

УДК 543.422.8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{tot}}$ В ЖЕЛЕЗНЫХ РУДАХ ПО ЭМИССИОННЫМ ЛИНИЯМ К-СЕРИИ РЕНТГЕНОВСКОГО ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО СПЕКТРА

В.М. Чубаров, А.Л. Финкельштейн, А.А. Амиржанов

*Институт геохимии им. А.П.Виноградова СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а
master-17@rambler.ru*

Поступила в редакцию 18 июня 2009 г.

Исследована возможность оценки отношения $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{tot}}$ по К-серии рентгеновского флуоресцентного спектра в железных рудах. Измерения выполнены на кристалл-дифракционном серийном рентгенофлуоресцентном спектрометре *S4 Pioneer*. В качестве аналитического сигнала использовали отношение интенсивностей линий $K\beta_{2,5}/K\beta_{1,3}$. Условия измерения аналитического сигнала выбраны на образцах искусственных смесей минералов гематита и магнетита. Стандартное отклонение определения отношения $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{tot}}$ составило 0.018. Относительное стандартное отклонение определения содержания FeO составило 10.3 % для диапазона содержания FeO 3-25 мас. %. Рентгенофлуоресцентное определение содержания FeO по К-серии уступает по точности методу химического анализа. Однако метод РФА обладает преимуществом в экспрессности и низкими затратами на пробоподготовку, позволяет определять кроме железа и все другие породообразующие элементы, может быть использован для оценки качества руд.

Ключевые слова: рентгенофлуоресцентный анализ, железные руды, валентное состояние железа.

Финкельштейн Александр Львович – заведующий лабораторией рентгеновских методов анализа ИГХ СО РАН, доктор технических наук.

Область научных интересов: рентгеноспектральный анализ, рентгенофлуоресцентный анализ, анализ вещества в геохимии, анализ объектов окружающей среды
Автор более 100 публикаций.

Амиржанов Александр Аитанович – научный сотрудник ИГХ СО РАН, кандидат геолого-минералогических наук.

Область научных интересов: геохимия, геохимия рудных месторождений.

Автор более 70 публикаций.

Чубаров Виктор Маратович – аспирант ИГХ СО РАН.

Введение

Соотношение содержаний двух- и трехвалентного железа в железных рудах определяется их минеральным составом. Генезис месторождений – от кристаллизации из рудных расплавов до формирования руд обуславливает не только широкие вариации их минерального и химического состава, но и разнообразие составов главного рудного минерала, в частности магнетита. Важным фактором, обуславливающим ценность руд, является изменение окислительной обстановки рудообразования, что наиболее характерно для окисленных обломочно-осадочных руд. Определение соотношения между Fe^{2+} и Fe^{3+} в рудах имеет большое значение для оценки их качества [1].

Рентгенофлуоресцентный метод анализа (РФА) используется для определения железа и породообразующих элементов в железных рудах [2-4], обеспечивая высокую производительность

и экспрессность. С помощью РФА определяется содержание общего (элементного) железа (в пересчете на оксид обозначается как $\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{tot}}$). Для определения железа применяют также методы атомно-абсорбционного анализа [5], пламенной фотометрии [6], рентгеновской спектроскопии с протонным возбуждением [7], нейтронно-активационного анализа [8] и др. Метод РФА обладает преимуществом, позволяя одновременно кроме общего железа определять и другие породообразующие элементы. Раздельное определение двух- и трехвалентного железа производится, как правило, с помощью «мокрой» химии [9-11]. Для определения содержания двух- и трехвалентного железа в минералах используются также методы ядерного гамма-резонанса [12], рентгеновской абсорбционной спектрометрии [13] и электронно-зондового микроанализа [14-16]. Для определения фазового (минерального) состава руд используют методы ядерного гамма-резонанса [17] и рентгеновской дифракции [18, 3].

Метод рентгеновской дифракции широко распространен для определения количественного соотношения минеральных компонентов [18, 19].

