

УДК 543.427.4

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО МЕТОДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СУЛЬФИДНЫХ РУД

**И.В. Хохлова, Т.Г. Кузьмина, И.А. Рощина, Н.Н. Кононкова,  
И.В. Викентьев\***

*ФГБУН Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии  
и аналитической химии им В.И. Вернадского РАН,  
119991 Москва, ул. Косыгина, 19*

*\*ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, петрографии,  
минералогии и геохимии РАН,  
119017 Москва, Старомонетный пер., 35  
khokhlova.i.v@gmail.com*

Поступила в редакцию 24 мая 2012 г., после доработки - 22 августа 2012 г.

Исследована возможность использования рентгенофлуоресцентного метода для определения элементного состава сульфидных руд. Выбраны условия проведения анализа для широкого круга элементов на спектрометре AXIOS Advanced (PANalytical B.V.). Получены градуировочные уравнения. Для снижения пределов обнаружения при определении золота использован метод микропробирного концентрирования на сульфиде никеля. На примере реальных рудных проб, показана хорошая сходимость результатов определений, выполненных рентгенофлуоресцентным и другими методами анализа.

**Ключевые слова:** рентгенофлуоресцентный анализ, сульфидные руды, микропробирное концентрирование, золото.

**Хохлова Ирина Владимировна** - м.н.с., аспирант Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН.

**Область научных интересов:** рентгенофлуоресцентный анализ.

**Количество опубликованных работ** - 16.

**Кузьмина Татьяна Георгиевна** - к.ф.-м.н., с.н.с. Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН.

**Область научных интересов:** рентгенофлуоресцентный анализ, статистическая обработка данных.

**Количество опубликованных работ** - 54.

**Рощина Ирма Адамовна** - к.т.н., с.н.с., зав. сектора рентгеноспектральных методов анализа ЦЛАВ Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН.

**Область научных интересов:** рентгенофлуоресцентный анализ, подготовка проб к анализу.

**Количество опубликованных работ** - 85.

**Кононкова Наталья Николаевна** - к.ф.-м.н., с.н.с. Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН.

**Область научных интересов:** рентгеноспектральный микрозондовый анализ.

**Количество опубликованных работ** - 130.

**Викентьев Илья Владимирович** - д.г.-м.н., зам. зав. лаб. рудных месторождений Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН.

**Научные интересы:** геология и генезис колчеданных месторождений, благородные металлы в сульфидах, метаморфизм руд.

**Количество опубликованных работ** - 273.

### ВВЕДЕНИЕ

Сульфидные руды являются важным источником для получения цветных металлов: Ni, Co, Cu, Zn, Pb, Mo, Bi, Sb и Hg, а также Ba. Во многих суль-

фидных рудах в качестве примесей присутствуют Pt, Pd, Au, Ag, Cd, In, Tl, Ge, Se, Te и As.

В настоящее время с развитием мировой экономики растет спрос на различные виды минерального сырья. Ресурсные базы континентов не

возобновляемы, снижается качество извлекаемого сырья, появляется дефицит полезных ископаемых [1]. Одной из актуальных проблем развитых стран является поиск их альтернативных источников. В частности, появляется острый интерес к изучению глубоководных сульфидных руд океана [2, 3]. Их можно рассматривать как дополнительную ресурсную базу. Согласно сводке [4] содержание в них некоторых элементов значительно выше, чем в континентальных рудах. Так, например, для колчеданных руд континентов характерны следующие примерные диапазоны концентраций для Cu, Zn, Pb, Ag и Au соответственно: 0.6-4.0 % мас., 4-10 % мас., 0.5-12.0 % мас., 10-400 ppm и 2-10 ppm. В то время как для глубоководных сульфидных руд мирового океана диапазоны концентраций этих же элементов равняются: 3.7-28.2 % мас., 2.9-9.2 % мас., 0.8-4.14 % мас., 60-186 ppm и 2.4-10.7 ppm. При этом надо иметь в виду, что имеющиеся данные опробования океанского дна охватывают в основном самые верхние части гидротермальных построек, резко обогащенные цветными и благородными металлами по сравнению с их внутренними частями, последние лишь местами изучены на глубину бурением [5, 6]. В целом, потенциальные ресурсы дна мирового океана составляют: Cu – 619 млн. т, Zn – 303 млн. т, Pb – 123.8 млн. т, Ag – 505 тыс. т, Au – 61.8 тыс. т, что значительно превосходит ресурсы континентальных руд: Cu – 154 млн. т, Zn – 88.4 млн. т, Pb – 19 млн. т, Ag – 316.7 тыс. т, Au – 4.54 тыс. т [4]. В то же время, согласно более осторожным оценкам [7], основанным на полных базах данных по современным глубоководным океаническим проявлениям [8, 9], запасы сульфидов составляют порядка 600 млн. т и содержат 30 млн. т Cu и Zn.

