 элемента (Cu, Zn, Pb, Fe или Mn, Fe, Cu, Zn с радионуклидом Pu-238). РПП-12 состоит из датчика, в котором размещаются источники ионизирующего излучения ( $1\div 2$  радионуклида Pu-238), пропорциональный детектор излучений СИ-13Р, предварительный усилитель. Устройство регистрации и обработки включает: микропроцессор DS5002FP; программируемую логическую интегральную схему типа FPGA; анализатор импульсов на 1024 канала преобразований; буфер памяти-1000 спектров; жидкокристаллический индикатор; клавиатуру; аккумуляторы, разъем R232 для подключения к компьютеру. Время измерения на одной точке наблюдения –  $10\div 60$  сек. Емкости аккумуляторов достаточно для непрерывной работы в течение 8 часов.

Интегрированный пакет прикладных программ прибора позволяет производить: учет матричного эффекта; разделение наложенных линий элементов с соседними атомными номерами; учет взаимного влияния элементов; управления процессами накопления, отображения,

обработки информации и вывода результатов обработки как на жидкокристаллическое табло спектрометра, так и на внешние устройства компьютера.

Следует подчеркнуть, что РПП-12 – это единственный представитель на рынке EDXRF спектрометров, который полностью адаптирован к специфике технологий ведения добычных работ на подземных рудниках ПО «Жезказганцветмет» (РРО забоев и уступов высотой до 10 м). Использование других спектрометров возможно, но только с самоходного полка СП-18А.

Спектрометр РЛП-21 [10] предназначен для проведения многокомпонентного РРА (до 34 элементов) в истертых или прессованных пробах руд, горных пород, почв, продуктов обогащительных и металлургических производств; в отложениях на фильтрующих элементах и на пленках. РЛП-21 может найти применение в цветной и черной металлургии, экологии, других отраслях промышленности.

Отличительной особенностью РЛП-21 является то, что полупроводниковый детектор (ППД), способ его охлаждения, источник возбуждающего излучения, электроника, математическое и программное обеспечение выбирались в комплексе и под конкретную аналитическую задачу. Это позволило оптимизировать стоимость спектрометра при сохранении высоких метрологических характеристик РРАП. РЛП-21 состоит из датчика, спектрометрического устройства (СУ), персонального компьютера и принтера. В датчике размещаются: СУ; блок возбуждения (4-6 изотопных источников америций-241); промежуточная мишень (Cs или Ba); блок управления; Si-Li ППД площадью 100 мм<sup>2</sup>; механизм перемещения турели с пробами; сосуд Дюара. Управление работой спектрометра осуществляет персональный компьютер. СУ (основа РЛП-21) выполнено отдельной платой, включающей: микропроцессор DS5002FP; программируемую логическую интегральную схему типа FPGA; набор технических средств, необходимых для обеспечения работы ППД. Основные технические характеристики СУ: число каналов преобразований – 2048; постоянная времени дифференцирования линии задержки – до 12 мкс.

Последняя модификация РЛП-21 – спектрометр РЛП-21Т. Он конструктивно отличается от РЛП-21: вместо радионуклидов Am-241 используется портативный рентгеновский моноблок (РТ); излучение направляется на кювету сверху; ППД (PIN детектор площадью 5÷20 мм<sup>2</sup> и толщиной 300÷500 микрон) с термоэлектрическим охлаждением; исполнение спектрометра – настольное, кюветы металлические, цельнотянутые, диаметром 25 мм. РЛП-21Т позволяет реализовать РРАП на легкие элементы (S, Si, Al) без использования вакуумной камеры или инертного газа. Анализ легких и остальных элементов разнесен по времени. В режиме «полиметаллы» определяются валовые концентрации 27 элементов (Cu, Pb, Zn, Ag, Cd, Fe, As, Ba, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Pd, Sn, Sb, Bi, W). В режиме «легкие» – 22 элемента (Cu, Pb, Zn, Fe, As, Ba, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Ni, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Sb, Bi, W) плюс оценка содержаний S, Si, Al. Этот вариант спектрометра РЛП-21Т – качественно новая страница в РФА.