Положение пика и интенсивность некоторых характеристических линий эмиссионного рентгеновского спектра подвержены влиянию химической связи [20, 21]. Химические сдвиги эмиссионных линий K-серии железа могут быть использованы для идентификации компонентов, содержащих железо [22-24]. Серийные рентгенофлуоресцентные спектрометры обеспечивают высокую интенсивность аналитического сигнала, но не обладают достаточным разрешением для определения химического состояния элементов по смещению пика аналитической линии. Влияние химической связи на интенсивность линий спектра железа и соседних элементов проявляется для сравнительно слабых сателлитов $K\beta$ -линии [25-27], обусловленных переходами электронов из состояния в валентной M-оболочке на внутренние K-оболочки атома. В работе [25] для определения валентного состояния железа в оксидах по спектрам рентгеновской флуоресценции рекомендовано использовать отношение интегральной интенсивности сателлита $K\beta_{2,5}$ к интенсивности $K\beta_{1,3}$ -линии. В настоящей работе предпринята попытка оценить возможность определения соотношения двух- и трехвалентного железа в железных рудах на рентгенофлуоресцентном спектрометре по отношению интенсивностей линий $K\beta_{2,5}/K\beta_{1,3}$.

Аппаратура

Измерения выполнены на рентгенофлуоресцентном спектрометре *S4 Pioneer (Bruker AXS, Германия)*, который имеет рентгенооптическую схему по Соллеру. Для возбуждения флуоресцентного излучения используется рентгеновская трубка с анодом из Rh. Рентгеновское излучение регистрируется сцинтилляционным счетчиком. Качественный минеральный состав образцов определяли на рентгеновском порошковом дифрактометре ДРОН-3.

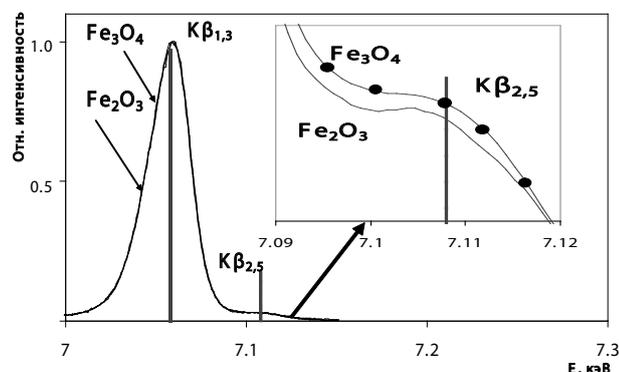


Рис. Рентгеновские спектры в области $K\beta_{1,3}$ и $K\beta_{2,5}$ линий железа для минералов магнетита (Fe_3O_4) и гематита (Fe_2O_3).

Методика проведения эксперимента

Выбор условий измерения проводили на искусственных смесях, приготовленных из образцов магнетита (Fe_3O_4) и гематита (Fe_2O_3). Содержание примесей в этих образцах оценивали методом рентгеновской дифракции. На дифрактограмме образца магнетита наблюдаются слабые пики, соответствующие кальциту, а на дифрактограмме образца гематита – слабые пики магнетита. Содержание примесей не превышает 5 мас. %. Излучатели для РФА готовили прессованием порошков на подложке из борной кислоты.

На рисунке приведены примеры спектров, записанных в области $K\beta_{1,3}$ -линии Fe для образцов магнетита и гематита. Интенсивности спектров нормированы на величину максимума $K\beta_{1,3}$ -линии. На рисунке видно различие интенсивностей в области $K\beta_{2,5}$ -линии. В этой области трудно определить положение измерения, поскольку не наблюдается явного пика линии. Чтобы оценить влияние этого фактора на измерение интенсивности $K\beta_{2,5}$ -линии, были измерены интенсивности в положении пика $K\beta_{2,5}$, соответствующего энергии линии, а также в четырех положениях вблизи пика, указанных на рисунке, по которым были рассчитаны интегральные интенсивности области спектра. Зависимость отношения $FeO/Fe_2O_3^{tot}$ от отношения $IK\beta_{2,5}/IK\beta_{1,3}$ для образцов искусственных смесей аппроксимировали с помощью уравнения линейной регрессии:

$$(FeO/Fe_2O_3^{tot}) = a_0 + a_1 \cdot (IK\beta_{2,5}/IK\beta_{1,3}), \quad (1)$$

где a_0 и a_1 – коэффициенты регрессии, $(IK\beta_{2,5}/IK\beta_{1,3})$ – отношение интегральных интенсивностей или интенсивностей в положении пика.