Определение полного химического состава сульфидных руд: петрогенных, рудных и примесных элементов – задача сложная из-за широкого диапазона изменения их концентраций. Это, в свою очередь, требует использования комбинирования различных методов определения элементного состава, что не всегда возможно.

Одним из наиболее перспективных для анализа проб сульфидных месторождений является рентгенофлуоресцентный (РФ) метод. Его преимущество состоит в возможности определения большого круга элементов: Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Sr, Zr, Mo, Ag, Cd, Sb, Te, Ba, Pt, Au, Pb, Bi и пр. из одной навески пробы с применением простых способов подготовки ее к анализу.

С наибольшими проблемами аналитики сталкиваются при разработке методик определения благородных металлов из-за их малого содержания в сульфидных рудах (единицы ppm и менее) и значительных помех матрицы, которые зависят от содержания петрогенных и рудных элементов.

Существует достаточное количество опубликованных работ по рентгенофлуоресцентному анализу руд и продуктов их переработки [10-12]. Но разнообразие исследуемых объектов так велико, что не может существовать единой универсальной методики определения их полного состава.

В данной работе была поставлена задача исследования возможностей РФ метода для анализа широкого круга элементов в сульфидных рудах, в том числе петрогенных элементов и Au.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Работа была выполнена на рентгенофлуоресцентном спектрометре AXIOS Advanced (фирмы PANalytical B.V., Holland), который обеспечивает возможность количественного определения концентраций широкого круга элементов от кислорода до урана в диапазоне  $10^{-4}$  - 100 % мас.. Прибор оснащен рентгеновской трубкой с родиевым анодом мощностью 3 кВт. Измерения проводятся в вакууме. Для регистрации характеристического излучения спектрометр снабжен сканирующим каналом с кристаллами-анализаторами (PE-002-C, PX-1, GeIII-C, LIF-200, LIF-220), которые управляются гониометром, и детектирующим устройством, состоящим из проточного и запаянного пропорциональных счетчиков и сцинтилляционного детектора.

В процессе исследования был разработан вариант РФ методики определения элементного состава сульфидных руд, базирующийся на стандартных образцах состава (СОС) континентальных полиметаллических руд PAC-2, -3, -4, -5, -6, -7, -8, -9, -10, -11 и РУС-1, -2, -3, -4. Этот набор стандартов имеет очень большой разброс концентраций, как рудных и примесных, так и петрогенных элементов. Следует отметить, что эти стандарты аттестованы на следующие элементы: Pb, Cu, S, Zn, Fe, Ba, As, Sb, Cd, Ag, Au, Ge, Ga, Tl, Se, Hg и Bi. Данные по содержанию Mo, Ni, Zr, Cr, Co, и V – полуколичественные. Кроме того, в паспортах приведены ориентировочные концентрации основных порообразующих компонентов  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ , MnO,  $\text{K}_2\text{O}$ , CaO, MgO,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  и Sr. СОС глубоководных сульфидных руд еще не разработаны.

Несмотря на различия в диапазонах концентраций элементов в глубоководных и континентальных сульфидных рудах сходство их минерального состава позволяет использовать имеющиеся СОС для создания РФ методики, которая будет единой для обоих типов руд.