Спектрометр РКП-1 предназначен для выполнения РРК эксплуатационно-разведочных скважин карьеров на Cu, Pb, Zn и Fe. РКП-1 состоит из каротажного датчика (пропорциональный детектор, радионуклид плутоний-238), спектрометрического устройства (СУ), бортового компьютера типа Notebook, лебедки, устройства спуска-подъема каротажного датчика. РКП-1 смонтирован на шасси автомобиля УАЗ.

В настоящее время спектрометры РЛП-21 и РЛП-21Т применяются:

- в экспресс-лабораториях геофизической службы ПО «Жезказганцветмет» (РЛП-21 – 7 шт.) и АО «Жезказгангеология (РЛП-21ТЖ – 1 шт.; РЛП-21Т – 1 шт.);
- на рудниках Акбастау, Кусмурын, Нурказган ПО «Карагандацветмет» (РЛП-21 – 1 прибор; РЛП-21Т – 1 прибор);
- на Балхашской обогатительной фабрике ПО «Балхашцветмет» (2 прибора РЛП-21), Карагайлинской (2 прибора РЛП-21Т) и Нурказганской (2 прибора РЛП-21Т) обогатительных фабриках ПО «Карагандацветмет».

В настоящее время спектрометры РПП-12 применяются:

- на рудниках Южном, Восточном, Западном, Степном, Анненском, Жомарт «Жезказганцветмет» для РРО забоев и уступов (16 приборов);
- на рудниках Абыз, Акбастау, Кусмурын, Нурказган ПО «Карагандацветмет» для РРО забоев, руды в навалах отбитой горной массы, в штабелях товарной продукции, шламе взрывных скважин, в автосамосвалах (5 приборов);
- на рудниках Саяк, Коунрад и Шатыркуль «Балхашцветмет» для РРО забоев, руды в навалах отбитой горной массы, в штабелях товарной продукции, шламе взрывных скважин, а также на шлакоотвале Балхашского медьзавода (5 приборов).

### Экспериментальные результаты

Реальные возможности и метрологические характеристики РРАП на спектрометрах РЛП-21 и РЛП-21Т определялись на ГСО руд полиметаллических месторождений Казахстана, на пробах руд месторождений, разрабатываемых рудниками корпорации, на технологических пробах обогатительного и металлургического переделов.

Универсальность методики РРАП (объекты разные – градуировка одна) и эффективность учета матричного эффекта (вариант способа фундаментальных параметров – способ фундаментальных коэффициентов, в котором поправки вводятся только на прямо или косвенно определяемые элементы) проверена следующим образом: РЛП-21 был проградуирован на ГСО руд, затем на РЛП-21 были проанализированы пробы промпродуктов обогатительного и металлургического переделов (табл. 1). Для подтверждения сложности матриц проб даны содержания Pb, Zn, Fe по РРАП [11, 12].

Такой универсальностью методики обладают очень узкий круг EDXRF спектрометров.

Эффективность работы идентификатора аналитических линий элементов (в РЛП-21 идентификация линий идет по 14 параметрам) была проверена на ГСО-3596, содержащем As и Pb, линии которых  $AsK\alpha$  и  $PbL\alpha$  имеют одинаковую энергию (10,5 кэВ): аттестованные содержания –  $C_{As} = 1,21\%$ ;  $C_{Pb} = 0,56\%$ ; фактические (по РРАП) –  $C_{As} = 1,21\%$ ;  $C_{Pb} = 0,57\%$ . Тест на ГСО-3597 ( $C_{As} = 3,96\%$ ;  $C_{Pb} = 0\%$ ) также положителен: «ложной» аномалии свинца от мышьяка нет:  $C_{As} = 3,92\%$ ;  $C_{Pb} = 0,009\%$ .

Большинство EDXRF спектрометров, представленных на рынке, не способны успешно пройти такой тест.

