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

УДК 550:835

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ЛИТОХИМИЧЕСКИХ ПРОБ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА РЕЗУЛЬТАТЫ РЕНТГЕНОРАДИОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Ю.О.КОЗЫНДА, В.Ю.СЕНЬКИН

В последнее десятилетие при поисках и разведке месторождений цветных, редких и благородных металлов интенсивно развивается и находит широкое применение в практике геохимических поисков рентгенорадиометрический метод анализа (РРА) [2-6]. Достоинства РРА неоспоримы:

1) высокая оперативность выявления геохимических аномалий в полевых условиях, что позволяет существенно повысить эффективность геохимических поисков и сократить сроки проведения работ;

2) возможность оперативного планирования и корректировки мест заложения горных выработок и скважин;

3) существенное уменьшение количества проб на основе предварительной разбраковки их на аномальные (неаномальные), что позволяет уменьшить объем аналитических работ на 40-50 %.

Таким образом, разработка и широкое применение РРА оптимизируют процесс геохимических поисков.

При поисках по потокам и вторичным ореолам рассеяния со сложными геологическими и ландшафтно-геохимическими условиями необходимо учитывать ряд мешающих факторов, осложняющих применение РРА.

Основная сложность РРА низких концентраций рудных элементов заключается в правильном учете фона в аналитическом канале спектрометра. Вариации фона обусловлены изменением вещественного состава проб, их плотности. Вещественный состав определяется содержанием в пробе кремния, железа, кальция, органического материала. Для оценки влияния матричного эффекта подготовлены стандартные образцы и массив геохимических проб, отобранных при разработке методики геохимических поисков рудных месторождений Южного Верхоянья, приуроченных к флишоидным и черносланцевым формациям карбона - нижней перми. Руды месторождений представлены неравномерно прокварцованными минерализованными зонами дробления и перетирания (первый тип руд) и кварцевыми жилами с рудной минерализацией. Вмещающими породами являются нижнепермские алевролиты.

Магматические образования на площади работ представлены штоками габбро-диоритового состава и гранодиоритов и развиты слабо. Оруденение в пределах последних связано с пластовыми и пологосекущими кварцевыми жилами с теллур-висмут-вольфрамовой минерализацией, располагающимися в песчанистых

алевролитах (второй тип руд). Минеральный состав руд представлен арсенопиритом, пиритом, галенитом, сфалеритом, блеклыми рудами, буланжеритом, джемсонитом, молибденитом, шеелитом, касситеритом, висмутовыми минералами. Характеристика горных пород представлена в табл.I и 2.

Таблица 1

Химический состав горных пород рудных полей Южного Верхоянья, % по массе

Химическое соединение	Алевролиты	Гранодиориты	Габбро-диориты
SiO_2	59,8-60,9	67,0	55,9
TiO_2	0,72	0,5	1,1
Al_2O_3	15,5-16,2	15,5	17,7
Fe_2O_3	0,7-0,8	0,7	0,8
FeO	4,6-5,2	3,9	6,6
MnO	-	0,1	0,1
MgO	1,6-1,9	0,3	2,8
CaO	1,1-2,6	4,0	6,1
Na_2O	1,9-2,4	3,8	3,4
H_2O	-	2,4	2,7
P_2O_5	-	0,8	0,6
K_2O	3,3-3,4	-	-

Таблица 2

Содержание рудных элементов в горных породах и рудах, 10^{-3} %

Рудные элементы	Вмещающие породы	Коэффициент концентрации в руде
As	8,0/10-120	100/15
Zn	6,5/10-27	30/9
Pb	2,2/2,1-7,0	100/2
Cu	5,2/2,5-6,2	6/4
W	0,2/1,0	1,5/233
Sb	0,25/0,5	1000/36
Sn	- /0,7-1,0	- /2

Примечание. В числителе - оруденение первого, в знаменателе - второго типа.

Во вторичных ореолах и потоках рассеяния сохраняется комплекс элементов, характерных для рудных зон, с понижением коэффициента концентрации в несколько раз. Характерны следующие ассоциации элементов в порядке убывания коэффициента концентрации: As, Sb, Pb, Zn, Cu (зоны дробления и кварцевые жилы); W, Bi, As, Pb, Zn, Cu, Sn, Mo (в контакте штока гранодиоритов).

С позиций РРА-анализа при поисковых работах целесообразно определять As, Pb, Sb. Аномальные содержания W, Bi, Sn и Mo обычно не превышают $(5-10)\cdot10^{-4}$ % и рентгенорадиометрическим анализом с помощью аппаратуры РРК-103 или РРК-102 не определяются. Медь и цинк создают весьма слабоконтрастные ореолы и слабо информативны при поисках месторождений подобного типа.