Зависимость, полученная по пиковым интенсивностям характеризовалась относительным стандартным отклонением $S_0 = 0.019$ при коэффициенте корреляции 0.971, по интегральным интенсивностям – $S_0 = 0.014$ при коэффициенте корреляции 0.985. Дисперсии сравнили по критерию Фишера и сделали вывод об их однородности. Таким образом, мы можем использовать измерение интенсивности пика $K\beta_{2,5}$ -линии, что несколько упрощает программирование измерений по сравнению с измерением интегральной интенсивности.

В табл. 1 приведены условия измерения и интенсивности пиков характеристических линий Fe для образцов магнетита (Fe_3O_4) и гематита (Fe_2O_3). Отношение интенсивности линий $IK\beta_{2,5}/IK\beta_{1,3} = 0.0274$ для магнетита и $IK\beta_{2,5}/IK\beta_{1,3} = 0.0292$ для гематита. Для обеспечения погрешности определения отношения $FeO/Fe_2O_3^{tot}$, обусловленной статистикой счета импульсов детектора, на уровне менее 1%, требуется экспозиция измерения порядка 200 с для $K\beta_{2,5}$ линии, что

Таблица 1

Условия измерения и интенсивности характеристических линий железа

Линия / переход	Энергия (кэВ) / длина волны (Å)	Монохроматор / коллиматор	Детектор	Напряжение (кВ) / ток (мА) рентгеновской трубки	Скорость счёта на образце Fe ₂ O ₃ , кимп/сек	Скорость счёта на образце Fe ₃ O ₄ , кимп/сек
Kβ _{2,5} / K–M ₄ , M ₅	7.108 / 1.742	LiF (220) / 0.12°	SD	50 / 40	2.95	2.61
Kβ _{1,3} / K–M ₂ , M ₃	7.058 / 1.755	LiF (220) / 0.12°	SD	50 / 40	101	95

Примечание: SD – сцинтилляционный детектор.

обеспечивает общее время измерения одной пробы порядка 10 минут.

Объект исследования

Исследуемые образцы представляют 15 проб железной руды из месторождений Ангарской рудной провинции, территориально приуроченной к северу Иркутской области и юго-востоку Красноярского края. Ряд месторождений, таких как Коршуновское, Рудногорское и Татьянаинское, в настоящий момент эксплуатируются. Для разновидностей магнетита этих районов характерны значительные изоморфные примеси Al, Si и Ca, которые влияют на соотношение между Fe²⁺ и Fe³⁺ и качество руд [28]. Среди образцов присутствовали пробы магнетитового концентрата. Качественный минеральный состав образцов исследовали методом рентгеновской порошковой дифрактометрии. Состав образцов представлен различными типами минералов, содержащих железо, основными среди которых являются магнетит и гематит. Также в некоторых образцах присутствуют небольшие количества сидерита, каолинита, хлорита и пирита.

Определение содержания общего железа

Рентгенофлуоресцентное определение содержания общего железа в образцах железных руд было проведено согласно рекомендациям работы [29]. Навеску прокаленного при 950 °С образца массой 0.36 г. смешивали с 3.6 г. флюса (тетраборат лития) и 0.05 г. KNO₃. Нитрат калия добавляли в качестве окислителя. Смесь сплавляли в стеклоуглеродных тиглях в высокочастотной печи при температуре 1000 °С. Из расплава формовали излучатели в виде стеклянных дисков. Относительное стандартное отклонение повторяемости содержания Fe₂O₃^{tot}, включающее погрешность пробоподготовки и измерения, составило величину 0.2 % при содержании Fe₂O₃^{tot} в пробах в диапазоне 60-80 мас. %.

Для получения градуировочного уравнения было выбрано 10 образцов, в которых содержание Fe₂O₃^{tot} было определено химическим методом [30] и варьировало в диапазоне 56.8-91.8 мас. %. Относительное стандартное отклонение градуировочной зависимости составило 1.4 %. В качестве контрольного образца использовали монгольский стандартный образец железной руды ТТХ УСЗ 27-99 (аттестованное содержание Fe₂O₃^{tot} 88.86 мас. %), в котором результат определения содержания Fe₂O₃^{tot} составил 89.06 мас. %.

Оценка погрешности определения FeO в железных рудах

Оценка погрешности была выполнена путем сопоставления с результатами «мокрой» химии [30]. Содержание FeO в образцах руд варьировало в диапазоне 3.6-25.3 мас. %, содержание Fe₂O₃^{tot} - в диапазоне 56.15-93.35 мас. %, отношение концентраций FeO/Fe₂O₃^{tot} – в диапазоне 0.05-0.307.

