Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им.Г.В.Плеханова,
1987, т. 111

УДК 543.53 + 519.442

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНО-УПРАВЛЯЕМЫХ РЕНТГЕНОРАДИОМЕТРИЧЕСКИХ АНАЛИЗАТОРОВ ДЛЯ ОПРОБОВАНИЯ РУД СЛОЖНОГО СОСТАВА

В.А.МЕЙЕР, Г.А.ИВАНЮКОВИЧ,
А.Н.БАРАНОВ, А.Н.ЖУКОВСКИЙ

Для реализации потенциальных возможностей рентгенорадиометрического анализа с полупроводниковыми детекторами (ППД) целесообразно использовать программно-управляемую измерительную технику, в которой основные операции по сбору и обработке информации выполняются под управлением микропроцессоров или микроЭВМ. Это позволяет реализовать сложные и разнообразные алгоритмы расчетов и оперативно менять программу обработки применительно к новым задачам, кроме того, большой объем памяти, наличие встроенных запоминающих устройств существенно снижает трудоемкость операции по камеральной обработке. Ниже рассмотрены принципы построения и опыт применения программно-управляемых рентгенорадиометрических анализаторов для изучения руд сложного состава.

С т р у к т у р а а н а л и з а т о р о в. В принципе с помощью ЭВМ решаются все задачи, связанные с анализом информации, которая поступает от детектора, но в этом случае ЭВМ выполняет в основном простейшие операции: ответ на прерывание, вызов ячейки памяти, добавление к содержимому ячейки единицы, засылка в память результата, возврат из прерываний и другие. Необходимость выполнения пусть и простейших, но многочисленных операций увеличивает время обработки и приводит к дополнительным просчетам даже при небольшой частоте сигналов от детектора. Поэтому часть задач, связанных с обработкой данных, целесообразно решать аппаратными средствами.

Приборы, рассчитанные на работу в стационарных условиях или в составе подвижной лаборатории, могут разрабатываться на базе серийных спектрометрических средств и микроЭВМ. Комплекс, подготовленный в Ленинградском университете, включает полупроводниковый детектор БДРК-2 с усилителем и блоком питания, амплитудный анализатор АИ-1024 и микроЭВМ "Электроника-ДЗ-28". Совместная работа анализатора и ЭВМ обеспечивается специализированным устройством связи, с помощью которого информация переписывается из памяти АИ-1024 в ЭВМ.

Условия работы в горных выработках накладывают жесткие ограничения

на габариты и массу приборов, потребляемую мощность и продолжительность измерений. При опробовании вначале оперативно оконтуривают рудную зону по содержанию основного промышленного компонента, а затем проводят детальные измерения с учетом установленных особенностей строения рудной зоны. Окончательная обработка результатов опробования, определение границ промышленных интервалов и подсчет запасов проводят в лабораторных условиях.

Аппаратура включает две части: переносную, рассчитанную на проведение измерений в выработках, и стационарную, для обработки данных в лаборатории. В состав переносной части входят ППД, охлаждаемый жидким азотом, 7-канальный амплитудный анализатор, встроенная электронная память для хранения результатов опробования емкостью 8 килобайт, цифровое табло, на которое выводится оперативная информация о содержании одного из определяемых элементов и номер измерения. Время автономной работы детектора без дозаправки азотом около 7 ч. Масса прибора с блоком детектирования и аккумуляторами около 10 кг.

При опробовании допускается два режима измерений. В первом регистрируется отношение скоростей счета в двух выбранных энергетических интервалах. Режим обеспечивает оперативное оконтуривание промышленного оруденения. Получаемая информация во встроенную память прибора не заносится. Во втором режиме проводится детальное опробование. В память прибора заносится число импульсов, зарегистрированных в каждом канале, а также номер точки. Формат представления данных: по одному байту на номер серии и номер замера в серии, по два байта – на число импульсов в канале. Объем встроенной памяти обеспечивает запись 512 измерений. Возможное время измерений 2, 4, 8 и 120 с.

В стационарную часть входят микро ЭВМ "Электроника ДЗ-28" и устройство связи для переписи информации из памяти переносного пульта в ОЗУ машины.

Аппаратура для опробования выработок разработана Рижским научно-исследовательским институтом радиационного приборостроения (Б.Н.Вейц, В.А.Скакодуб, Ю.В.Ключинский, В.Я.Григолис) при участии кафедры ядерной геофизики Ленинградского университета.