При анализе низких содержаний элементов в процессе геохимических поисков, когда определяющим становится достижение возможно более высокого порога чувствительности, вещественный состав литохимических проб может оказать решающее влияние на качество РРА.

Как показал опыт работ [2,3,6], эффективный атомный номер горных пород может изменяться за счет переменных концентраций органического материала, кальция, железа (в приконтактовых зонах интрузивных массивов) и воды.

Характер взаимодействия фотонного излучения с горной породой зависит от ее плотности и вещественного состава. Плотность определяет линейный коэффициент ослабления фотонного излучения в горной породе и ее влияние эффективно устраняется инверсионным μ/ρ -зондом [1]. Вещественный состав, характеризуемый эффективным атомным номером $Z_{эф}$, определяет массовый коэффициент ослабления излучения.

В табл.3 показаны значения плотности и $Z_{эф}$ горных пород и литохимических проб, использованных нами. Расчет $Z_{эф}$ проведен по формуле [1]:

$$Z_{эф} = \sqrt{\frac{2}{m_\gamma}\sum_{i=1}^{n} Z_i^4\, p_i / A_i}\,,$$

где Z_i, A_i, p_i - соответственно атомный номер, атомная масса и массовая доля элемента с номером i, $m_\gamma = 2\sum_{i=1}^{n} Z_i\, p_i / A_i$.

Эффективный атомный номер неизменных горных пород и руд варьирует в небольших пределах (11,6-14,1), что при рентгенорадиометрическом опробовании в условиях естественного залегания является весьма благоприятным фактором и упрощает методику измерений.

Ядерно-физические свойства литохимических проб, отобранных в процессе поисков по потокам или вторичным ореолам, варьируют весьма широко: эффективный атомный номер изменяется от 7,0 (органический материал) до 14,6 (аллювий и элювий-делювий габбро-диоритов), плотность - в 3 раза. Диапазон изменения плотности находится в границах значений ρ для инверсионного зонда [1]. Как показали наши опытно-методические работы, такое изменение $Z_{эф}$ среды требует особого рассмотрения.

Для экспериментального изучения влияния $Z_{эф}$ применен набор стандартных порошковых образцов, изготовленных на основе оксида кремния ($Z_{эф}$ = 11,6) с различными концентрациями органического материала (торф), Fe_2O_3 и $CaCO_3$, As (арсенопирит). Плотность порошковых стандартов составила от 0,6 г/см^3 (брикетированный торф, истертый до крупности частиц не более 50 мкм) до 1,8-1,9 г/см^3 (стандарты железа с концентрацией 15-20 %). Размер зерен Fe_2O_3 и $CaCO_3$ составил не более 50 мкм. В процессе истирания перемешивание каждой пробы осуществлялось с помощью механического устройства в течение 20-30 мин.

Таблица 3

Ядерно-геофизические свойства горных пород и руд

Горная порода	ρ, г/см^3	$Z_{эф}$
Неизмененные горные породы		
Алевролиты Дыбинской свиты	2,70	13,1
Гранодиориты	2,82	13,3
Габбро-диориты	-	14,1
Граниты	2,61	13,6
Кварцевые жилы	2,73	11,6
Песчаники	2,61	13,6
Брекчированные руды	2,79	14,7
Кварц-сульфидные руды	3,30	13,7
Карбонатные породы	2,70	15,1
Рыхлый, неуплотненный, сухой обломочный материал алевролитов		
С размером менее 1 мм	1,26/1,07	13,1
Органический материал с концентрацией, %:		
10	1,17/1,00	12,7
30	1,00/0,87	11,9
50	0,83/0,70	10,9
80	0,57/0,53	9,0
100	0/6	7,0
Вода с концентрацией, %:		
10	1,39/1,17	12,8
20	1,51/1,41	12,4
30	1,64/1,39	12,0
40	1,76/1,50	11,5

Примечание. В числителе - аллювиальный материал, в знаменателе - аллювиально-делювиальный.

Геохимические пробы представляли собой рыхлый материал, отобранный из аллювиальных и делювиальных отложений. Пробы высушивали и рассеивали на ситах до крупности зерна I мм и менее. Высушивание позволяет избежать влияния влажности проб на результаты РРА.

Изучение влияния вещественного состава проб проведено с помощью аппаратуры РРК-102 "Минерал-6", зонда БВД-II с пропорциональным счетчиком СИПР-3 (ксенон-метановое наполнение) и источником ^{109}Cd активностью $3 \cdot 10^8$ Бк.