Образцы с известным химическим составом и пробы для анализа были приготовлены путем прессования в таблетки диаметром 40 мм материала, растертого до 200 меш, массой 5 г с использованием в качестве связующего вещества 2 % раствора поливинилового спирта. В табл. 1 перечислены выбранные нами для определения элементы, аналитические линии и условия измерения их интенсивностей.

Таблица 1

Условия возбуждения и регистрации рентгеновской флуоресценции и фона.

Элемент, линия	Кристалл	Детектор	U, кВ / I, мА	Фильтр трубки	Угол ( $^{\circ}2\theta$ )	Точка фона 1*	Точка фона 2*	Время счета, с
Si K <sub>α</sub>	PE 002-C	ПС*	25/120	Нет	109.048		1.650	22
Al K <sub>α</sub>	PE 002-C	ПС	25/120	Нет	144.889	-1.489		22
Ti K <sub>α</sub>	LiF 200	ПС	40/75	Нет	86.178	-0.479	0.398	32
Fe K <sub>α</sub>	LiF 200	ПОС*	30/40	Нет	57.510	-0.917		20
Mn K <sub>α</sub>	LiF 200	ПОС	60/50	Нет	62.984	-0.595		18
K K <sub>α</sub>	LiF 200	ПС	25/120	Нет	136.670	-0.934		32
Ca K <sub>α</sub>	LiF 200	ПС	30/100	Нет	113.125	-0.822		26
Mg K <sub>α</sub>	PX1	ПС	25/120	Нет	22.964	-1.442	0.976	30
Cr K <sub>α</sub>	LiF 200	ПОС	50/60	Нет	69.362	-0.451	0.469	20
S K <sub>α</sub>	Ge 111-C	ПС	25/120	Нет	110.669		1.625	28
V K <sub>α</sub>	LiF 200	ПОС	50/80	Нет	77.218	-0.158	0.117	40
Co K <sub>α</sub>	LiF 200	ПОС	60/50	Нет	52.743	-0.276	0.273	42
P K <sub>α</sub>	Ge 111-C	ПС	25/120	Нет	140.995	-1.031	1.017	22
Ni K <sub>α</sub>	LiF 200	ПОС	60/50	Нет	48.642	-0.501	0.549	16
Cu K <sub>α</sub>	LiF 200	ПОС	60/50	Нет	45.013	-0.720		14
Zn K <sub>α</sub>	LiF 200	СС*	30/20	Al (200 μm)	41.767	-0.940		20
Se K <sub>α</sub>	LiF 200	СС	60/50	Нет	31.853	-0.221	0.332	50
Sr K <sub>α</sub>	LiF 200	СС	60/50	Нет	25.110	-0.511		20
Zr K <sub>α</sub>	LiF 200	СС	60/50	Нет	22.519	-0.408	0.322	36
Ag K <sub>α</sub>	LiF 200	СС	60/50	Медный (300 μm)	15.963	-0.185	0.295	60
Mo K <sub>α</sub>	LiF 200	СС	60/50	Нет	20.290	-0.442	0.428	26
Cd K <sub>α</sub>	LiF 200	СС	60/50	Медный (300 μm)	15.272	-0.395	0.546	42
Sb K <sub>α</sub>	LiF 200	СС	60/50	Нет	13.419	-0.439	0.453	26
Ge K <sub>α</sub>	LiF 200	СС	60/50	Нет	36.309	-0.063	0.094	70
As K <sub>β</sub>	LiF 200	СС	60/50	Нет	30.424	-0.574	0.509	14
Ba L <sub>α</sub>	LiF 200	ПС	40/75	Нет	87.186	-0.635	0.929	26
Au L <sub>α</sub>	LiF 200	СС	60/50	Нет	36.993	-0.323	0.193	30
Pb L <sub>β1</sub>	LiF 200	СС	60/50	Нет	28.227	-0.608	0.489	32
Bi L <sub>α</sub>	LiF 200	СС	60/50	Нет	32.977	-0.305	0.234	42
Hg L <sub>α</sub>	LiF 200	СС	60/50	Нет	35.9	-0.194	0.239	60

Примечания: ПС - проточный пропорциональный счетчик; ПОС – проточный и отпаянный пропорциональные счетчики; СС – сцинтилляционный счетчик.