Особенности математической обработки данных. Обычно при рентгенорадиометрическом опробовании (РРО) ограничиваются определением содержаний элементов. С помощью ЭВМ можно оперативно оценить не только содержания элементов, но и геолого-геохимический тип оруденения. Прежде всего это необходимо для повышения точности опробования. Дело в том, что при РРО ряд факторов (текстурно-структурные особенности руд, их минералогический состав и др.) не контролируется. Учет их влияния основан на выделении типов руд по данным геологической документации и градуировании аппаратуры в соответствующих условиях. Выделение типа руды может иметь и самостоятельное значение, когда от типа руды зависят ее технологические свойства.

При работе с малоканальными амплитудными анализаторами для характе-

ристики типа руды можно использовать совокупность признаков, отражающих особенности оруденения, – величины, пропорциональные содержаниям определяемых элементов, и (или) их отношения. Принадлежность пробы к тому или иному типу руды определяется по минимальному значению меры расхождения признаков пробы с эталонами типов руд:

$$M_S = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^{p} (x_j - x_{sj})^2 / (x_j + x_{sj}),$$

где M_s – мера расхождения с S-м эталоном; x_j и x_{sj} – значение j-го признака на точке и для S-го эталона соответственно; p – число признаков.

При работе с многоканальными анализаторами в качестве обобщенной характеристики руды можно использовать форму наблюдаемых спектров. Как и в предыдущем случае, проба относится к определенному типу по минимальному значению расхождения спектра пробы и эталонных спектров типов руд, которые рассматриваются как некоторые статистические совокупности.[x]

Возможности при определении низких содержаний элементов. Стационарная аппаратура с ШД была применена для опробования шлама разведочных скважин с сереброполиметаллического месторождения. Флуоресценция элементов возбуждалась бариевой мишенью, облучаемой источником ^{241}Am. Условия возбуждения обеспечивали одновременное определение элементов от железа до индия. Возможности метода при определениях серебра – наиболее трудного элемента при РРО, показаны на рис.1. Разброс точек на графике отражает погрешность определений содержаний и влияние неравномерности распределения металла в пробах, поскольку анали-

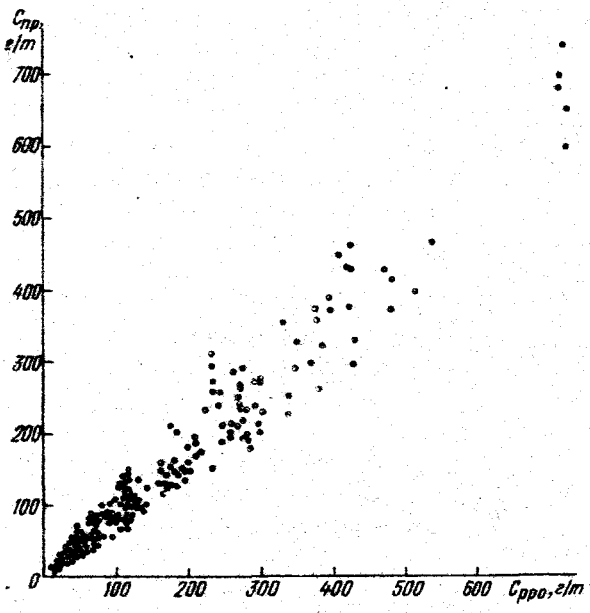


Рис.1. Результаты сопоставлений данных РРО ($C_{ррр}$) шлама разведочных скважин с пробирным анализом ($C_{пр}$)

[x] Баранов А.Н., Иванюкович Г.А., Мейер В.А. Распознавание геолого-геохимических типов руд по форме спектра вторичного рентгеновского излучения. – Вестник ЛГУ. Серия геология и география, 1984, № 12, с. 93–96.

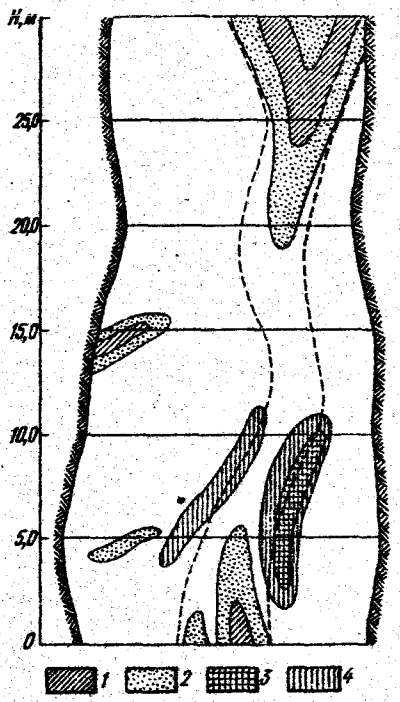


Рис.2. Схема расположения рудных тел по результатам РРО очистной ленты эксплуатационного блока
1 и 2 – богатая и бедная серебряные руды; 3 и 4 – богатая и бедная свинцовые руды; *H* – глубина опробования

зировался необработанный шлам. Предел обнаружения серебра составлял 8 г/т. Погрешность определений во всех классах содержаний не превышала погрешности традиционного геологического опробования. Для более легких элементов (меди, цинка и др.) предел обнаружения составил около 0,01 %.