Точность РРАП устанавливалась по методике, рекомендованной в работе [6]. III категория точности РРАП по: Ag (достигнута в девятнадцати ГСО); Zn (в 17); Pb (в 16); Cu и Fe (в 13); Cd (в 11); Ba (в 10); Sr (в 7); Se (в 6); Mn (в 5); As, In и Mo (в 4); Ni и Sb (в 3); Bi, Ga, Y, Rb, Nb, Th, U

Таблица 1. Сходимость РРА на медь (РЛП-21 и химанализ) проб промпродуктов Жезказганской (ЖОФ), Сатпаевской (СОФ), Балхашской (БОФ) ОФ и Жезказганского медьзавода (ЖМЗ). Градуировка РЛП – 21 произведена по ГСО руд казахстанских месторождений

Промпродукт	Предприятие	Содержание, %				
		Cu		Pb	Zn	Fe
		х/а	РЛП-21	РЛП-21	РЛП-21	РЛП-21
Медный концентрат	ЖОФ	36,77	36,80	3,23	1,82	6,30
Медный концентрат	СОФ	25,75	25,91	9,33	13,34	5,96
Медный концентрат	БОФ	18,20	18,65	0,54	1,31	32,60
Отвальный шлак	ЖМЗ	0,44	0,45	2,18	3,02	14,42
Конвертерный шлак	ЖМЗ	9,13	9,45	16,35	4,60	24,86
Гранулы	ЖМЗ	36,27	36,09	3,52	2,23	9,59
Концентрат с 8-го конвертера	ЖМЗ	39,30	39,15	3,23	1,60	7,82
Штейн	ЖМЗ	53,40	53,39	7,98	2,24	12,48
Анодный шлак	ЖМЗ	34,80	35,08	11,73	1,62	10,92
Оборот их цеха корок	ЖМЗ	16,30	16,18	20,17	3,61	15,86
Оборотная пыль	ЖМЗ	12,50	12,16	39,47	4,37	1,76
Материал из коробок	ЖМЗ	41,85	42,18	4,45	1,23	7,55

(в 1). Спектрометр обеспечивает IV категорию РРАП на Ag в ГСО 4822 ДВГ (0,40 ppm) и ГСО 8076 (0,67 ppm). В табл. 2 сравниваются результаты РРАП и химического анализа в ГСО полиметаллических месторождений Казахстана.

Универсальность и точность методики РРАП впечатляет. Такой точности вполне достаточно для эффективной работы НСГГМР.

Пределы обнаружения элементов рассчитывались в процессе определения точности РРАП (критерий 3σ): Ag 1,2 ppm (на ГСО-3029; аттестованное содержание  $C_{Ag} = 2,1$  ppm), Cd – 1,35 ppm (ГСО-4822 ДВГ;  $C_{Cd} = 5,0$  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. В Казахстане аналогичных результатов по Ag не получал никто.

Результаты производственного испытания спектрометра РПП-12 на руде, находящейся в транспортных емкостях, приведены в табл. 3.

Результаты производственных испытаний спектрометра РПП-12 на шлакоотвале медьзавода ПО «Балхашцветмет»: а) промер профилей (59 шт.) на шлакоотвале – средние содержания меди 0,561 % (РПП-12) и 0,568 % (химанализ; пробы отобраны методом вычерпывания); б) вторичная переработка шлака из шлакоотвала в течение одного календарного месяца (отгрузка шлака велась по данным РПП-12): средние содержания металлов: Cu – 0,622 % (РПП-12) и 0,614 % (слив классификатора обогатительной фабрики) при размахе мешающих компонентов: Zn (2 ÷ 7 %), Pb (0,5 ÷ 3 %), Fe (20 ÷ 40 %). В течение нескольких лет РПП-12 уверенно определял 0,25±1,0 % Cu на фоне очень «тяжелой» матрицы: Pb≤15,0 %, Zn≤15,0 %, Fe≤45 %. Для EDXRF спектрометра с пропорциональным детектором – это прекрасный результат.