Точка фона 1, 2 – отклонение от угла ( $^{\circ}2\theta$ ).

Для расчета концентраций использован способ классической эмпирической модели  $\alpha$ -коррекции, предлагаемый программным пакетом SuperQ, входящим в комплект спектрометра.

Согласно этой модели:

$$C_i = b_i + d_i I_{i-испр}, \quad (1)$$

где  $C_i$  – концентрация  $i$ -го элемента в образце;  $b_i, d_i$  – константы, определяемые эмпирически с помощью проб известного химического состава;  $I_{i-испр}$  – «исправленная» интенсивность характеристического излучения определяемого элемента:

$$I_{i-испр} = I_{i-изм} (1 + \sum \alpha_{i,m} I_{m-изм}), \quad m = 1, \dots, n, \quad (2)$$

где  $I_{i-изм}$  – измеренная интенсивность характеристического излучения определяемого элемента (за вычетом фона);  $\alpha_{i,m}$  – эмпирические коэффициенты;  $I_{m-изм}$  – измеренные интенсивности аналитических линий элементов, входящих в состав пробы и

влияющих на интенсивность характеристического излучения определяемого элемента («мешающие» элементы);  $n$  – число «мешающих» элементов.

Характеристики градуировочных функций по аттестованным рудным элементам и Au приведены в табл. 2.

Разработанная методика была опробована на материале с месторождения Северный Уваряж, ранее исследованном с помощью методов мокрой химии (Cu, Pb, Zn, S), пробирного анализа (Au, Ag), инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) (Au, Ag, As, Sb, Se, Te, Hg, Ba, Fe, Zn, In, Cd). Для примера приводится сопоставление полученных данных по трем пробам в табл. 3, из которой видно, что наряду с достаточно хорошим совпадением результатов имеются некоторые расхождения (например, Zn в пробе № 427380 и др.). Они могут быть обусловлены как неоднородностью проб, так и ошибками рядовых анализов, выполненных различными методами.

Таблица 2

Характеристики градуировочных функций.

Элемент	Диапазон концентраций	Элементы, включенные в уравнения множественной регрессии*	Среднее квадратичное отклонение	Предел обнаружения
Fe, % мас.	1.86-42.4	Si, Al, Mn, Zn	0.6	0.005
Pb, % мас.	0.028-3.26	Al, Fe	0.025	0.006
Cu, % мас.	0.17-6.8	Si, S, Zn	0.10	0.005
S, % мас.	2.96-49.2	Al, Mn, K, Cu	1.16	0.2
Zn, % мас.	0.34-29.14	Si	0.20	0.2
Ba, % мас.	0.16-29.9	Si, Al, K, S	0.10	0.002
Au, г/т	0.3- 30	Si, S, Zn	0.3	0.3

Примечание: \* – уравнение (1).

Таблица 3

Результаты определения концентраций в пробах богатых руд месторождения Северный Уваряж методами химического, пробирного, инструментального нейтронно-активационного (ИНАА) и РФ анализа, % мас.

Эл.	427373			427380			428786		
	Химический анализ*	ИНАА	РФА	Химический анализ*	ИНАА	РФА	Химический анализ*	ИНАА	РФА
Fe	–	35.3	37.18	–	4.2	6.36	–	12	12.29
Cu	7.22	–	7.22	2.54	–	2.80	3.86	–	3.90
Pb	0.03	–	0.045	12.04	–	11.51	1.2	–	0.92
Zn	0.11	0.15	0.2	24.82	9.2	24.64	29.14	29.8	30.06
S	44.93	–	41.96	26.7	–	25.45	28.07	–	28.25
Au	0.00066	0.000734	0.00088	0.00085	0.001897	0.0011	0.00067	0.00081	0.00075
Ag	0.0039	0.00407	0.0042	0.0182	0.00747	0.019	0.0071	0.00754	0.0071
As	–	0.1105	0.0118	–	0.0330	0.0222	–	0.0279	0.0271
Sb	–	0.0129	0.0130	–	0.0055	0.0040	–	0.0073	0.0069
Se	–	0.0063	0.0060	–	0.0041	0.0022	–	0.0053	0.0066
Hg	–	0.0009	0.0007	–	0.00448	0.0050	–	0.00003	–
Cd	–	–	–	–	0.2052	0.16544	–	0.1623	0.158