Для оценки повторяемости рентгенофлуоресцентного определения отношения интенсивностей линий Kβ_{1,3} и Kβ_{2,5} были приготовлены по 5 проб двух образцов железных руд. В первом образце содержание FeO = 3.63 мас. %, отношение FeO/Fe₂O₃^{tot} = 0.05. Во втором образце содержание FeO = 25.3 мас. %, отношение FeO/Fe₂O₃^{tot} = 0.28. Каждая проба была измерена дважды. Интенсивность линии Kβ_{2,5} составляла 1-2 кимп/сек. Экспозиция 200 с обеспечивала набор импульсов больше 400 кимп на линии Kβ_{2,5}. Суммарное стандартное отклонение отношения FeO/Fe₂O₃^{tot}, включающее погрешность пробоподготовки и измерения, составило для первого образца 0.0010, для второго образца – 0.0017.

Для образцов железных руд были измерены отношения интенсивностей Kβ_{2,5} / Kβ_{1,3}, и по градуировочной зависимости (1) рассчитаны отношения $R = \text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{tot}}$.

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа железных руд.

Шифр образца	Fe ₂ O ₃ ^{tot} (РФА), мас. %	FeO (химия), мас. %	FeO (РФА), мас. %	FeO/ Fe ₂ O ₃ ^{tot} (РФА)
B4-21	88.30	9.22	10.54	0.104
C-11a	90.38	14.80	15.48	0.164
C-11b	93.35	18.78	19.70	0.201
T-39	91.68	19.81	22.60	0.216
K-1	88.38	21.53	22.48	0.244
M-7777	91.73	25.30	25.02	0.279
C-17	82.51	19.31	17.82	0.234
H465-461	83.74	16.68	15.00	0.199
КС-6	84.39	12.77	15.16	0.151
O92	65.17	18.98	18.20	0.291
ОК-13-11	84.90	15.46	15.37	0.182
ОК-13-4	56.15	12.65	11.01	0.225
ОК-13-6	83.29	19.40	17.90	0.233
T-620	74.29	15.26	15.70	0.205
7679	70.24	3.63	3.18	0.052
S ₀ , %	0.98	1.48		0.018

Содержание FeO рассчитали по формуле $FeO = R \cdot Fe_2O_3^{tot}$, где содержание Fe₂O₃^{tot} определяли методом РФА.

Уравнение линейной регрессии для 15 образцов характеризовалось стандартным отклонением $S_0 = 0.018$ при коэффициенте корреляции 0.920. Также был проанализирован монгольский стандартный образец ТТХ УСЗ 27-99. Отклонение рассчитанного содержания FeO от аттестованного составило величину менее 0.1 мас. %.

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа железных руд представлены в табл. 2. Приведены содержания Fe₂O₃^{tot}, полученные методом рентгенофлуоресцентного анализа, содержания FeO, полученные методом «мокрой» химии и рассчитанные по эмиссионным рентгеновским спектрам и отношения для исследуемых образцов железных руд. Также приведены значения стандартных отклонений между значениями Fe₂O₃^{tot}, полученными методами «мокрой» химии и РФА, между значениями содержаний FeO, полученными методами «мокрой» химии и РФА, а также стандартное отклонение регрессии для уравнения (1), в котором величина FeO/Fe₂O₃^{tot} была рассчитана при помощи метода РФА.

Выводы

Приведенные данные показывают, что рентгенофлуоресцентное определение содержания FeO по К-серии рентгеновского спектра в образцах железных руд обеспечивает величину $S_r = 10.3$ % для диапазона содержания FeO 3–25 мас. % при содержании общего же-

леза 56–94 мас. %. Допустимое относительное стандартное отклонение, регламентируемое в отраслевом стандарте [31], в рассмотренном диапазоне содержания FeO варьирует в диапазоне 2.3 - 6.5 %. Таким образом, рентгенофлуоресцентное определение содержания FeO в образцах железных руд уступает по точности химическому методу. Однако предлагаемый способ РФА обладает низкими затратами на пробоподготовку и преимуществом в экспрессности – определение может быть выполнено за 10–15 минут.