Измерение спектров вторичного излучения проб в диапазоне эффективных атомных номеров наполнителя от 7,0 (торф) до 15,1 (карбонат кальция) пока-

зало, что характеристическое излучение основного элемента – спутника оруденения (мышьяка) изменяется в 7 раз, а величина фона под аналитической линией – в 3 раза. Как показал опыт полевых работ, применение способа спектральных отношений не позволяет полностью компенсировать изменения вещественного состава проб, что ведет к большим погрешностям определения низких концентраций элементов и снижению порога обнаружения элементов. Применение способа спектральной интенсивности в случае определения суммы халькофильных элементов (ХФЭ) и суммы Cu и Zn способом равновесной точки при изменении $Z_{эф}$ от 7 до 15 приводит к тому, что эквивалентная концентрация, определенная с помощью графика градуирования для силикатной основы, завышается на 0,02–0,03 % от суммы ХФЭ. Этот эффект приводит к появлению большого количества ложных аномалий при попадании органического материала в пробу. Применение способа спектральных отношений занижает концентрацию до величины 0,010 %.

Детальное изучение матричного эффекта проведено с помощью комплекта из 80 проб с концентрацией мышьяка 0,3, 0,5 и 1,0 % на основе системы порошковых образцов с крупностью зерна 50–100 мкм и различным $Z_{эф}$. Масса каждой пробы составила 150 г, что позволило проводить измерения в условиях насыщения вторичного излучения.

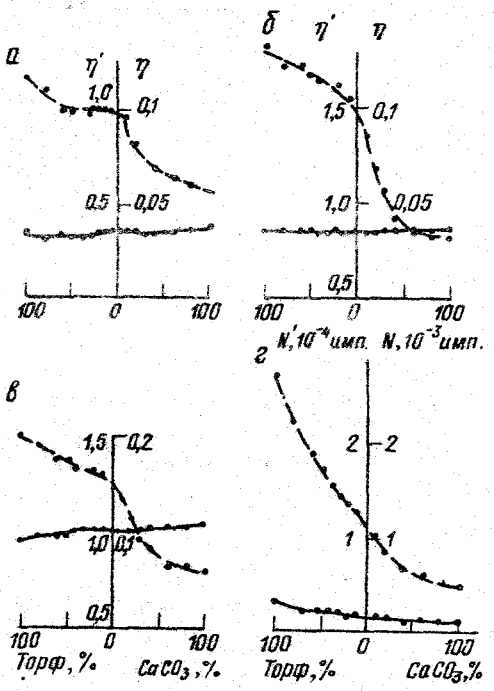


Рис.1. Зависимость спектрального отношения η (а, б и в) и характеристического излучения мышьяка N (г) от вещественного состава проб: а и б – соответственно для насыщенного слоя и геометрии скользящего пучка в энергетическом окне 9,8–11,3 кэВ, в и г – для насыщенного слоя в энергетическом окне 7,5–11,5 кэВ (сумма ХФЭ) η и N – при отсутствии As (сплошная линия); η' и N' – при содержании As, равном 1 % (пунктирная линия).

Измерения проведены в энергетических окнах 7,5–11,5, 9,8–11,3 и 13–21 кэВ. Использование последнего энергетического интервала обусловлено необходимостью компенсации характеристического излучения стронция в карбонатной основе [4].

При способе отношений характеристическое излучение мышьяка увеличивается в 1,6 и 1,1 в диапазоне $Z_{эф}$ = 7÷15 (рис.1,а и б), в способе интенсивности (рис.1,г) в 5,3 и 2,6 раза. В интервале концентраций торфа 0–50 % фоновое спектральное отношение уменьшается на 2 %, а характеристическое излучение (1 % мышьяка) ведет к росту η в 1,03 раза (см. рис.1,в).

Спектральное отношение для энергетического интервала 9,8–11,3 кэВ в геометрии насыщенного

слоя слабо зависит от наличия органического материала в пробе, если концентрация последнего не более 50 % (рис.I,а). При 100 % торфа величина η (I % As) возрастает в I,2 раза, а фоновое спектральное отношение уменьшается на 5 %, что и приводит к появлению отрицательных значений концентраций при отсутствии учета $Z_{эф}$.

Спектральное отношение для случая геометрии скользящего пучка (угол падения первичного излучения на поверхность пробы 7^0) больше зависит от $Z_{эф}$ (рис.I,б), но в том и другом случаях величина фонового спектрального отношения более стабилизирована, чем для варианта суммы халькофильных элементов.

Следует отметить существенное влияние карбонатной основы. Как способом интенсивности, так и способом отношений не удается компенсировать влияние кальция, способ спектральных отношений лишь снижает погрешность определения мышьяка в I,3 раза.