Примечания: \* – Au и Ag определены пробирным анализом, «–» – данным методом результаты не были получены.

Кроме того, в этих же пробах определены концентрации породообразующих компонентов ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) и Sr, Ni, Cr, V, Y, Nb, Co, Zr, Mo, Bi и Ge. Из-за отсутствия в паспортах стандартов на полиметаллические руды сертифицированных данных по содержаниям породообразующих компонентов, к результатам РФ анализа в данном случае не предъявлялись требования, соответствующие ОСТ 41-08-205-99 [13]. Однако концентрации, полученные с помощью градуировочных графиков, хорошо совпадают с приведенными в паспортах данными.

С целью повышения надежности определения золота на уровне предела его обнаружения был опробован способ предварительного микропробирного концентрирования этого элемента на сульфиде никеля [14]. Для этого 4 образца руды массой 5 г с известным содержанием Au (от 1 до 50 ppm) тщательно перемешивали с компонентами: 0.33 г карбонильного никеля о.с.ч., 0.2 г элементарной серы о.с.ч. и 16 г шихты из тетрабората натрия о.с.ч., 5 г карбоната натрия х.ч., 1 г диоксида кремния о.с.ч.. Эту смесь помещали в фарфоровом тигле в муфельную печь СНОЛ-1.6, сплавление проводили при температуре 1000 °С, в течение 15 мин., затем корольки охлаждали, отделяли от шлака (разбив тигель). Один из никелевых корольков был распилен и подготовлен к микрозондовому анализу. На рис. 1 приведено изображение королька, полученное с помощью рентгеновского микроанализатора SX-100. Известно, что для тех типов сульфидных руд, где значительны концентрации цинка, при определении золота, кроме эффектов, связанных с поглощением первичного и флуоресцентного излучения, которые учитываются с помощью уравнения  $\alpha$ -коррекции (1), наложение линии Zn  $K_{\beta 1,3}$  ( $\lambda = 0.1295$  нм) на аналитическую линию Au  $L_{\alpha 1}$  (0.1276 нм) создает дополнительные трудности [15]. Из рис. 1 видно, что в процессе концентрирования удается практически полностью освободиться от цинка, который при сплавлении переходит в шлак. Что касается тонкодисперсного золота, содержащегося в корольке, то обнаружить его данным способом не представляется возможным, так как предел обнаружения микроанализатора SX-100 составляет 0.02 % мас.

Для определения золота РФ методом излучателя (как из исходного материала, так и из концентратов – измельченных никелевых корольков) были приготовлены путем прессования в таблетки диаметром 20 мм, с использованием в качестве связующего вещества полистирола (х.ч.) в соотношении 5:1. На рис. 2 наглядно показана зависимость интенсивности аналитической линии Au  $L_{\alpha}$  при использовании предварительного концентрирования этого элемента на Ni корольках от интенсивности этой линии в исходных пробах.