Среди ограничений следует отметить, что для образцов, содержащих значительное количество серы (более 7 мас. %) преимущественно в виде пирита, наблюдалось высокое (более 15 % отн.) отклонение между рассчитанным и содержанием FeO, определенным химическим методом.

Метод РФА позволяет определять кроме железа и все другие породообразующие элементы [3] и может быть использован для оценки качества руд.

ЛИТЕРАТУРА

1. Амиржанов А.А., Суворова Л.Ф. Особенности состава и генезис магнетита из железорудных месторождений Ангарской провинции // Геология рудных месторождений. 1999. Т.41. № 2. С. 171-182.
2. Staats G. Determination of iron and silicon in certified reference iron ore samples by X-ray fluorescence (XRF) with high accuracy // Fresenius Z. Anal Chem. 1987. V. 327. P. 684-689.

3. Feret F. Routine analysis of iron ores by X-ray spectrometry // *Spectrochimica Acta. Part B*. 1982. V. 37. P. 349-357.
4. Ekinici N., Gürol A., Polat R., Budak G., Karabulut A. The qualitative and quantitative analysis of Sari-kamis ore by energy dispersive X-ray fluorescence // *J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2003. V. 258. P. 163-165.
5. Юрченко О.И., Харенко И.П., Повышение чувствительности атомно-абсорбционного определения железа // *Ж. прикладной спектроскопии*. 2007. Т. 74. № 2 С. 263-266.
6. Chattopadhyay P, Datta P. Jouhari A.K. Analysis of sintered products of iron ore fines by flame atomic absorption spectrometry using a matrix modifier // *Fresenius J. Anal Chem*. 2001. V. 369. P. 407-411.
7. Nayak P.K., Vijayan V. Particle-induced X-ray emission analysis of Eastern Indian ferromanganese oxide ores // *J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2006. V. 268. P. 37-41.
8. Batra R.J., Lanjewar R.B., Garg A.N. NAA determination of iron and silicon in USGS standards and bauxites using fast neutrons from ^{241}Am -Be source // *J. Radioanal. Nucl. Chem., Letters*. 1986. V. 104. P. 115-126.
9. Ляликов Ю.С., Сакунов В.И., Ткаченко Н.С. Анализ железных и марганцевых руд. М.: Металлургиздат, 1954. 273 с.
10. Andrade S., Hypolito R., Ulbrich H., Silva M. Iron (II) oxide determination in rocks and minerals // *Chemical Geology*. 2002. V. 182. P. 85-89.
11. Yokoyama T., Nakamura E. Precise determination of ferrous iron in silicate rocks // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2002. V. 66. № 6. P. 1085-1093.
12. Современные физические методы в геохимии / Под ред. В.Ф.Барабанова. Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1990. 391 с.
13. Tombolini F., Brigatti M.F., Marcelli A., Cibin G., Mottana A., Giuli G., Local and average Fe distribution in trioctahedral micas: Analysis of Fe K -edge XANES spectra in the phlogopite-annite and phlogopite-tetra-ferriphlogopite joins on the basis of single-crystal XRD refinements // *Eur. J. Mineral*. 2002. V. 14. № 6. P. 1075 - 1085.
14. Albee A.L., Chodos A.A. Semiquantitative electron microprobe determination of Fe²⁺/Fe³⁺ and Mn²⁺/Mn³⁺ in oxides and silicates and its application to petrologic problems // *Amer. Miner*. 1970. V. 55. № 3/4. P. 103-107.
15. Таскаев В.И., Стручаева Г.Г., Пятков А.Г. Определение концентрации Fe²⁺ и Fe³⁺ в пироксенах методом рентгеноспектрального микроанализа // *Методы рентгеноспектрального анализа*. Новосибирск: Наука. 1986. С. 154-158.
16. Легкова Г.В., Войткевич В.Г. Шаркин О.П. Электронно-зондовое определение содержания Fe²⁺ и Fe³⁺ в амфиболах // *Минерал. Ж.* 1982. Т.4. № 4. С. 90-93.
17. Toribio N.M., Da Costa G.M., Desa K.G., Vieira C.B. A Comparative Study of Iron Concentrates by Mössbauer Spectroscopy and Optical Microscopy // *Hyperfine Interactions*. 2001. V. 134. P. 187-191.
18. Ajardo M., Perez Alcazar G.A., Moreira A.M., Speziali N.L. Mössbauer and XRD Comparative Study of Host Rock and Iron Rich Mineral Samples from Paz del Rio Iron Ore Mineral Mine in Colombia // *Hyperfine Interactions*. 2004. V. 156/157. P. 395-402.
19. Bonvin D., Yellepeddi R., Buman A. Applications and perspectives of a new innovative XRF-XRD spectrometer in industrial process control // *Advances in X-ray Analysis*. V. 42. 2000. P. 126-136.
20. Баринский Р.Л., Нефедов В.И. Рентгеноспектральное определение заряда атомов в молекулах. М.: Наука, 1966. 245 с.
21. Мазалов Л.Н. Рентгеновские спектры. Новосибирск.: ИНХ СО РАН, 2003. 329 с.
22. Нарбут К.И., Смирнова И.С. К $\alpha_{1,2}$ и К $\beta_{1,\beta'}$ спектры железа, входящего в состав минералов и некоторых химических соединений // *Изв. АН СССР. Сер. Физ.* Т.34, № 2. 1972. С. 354 - 366.
23. Нарбут К.И. О некоторых закономерностях структуры К $\beta_{1,\beta'}$ спектров атомов железа, входящих в состав различных химических соединений // *Изв. АН СССР*. 1976. Т. 40, № 2. С. 355-361.
24. Narbutt K.I. X-ray spectra of iron atoms in minerals // *Phys. Chem. Minerals*. 1980. V. 5. P. 285-295.
25. Филиппов М.Н., Куприянова Т.А., Лямина О.И. Одновременное определение содержания и формы нахождения элемента в твердом теле рентгенофлуоресцентным методом // *Ж. аналит. химии*. 2001. Т.56, № 8. С. 817-824.
26. Deluigi M.T., Tiraio G., Stulz G. Dependence with the oxidation state of X-ray transition energies intensities and natural line widths of CrK β spectra // *Chemical Physics*. 2006. V. 325, № 2-3. P. 477 - 484.
27. Sakurai K., Eba H. Chemical characterization using relative intensity of manganese K β' and K β_5 X-ray fluorescence // *Nuclear Instrument and Methods in Physical Research B*. 2003. V. 199. P. 391 - 395.
28. Амиржанов А.А. Обогащенные Si, Ca, Al и Mg магнетиты из железорудных месторождений Ангарской провинции // *Зап. Всерос. Мин. Об-ва*. 2000. № 1. С. 65-75.
29. Turmel S. Samson C. X-ray fluorescence analysis of iron ore concentrates // *X-ray spectrometry*. 1984. V. 13. P. 87 - 90.