Оперативное картирование руд. Ниже рассмотрены результаты РРО серебросвинцовых руд в условиях естественного залегания с помощью переносимой аппаратуры. Как и при опробовании шлама флуоресценция возбуждалась бариевой мишенью, облучаемой источником ^{241}Am. По данным РРО в рудной зоне выделяются следующие геолого-геохимические типы руд (рис.2). Собственно серебряное оруденение с высокими содержаниями серебра и крайне низкими содержаниями свинца и цинка встречено как в пределах кварцево-полевошпатовой жилы, так и во вмещающих породах. Свинцовое оруденение со средними и высокими содержаниями свинца и низкими концентрациями цинка и серебра приурочено к флангам кварцево-полевошпатовой жилы. Из полученных данных следует, что серебряное и свинцовое оруденение генетически, видимо, не связаны.

Приведенный фрагмент картирования руд по данным РРО позволяет сделать важные практические выводы. Даже в пределах одного рудного пересечения серебро может встречаться в разных минеральных ассоциациях, для каждой из которых характерен свой градуировочный график. Поэтому выделение типов руд по РРО обязательно. С целью сокращения потерь металла желательно отработку блока вести селективно, выделяя собственно серебряное и полиметаллическое оруденения.

Определение основного промышленного компонента по содержанию сопутствующих элементов. Возможности рентгенорадиометрического метода при решении указанной задачи показаны на примере анализа проб одного из золоторудных месторождений. Концентрации золота определялись с помощью пробирного анализа. На лабораторной рентгенорадиометрической установке с ППД определялись аналитические параметры, пропорциональные концентрациям Fe, As, Sr, Y, Zr, Sn, Sb, Ba, Ce. Выяснилось, что Fe, As, Sr коррелируют с золотом положительно, а Zr и Ba – отрицательно.

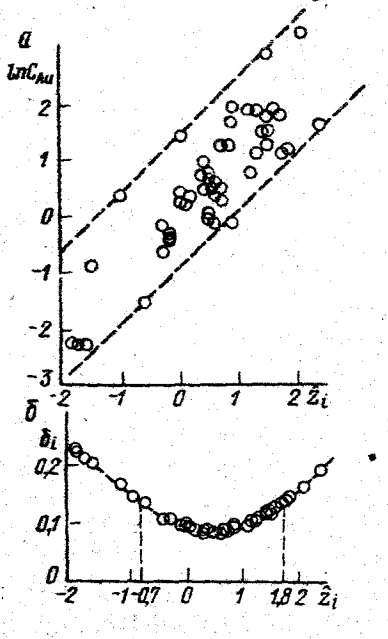


Рис.3. Корреляционная зависимость между параметром $\hat{Z}_i = f(Zr, As/Zr, Sr/Zr)$ и содержанием золота C_{Au} по данным пробирного анализа (а) и погрешность определений содержания золота δ_i в зависимости от $\hat{Z}_i$ (б)

Наилучшими для множественной регрессии признаками оказались Zr, As/Zr и Sr/Zr (рис.3,а). Добавление Fe или Fe/Zr не повышало точности оценки по уравнению регрессии. Коэффициент корреляции между указанными величинами $r = 0,85$, число проб $n = 49$. В интервале 0,5–6,5 г/т относительная погрешность определения концентраций золота по уравнению регрессии составляет менее 30 %; минимальная погрешность около 20 % (рис.3,б).

Приведенный материал подтверждает возможность определений золота, начиная с содержаний около 0,5 г/т. Нужно отметить, что потенциальные возможности РРМ в этом отношении еще не исчерпаны. Для повышения точности количественных оценок можно предварительно разделять руды на типы, используя данные РРО, а дальнейший расчет содержаний золота выполнять уже с учетом типа руды.

Приведенные материалы показывают, что программно-управляемые рентгенорадиометрические анализаторы с полупроводниковыми детекторами значительно расширяют возможности метода. Предел обнаружения элементов удается снизить до нескольких граммов на тонну. Одновременно повышается точность опробования. Имеются предпосылки для определений с помощью этой аппаратуры таких элементов как золото по корреляции с другими элементами.