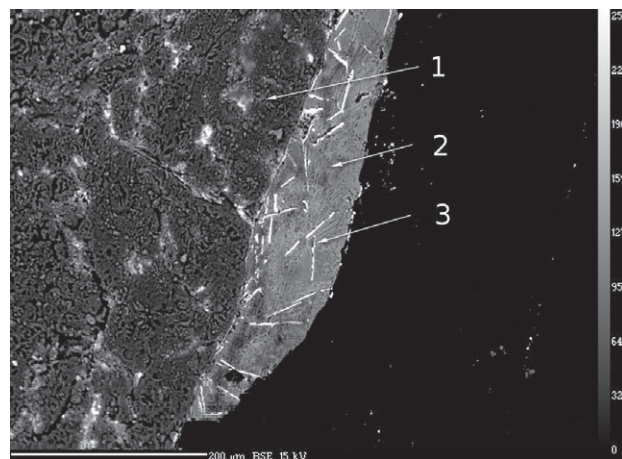


Рис. 1. Изображение, полученное с помощью растрового электронного микроскопа микроанализатора SX-100: 1 – тело королька, 2 – шлак, 3 – включения металлического цинка

Этот график описывается уравнением

$$Y = 1.333x - 0.0003, \quad (3)$$

из которого следует, что при данном способе концентрирования происходит увеличение интенсивности определяемой линии на величину порядка 30 %.

С целью дальнейшего снижения предела обнаружения золота может быть использован эффект дополнительного возбуждения определяемого элемента Au ( $L_{\alpha}$ -линия) в ненасыщенных слоях характеристическим излучением подложки из Sr ( $K_{\alpha}$ -линия – 0.0875 нм). Ранее нами с помощью метода математического планирования эксперимента с целью ранжирования факторов, влияющих на аналитические параметры РФ анализа при определении благородных металлов,

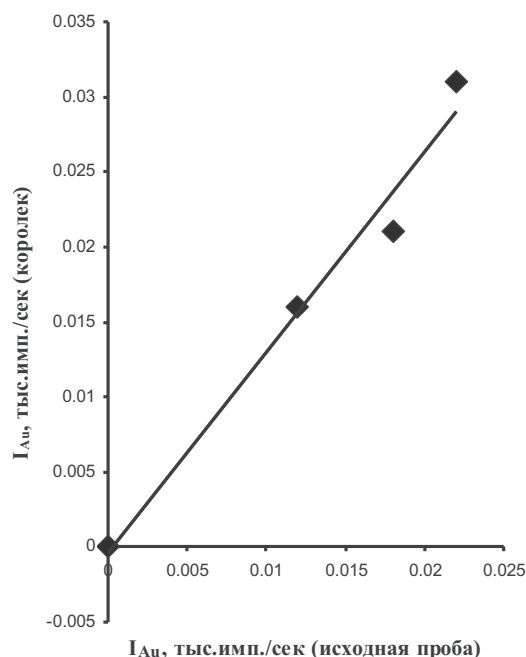


Рис. 2. Зависимость интенсивности линии  $I_{\text{Au}L_{\alpha}}$  в Ni корольке от ее интенсивности в исходном образце

было установлено [15], что использование возбуждающей подложки для снижения значения предела обнаружения эквивалентно увеличению поверхностной плотности и диаметра излучателя. По предварительным данным, полученным на никелевых корольках с использованием возбуждающей подложки, предел обнаружения за счет эффекта дополнительного возбуждения может быть снижен еще в 1.4-1.6 раза.

## ВЫВОДЫ

Показана перспективность применения РФ метода для анализа сульфидных руд, с помощью которого возможно из одной навески с достаточной точностью проводить определение концентраций широкого круга элементов: петрогенных, рудных и примесных.

Использование приема микропробирного концентрирования позволяет повысить надежность определения Au рентгенофлуоресцентным методом.

Исследования в этом направлении будут продолжены.

*Авторы выражают благодарность Сапожникову Д.Ю. за подготовку никелевых корольков.*

Работа частично поддержана грантом РФФИ № 100500747.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Игревская Л.В. О проблеме альтернативных источников рудного минерального сырья (на примере океанических месторождений) // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2007. № 6. С. 212-219.
2. Бортников Н.С., Викентьев И.В. Современное сульфидное полиметаллическое минералообразование в Мировом Океане // Геология рудных месторождений. 2005. № 1. С. 16-50.
3. Hannington M., Monecke T. Global exploration models for polymetallic sulphides in the Area: An assessment of lease block selection under the Draft Regulations on Prospecting and Exploration for Polymetallic Sulphides // Marine Georesources and Geotechnology. 2009. V. 27, P. 132-159.
4. Глубоководные сульфидные руды океана: достижения и проблемы изучения / С.И. Андреев и [др.] // Разведка и охрана недр. 2005. № 6. С. 69-76.