В работе [13] приведены результаты сопоставления средних содержаний меди в товарной руде рудников подземной добычи ПО «Жезказганцветмет» за 2004 год, рассчитанные по



Таблица 2. Результаты ПРАП ГСО руд с различных полиметаллических месторождений Казахстана (числитель – РЛП-21, знаменатель – аттестованные содержания)

ГСО	Тип руды (месторождение)	Содержание металлов, % (* – ppm)							
		Cu	Pb	Zn	Ag*	Cd*	Fe (As)	Ba (Ca)	Mo (Mn)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2887	Медистый песчаник (Жезказган)	0,56	0,040	0,012	9,2		2,83		
		0,55	0,037	0,011	9,3		2,86		
2888	Медистый песчаник (Жезказган)	1,55	0,107	0,022	25,8		2,88		
		1,55	0,103	0,023	25,9		2,92		
2889	Полиметаллическая (Жезказган)	3,16	1,90	0,80	34,8	70,2	2,64		
		3,16	1,90	0,80	35,0	71,0	2,64		
2891	Концентрат медный (Жез- казган)	40,45	2,27	2,86	708,2	291,3	5,76		
		40,40	2,25	2,89	707,7	290,0	5,78		
3029	Медно-порфировая (Коунрад)	0,31			1,8		3,06		0,0080
		0,30			2,1		3,11		0,0086
3030	Скарновая Cu – Mo (Саяк – 3)	0,38			8,9		13,94	(13,71)	0,38
		0,39			8,6		13,84	(13,62)	0,38
3031	Скарновая Cu – Mo (Саяк – 3)	3,34			38,2		15,02	(19,99)	0,18
		3,37			37,4		15,17	(20,18)	0,18
3032	Скарновая Au – Co (Саяк – 4)	0,58			4,3		22,31	(12,27)	(0,56)
		0,58			4,5		22,20	(12,21)	(0,54)
4885	Скарновая медная (Саяк – 3)	1,98			7,5		15,82	(20,95)	(0,29)
		1,98			7,3		15,90	(21,40)	(0,28)
1433	Барит-полиметалл. (Ачисай)	0,29	0,71	0,51	14,3	17,8	0,96	46,13	
		0,29	0,70	0,52	14,0	18,0	0,94	46,00	
1434	Барит-полиметалл. (Миргалимсай)	0,35	3,49	0,053	78,8	0,80	1,09	42,88	
		0,35	3,44	0,060	78,0	-	1,14	43,02	
1435	Барит-полиметалл. (Байжансай)	0,13	2,63	3,30	49,2	161,0	4,52	17,58	
		0,13	2,66	3,32	50,0	160,0	4,63	17,75	
3593	Полиметаллическая (Майкаин )	1,01	0,26	4,69	20,6	162,0	(0,079)	6,50	
		0,99	0,27	4,63	20,9	162,8	(0,080)	6,80	
3596	Колчед.-барит-полимет. (Майкаин)	12,99	0,57	1,18	153,9	51,8	(1,21)	25,17	
		13,10	0,56	1,22	155,4	52,5	(1,21)	25,00	
6588	Барит-полиметалл. (Жайрем)		1,60	4,62	13,9	130,4	0,39	3,64	
			1,57	4,68	13,7	130,0	0,42	3,67	
6587	Барит-полиметалл. (Жайрем)	0,026	2,85	2,73	61,6	122,8	33,35	2,62	
		0,019	2,86	2,72	60,2	120,0	33,60	2,50	
4322	Дальневосточные магматич. породы	0,004	0,007	0,21	0,6	5,1	(0,061)	0,004	0,027
		0,004	0,009	0,20	0,40	5,0	(0,060)	0,007	0,026
32	Медистый песчаник (Жезказган)	0,033			0,50				
		0,035			0,64				
84	Медистый песчаник (Жаман – Айбат)	0,11			10,2				
		0,11			10,4				

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
85	Полиметаллическая (Жаман – Айбат)	0,36	0,20	0,15	1,4	34,6			
		0,38	0,21	0,15	1,5	35,0			
86	Полиметаллическая (Жаман – Айбат)	0,72	0,60	0,42	3,5	161,2			
		0,73	0,62	0,41	3,9	160,0			
185	Марганц. окисл. (Жезды)		0,13	0,051			1,14	(18,31)	(21,61)
			0,122	0,047			1,11	(18,50)	(21,46)
5404	Марганц. сульф. (Жезды)		0,17	0,17			6,74	(3,32)	(33,93)
			0,15	0,16			6,68	(3,37)	(34,12)