Аналитические зависимости, полученные на пробах с различными величинами $Z_{эф}$ (рис.2), подтверждают предудущие выводы. Изменчивость чувстви-

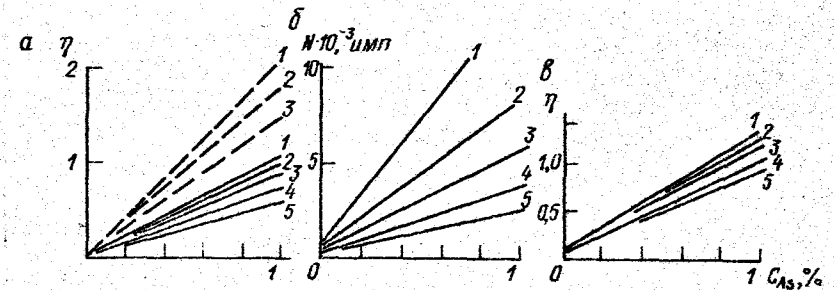


Рис.2. Графики градуирования для окна 7,5-11,5 кэВ (сумма ХФЭ) в варианте равновесной точки (а, б) и окна 9,8-11,3 кэВ (в)
1, 2 и 3 - содержание торфа в кварцевом песке, равное 100, 50 % и нулевое (пунктирные линии - для геометрии скользящего песка); 4 и 5 - содержание $CaCO_3$, равное 60 и 100 %

тельности минимальна в способе спектральных отношений (см. рис.2,а и в), максимальный наклон графиков характерен для геометрии скользящего пучка.

Таким образом, наиболее целесообразно применение способа спектральных отношений как для широкого (сумма ХФЭ), так и для более узких энергетических интервалов спектра. Полностью компенсировать влияние $Z_{эф}$ в широком диапазоне последнего простым способом не удается.

Следует отметить, что растительные остатки содержат, как правило, пробы элювия-делювия. Органический материал характеризуется низкими концентрациями микрокомпонент. Для оценки влияния органической составляющей рассмотрена зависимость содержания As от содержания торфа-разбавителя. Исходные концентрации мышьяка составили 0,004 и 0,046 %. При оценке содержаний способом интенсивности оно оказывается завышенным (рис.3,а), а при способе отношений - заниженным по сравнению с действительными значениями (рис.3,б). Результаты способа спектральных отношений более объективны, ложные аномалии исключаются.

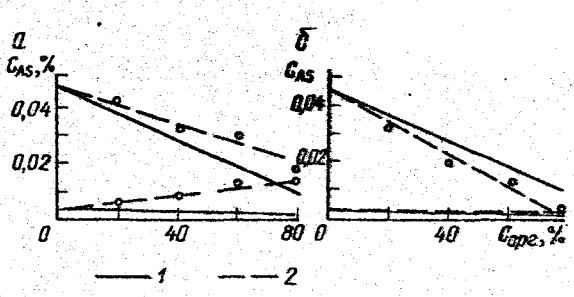


Рис.3. Зависимость концентрации мышьяка от содержания торфа в пробе способом интенсивности (а) и способом спектральных отношений (б)
1 – действительные содержания; 2 – по результатам РРА

Таким образом, качество РРА существенно зависит от качества отбора геохимических проб. Для устранения влияния вещественного состава следует применять способ спектральных отношений, что позволяет избежать ложных аномалий за счет органического материала. Применение способа спектральных отношений нецелесообразно в варианте равновесной точки, так как вариации железа в пробах приведут к дополнительной погрешности РРА. В этом случае нижний порог энергетического окна суммы ХФЭ следует увеличить до 8,5 кэВ. Последняя мера существенно снижает вклад характеристического излучения меди в окно суммы ХФЭ.

В сложных условиях пробоотбора, когда содержание торфа в аллювии или элювиально-делювиальных отложениях изменяется в широких пределах, следует определять $Z_{эф}$ материала и отбраковывать непредставительные пробы.

ЛИТЕРАТУРА

1. А р ц ы б а ш е в В.А. Теория инверсии гамма- и рентгеновского излучения в гамма-гамма-методах. – Геофизическая аппаратура, 1978, вып. 65, с. 99-103.

2. З а й ц е в Е.И., М и л ь ч а к о в В.И., С о к о л о в Л.С. Выявление литохимических аномалий рентгенорадиометрическим методом. Методические рекомендации. М., РТП ИМГРЭ, 1978, 57 с.

3. З а й ц е в Е.И., М и л ь ч а к о в В.И. Опыт использования рентгенорадиометрического метода при геохимических поисках. – Экспресс-информация. "Геологические методы поисков и разведки месторождений металлических полезных ископаемых, 1975, № 7. 22 с.

4. Инструкция по определению содержания суммы халькофильных элементов в ореолах рассеяния рентгенорадиометрическим методом / Под ред. И.В.Томского. Л., изд. НПО "Рудгеофизика", 1973. 75 с.

5. Л е м а н Е.П. Рентгенорадиометрический метод опробования месторождений цветных и редких металлов. Л., Недра, 1978. 232 с.

6. Методические рекомендации по применению рентгенорадиометрических съемок при поисках и оценке рудных месторождений / А.Н.Горбачев, А.В.Горев, В.Н.Митов и др. Л., изд. НПО "Рудгеофизика", 1980. 91 с.