5. Herzig P.M., Peterson S., Hannington M.D. Geochemistry and sulfur-isotopic composition of the TAG hydrothermal mound, Mid-Atlantic Ridge, 26°N // Proc. Ocean Drill. Progr. Sci. Results. 1998. V. 158. P. 47-69.
6. James R.H., Duckworth R.C., Palmer M.R. and the ODP Leg 169 shipboard scientific party. Drilling of sediment-hosted massive sulphide deposits at the Middle Valley and Escanaba Trough spreading centres: ODP Leg 169 // *Geological Society, London, Special Publications*. 1998. V. 148. P. 177-199.
7. The Abundance of Seafloor Massive Sulfide Deposits / M.D. Hannington et [al.] // *Geology*. 2011. V. 39. P. 1155-1158.
8. Beaulieu, S.E., 2010, InterRidge Global Database of Active Submarine Hydrothermal Vent Fields, Version 2.0. [Электронный ресурс]: <http://www.inter-ridge.org/IRvents>.
9. Hannington, M.D., Petersen, S., Herzig, P.M., and Jonasson, I.R., 2002, A global database of seafloor hydrothermal systems, including a geochemical database of polymetallic sulphides: International Seabed Authority of the United Nations, Central Data Repository. [Электронный ресурс]: <http://www.isa.org.jm>.
10. Симаков В.А., Вахонин Н.С., Исаев В.Е. Рентгенофлуоресцентный анализ комплексных руд // Руды и металлы. 1995. № 6. С. 72-77.
11. Рентгенофлуоресцентный анализ полиметаллических руд и их переделов в системе автоматического контроля качества / Зайцев В.П. и [др.] // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2007. Т. 73. № 4. С. 3-11.
12. Андреев Д.С. Особенности рентгенофлуоресцентного анализа высококарбонатных флюоритовых руд // Горный журнал. 2010. № 10. С. 84-86.
13. ОСТ 41-08-205-99. Стандарт отрасли. Методики количественного химического анализа. Разработка, аттестация, утверждение. М., 1999. 96 с.
14. Колесов Г.М., Сапожников Д.Ю. Определение благородных металлов радиоактивационным методом с микропробирным концентрированием на сульфиде никеля // Ж. аналит. химии. 1996. Т. 51, № 2. С. 234-241.
15. Кузьмина Т.Г., Рощина И.А., Хохлова И.В. Эффект дополнительного возбуждения при рентгенофлуоресцентном определении благородных металлов в ненасыщенных слоях // Ж. аналит. химии. 2012. Т.67, № 5. С. 511-516.

## THE EXPERIENCE OF MAJOR, ORE AND TRACE ELEMENTS XRF DETERMINATION IN SULFIDE ORES

*I.V. Khokhlova, I.A. Roschina, T.G. Kuzmina, N.N. Kononkova, I.V. Vikentev\**

*Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of Russian Academy of Sciences  
119991, Moscow, Kosygin St., 19*

**\*The Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy, and Geochemistry,  
Russian Academy of Sciences,  
119017, Moscow,  
Staromonetny Per. 35  
[khokhlova.i.v@gmail.com](mailto:khokhlova.i.v@gmail.com)**

This paper presents the possibility of using X-ray fluorescence method for determination the elements composition of the sulfide ores. Conditions of analysis were selected for a wide range of elements on the spectrometer AXIOS Advanced ("PANalytical B.V."). Calibration equations were obtained. The method of the concentrating gold on sulfide nickel was used to increase the sensitivity of the determination. Good convergences of X-ray fluorescence determinations and other methods of analysis were shown at the example of the real ore samples.

**Keywords:** x-ray fluorescence analysis, sulfide ore, concentrating, gold.