Таблица 3. Результаты производственной апробации промежуточного варианта системы on-line контроля качества руды в транспортных емкостях

Показатель	Ед. изм.	Кол-во
Опробовано составов (по 10 вагонеток ВГ-12)	шт.	1065
Опробовано руды	т	280 912
Среднее содержание меди по РПП-12 (новая технология)	%	0,646
Среднее содержание меди по РЛП-21 (старая технология)	%	0,639

данним вагонного опробования ОТК (1,07 %), РРОЗ (1,02 %) и слива обогатительных фабрик (0,96 %). Такие сопоставления ведутся с 1988 года, и всегда данные РРОЗ гораздо ближе к данным слива, чем вагонное опробование ОТК.

### Обсуждение результатов

Производственная апробация промежуточного варианта системы on-line контроля качества руды в транспортных емкостях показала, что продолжительность цикла «отбор пробы – результат» реально сократить с 7÷8,5 часов до 35÷40 мин. Это дало возможность оперативно: регулировать процесс откатки руды рельсовым транспортом с целью выхода на плановое содержание меди по шахте; фиксировать и оценивать загрязнение руды сорта «медная сульфидная» свинцом и цинком; регулировать процесс откатки руды дизельным автотранспортом от забоев к рудоспускам с целью переадресовки отбитой породы из забоев на подземные породные склады и отбитой бедной руды из забоев на подземные усреднительные склады.

В окончательном варианте система контроля будет оснащена автоматическими рудоконтролирующими станциями РКС, реализующими РРО в транспортных емкостях и полностью устраняющими влияние «человеческого» фактора на результаты вагонного опробования ОТК. Для подземных рудников ПО «Жезказганцветмет» наиболее оптимальными являются следующие РКС: РА-931 (ООО «Геотех», г. Санкт-Петербург), РКС-КМ (ООО «Технорос», г. Красноярск) и РКС-А-Т (ООО «Радос», г. Красноярск). РА-931 позволяет вести РРО руды в вагонетках и на ленте транспортера на Cu, Pb, Zn и Ag.

Мониторинг валового и элементного состава руд посредством данных РРАП на спектрометрах РЛП-21 позволил впервые поставить на поток определение массовых долей Ag и Cd

в рудах. ОТК рудничной промышленной площадки приступил к формированию суточного отчета по добыче Ag по данным РРА вагонных проб, а не по результатам анализа декадных и месячных объединенных проб. Достоверность суточного отчета добычи Ag выросла существенно. Формирование банков данных о характере распределения Ag и Cd в рудопотоках всех уровней позволило повысить надежность процесса прогнозирования добычи этих металлов в рудах [14].

### Выводы

В результате совокупности методических и аппаратурных разработок, организационных решений удалось выполнить перечисленные далее мероприятия.

1. Обеспечить РРОЗ и РРАП статус основного инструмента геологического мониторинга элементного и валового состава руд разведочных и добычных работ на подземных рудниках горных предприятий и обогатительных фабрик «Жезказганцветмет», «Балхашцветмет» и «Карагандацветмет» и, тем самым, завершить создание НСГГМР.

2. Расширить возможности геологического мониторинга геологоразведочных работ: выявление в рудах месторождений новых элементов (молибден, Кусмурын и Акбастау; стронций и тантал, Таскура; иттербий, красноцветные безрудные песчаники Жезказгана); вынос на паспорта разведочных скважин содержаний Cu, Zn, Pb, Ag, Cd, Mo, In, Se, Co по данным РРА проб; вынос на геологические разрезы содержаний Cu, Zn, Pb, Fe по данным РРО забоев; принятие решения о дальнейшей проходке разведочных скважин только по данным РРО керн.

3. Перейти на новую методику вывода забоев из добычи: забой, вышедший за контуры балансовых руд по Cu, переопробуется пунктирно-бороздовым способом и направляется на РРАП на Ag; если содержание Ag окажется выше среднего по шахте, то забой остается в добыче.

4. Наполнить конкретным содержанием подпрограммы «комплексное использование минерального сырья» и «экологический мониторинг» в рамках НСГГМР. В частности, по результатам РРАП промпродуктов Сатпаевской обогатительной фабрики №3 (табл. 4), впервые получены не только данные о средних содержаниях элементов, но и графики изменений содержаний элементов в суточных и месячных пробах, рассчитаны коэффициенты парной корреляции элементов, другие показатели качества.

Таблица 4. Мониторинг элементного и вещественного состава промпродуктов СОФ-3

Содержание металлов, % (* – ppm)									
Cu	Pb	Zn	Ag*	Cd*	W*	Bi*	As*	Ti	Fe
1. Концентрат (мониторинг ведется с 18.12.2001 г., объем выборки – 2664 пробы)									
27,04	3,65	7,20	472,5	1233,9	1420	240	1160	0,27	6,12
2. Исходная руда (с 17.04.2002 г., 2460 проб)									
1,21	0,189	0,416	22,5	65,6	85	20	39	0,31	2,77
3. Хвосты (с 25.08.2003 г., 1979 проб)									
0,122	0,030	0,111	3,5	16,2	33	20	18	0,31	2,62

5. Повысить надежность текущего планирования, эффективность контроля, оперативность корректировки процесса добычи руд и металлов, эффективность контроля за отгрузкой товарной руды, как по профильному рудному компоненту, так и по всему списку основных и сопутствующих рудных компонентов, включая Ag, Cd, Mo, Co, Se, In [15].

6. Апробировать промежуточный вариант использования РРО в транспортных емкостях в режиме on-line и показать, что использование автоматических РКС имеет серьезную производственную перспективу.

7. Создать на базе РРОЗ и РРАП надежную систему формирования оперативно обновляемых банков данных о валовом и элементном составе руд в границах шахтных полей и в рудопотоках всех уровней, способную стать краеугольным камнем новой концепции технического перевооружения рудников Жезказгана. Вариант такой системы подробно рассмотрен в работе [16].

### Список литературы

1. Ломоносов Г.Г., Жигалов М.Л. Основные принципы управления качеством руд на подземных рудниках // Горный журнал. – 1991. – № 2. – С. 21-23.
2. Младенцев Г.Д., Ефименко С.А., Яковец А.Ф. Применение рентгенорадиометрического метода для экспрессного опробования руд на Джекказганском комбинате // Цветная металлургия. – 1978. – № 19. – С. 38-40.
3. Ефименко С.А., Яковец А.Ф. Методы опробования руд на шахтах Жезказгана // Разведка и охрана недр. – 1983. – №1. – С. 51-52.
4. Ефименко С.А. О возможности рудосортировки в процессе отбойки руды по системе “камера – целик” с использованием данных рентгенорадиометрического каротажа скважин // Обогащение руд. – 1990. – № 3- 4. – С. 3-4.
5. Фролов Ю.В., Поддубов А.А., Ефименко С.А. Рентгенорадиометрический анализ руд и продуктов переработки на сопутствующие элементы // Обогащение руд. – 1990. – № 6. – С. 30-31.
6. Классификация методов анализа минерального сырья по точности результатов. Отраслевой стандарт ОСТ-41-08-205-04 (старые редакции: ОСТ-41-08-205-81, ОСТ-41-08-205-99). – М: ВИМС, 2004. – 42 с.
7. Ефименко С.А. Ядерно-геофизическое опробование как средство управления качеством руд на шахтах и карьерах АО «Жезказганцветмет» // Цветная металлургия. – 1994. – № 4-5. – С. 2-5.
8. Ефименко С.А., Портнов В.С. Математические аспекты программного обеспечения рентгенофлуоресцентного переносного спектра РПЛ-12 // Геодинамика и глубинное строение. Тепловое поле Земли. Интерпретация геофизических полей. Пятые научные чтения Ю.П. Булашевича (6 июля 2009 г., ИГФ УрО РАН). – Екатеринбург, 2009. – С. 185-189.
9. Ефименко С.А., Лезин А.Н. Рентгенорадиометрический полевой прибор РПП-12 // Приборы и техника эксперимента. – 2008. – № 5. – С. 161-162.
10. Ефименко С.А., Лезин А.Н. Рентгенорадиометрический лабораторный прибор РЛП-21 // Приборы и техника эксперимента. – 2009. – № 1. – С. 180-181.
11. Ефименко С.А. Применение ядерно-геофизических технологий опробования руд на рудниках ТОО «Корпорация Казахмыс» // Геология и охрана недр. – Алма-Ата. – 2008. – № 2 (27). – С. 84-89.

12. Ефименко С.А. Применение ядерно-геофизических технологий опробования руд в ТОО «Корпорация Казахмыс» // Горный журнал Казахстана. – 2009. – №1. – С. 8-12.
13. Ефименко С.А. Многофункциональная рентгенорадиометрическая система рудо-подготовки для шахт ПО «Жезказганцветмет» // Труды КарГТУ. – Караганда. – 2008. – № 1. – С. 54-59.
14. Ефименко С.А. Ядерно-геофизические технологии как инструмент изучения особенностей распределения серебра в рудопотоках всех уровней шахт ПО «Жезказганцветмет» и продуктах их переработки // Материалы международной научно-практической конференции «Сатпаевские чтения: геология, минералогия и перспективы развития минерально-сырьевых ресурсов» (16-14 апреля 2009 г.). – Алматы: ИГН РК, 2009. – С.322-329.
15. Ефименко С.А. Опыт применения ядерно-геофизических технологий опробования руд в ТОО «Корпорация Казахмыс» // Доклады Международной научно-практической конференции «Ядерно-геофизические, полевые, скважинные и аналитические методы при решении задач поиска, разведки и разработки месторождений твердых полезных ископаемых» (27-29 мая 2009 г., г. Октябрьский, РБ). – М: ГНЦ РФ ВНИИгеосистем, 2009. – С. 215-230.
16. Ефименко С.А. Новая концепция технического перевооружения рудников Жезказганского комплекса компании Kazakhmys LLC с использованием ядерно-геофизических технологий // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. – Красноярск, 2008. – Т. 1. – № 2. – С. 117-125.

## **X-ray Radiometricalic Approbation of Copper Ores of Kazakhstan Deposits**

**Sergey A. Efimenko<sup>a</sup>, Vasilii S. Portnov<sup>a</sup>,  
Asel K. Tursunbayeva<sup>b</sup> and Aliya D. Maussymbayeva<sup>a</sup>**

<sup>a</sup> *Karaganda State Technical University,  
56 B. Mira, Karaganda, 100027 Kazakhstan*

<sup>b</sup> *Kazakhmys Corporation, Management of Mountain Works,  
1 Metallurgov sq., Zhezkazgan, 100600 Kazakhstan*

---

*Polymetallic type of metalizing process of copper ores Zhezkazgansky, Sayansky, Koundradsky, Nurkazgansky and other deposits, an intensification extract works as underground, open way, the control of the maintenance of copper and associating elements, application of geophysical approbation with using power disperse x-ray-fluoriscntle, portable, laboratory and logging operated spectrometers of type XRPD-12, XRLD-21, XRDGSD-1, providing the analysis to 34 elements (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).*

*Set of methodical and hardware workings out has provided the status x-ray radiometrical approbations (XRR) as basic tool of geological monitoring prospecting and extract works. By XRR results in ores of deposits new elements (Mo on a deposit of Kusmuryu and Akbastau; Ta, Sr Toskura, etc.) were revealed. Consideration of monitoring possibility behind prospecting works providing formation of passports of prospecting chinks under maintenance Cu, Zn, Pb, Ag, Cd, Mo, Se, Co; Increasing of reliability of operational planning, conducting prospecting, extracting works and the control over*

*shipment of commodity ore under all list of the basic and accompanying ore components extorting Zn, Ag, Cd, Mo, Se, Co. Using of XRRRA in transport capacities in a mode «on-line» was tested. On the basis of XRRRA created the reliable system of operatively updated data about total and element structure of ores in borders of mine fields and in different level of ore streams, for a substantiation of the mines modernistic new conception of ALL « Kazahmys Corporation».*

*Keywords: Copper ores, Kazakhstan deposits, x-ray radio metrical, method, elements, conception, ore analysis, technology, nonferrous metal, spectrometer, device, extraction.*

---