30. Пономарев А. Н. Методы химического анализа силикатных и карбонатных горных пород. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 414 с.

31. ГОСТ 41-08-212-04. Стандарт отрасли. Управление качеством аналитических работ. Нормы

погрешности при определении химического состава минерального сырья и классификация методик лабораторного анализа по точности результатов. М.: ВИМС, 2005. 24 с.

X-RAY FLUORESCENCE DETERMINATION OF FeO/Fe₂O₃^{tot} RATIO IN IRON ORES USING K-SERIES EMISSION LINES OF X-RAY FLUORESCENCE SPECTRUM

V.M. Chubarov, A.L. Finkelshtein, A.A. Amirzhanov

*Institute of Geochemistry SB RAS, 664033, Russia,
Irkutsk, 1A Favorsky Str.*

This study was performed to search for the possibility to assess the FeO/Fe₂O₃^{tot} ratio in iron ores using K-series of X-ray fluorescence (XRF) spectrum. The measurements have been implemented by a crystal-diffraction conventional XRF spectrometer, S4 Pioneer. The ratio of Kβ_{2,5} / Kβ_{1,3} line intensities was used as analytical signal. The conditions of measurement were chosen using samples of artificial mixtures of minerals hematite and magnetite. The standard deviation of FeO/Fe₂O₃^{tot} ratio was 0.018. The relative standard deviation of FeO contents was 10.3% for the range of FeO content 3-25%. The XRF determination of FeO content using K-series yield to wet chemical analysis in accuracy. However, the XRF method is preferred, for it is fast and convenient for sample preparation. This method allows to determine not only iron, but also all other rock forming elements and could be used for estimation of ore's quality.

Keywords: X-ray fluorescence analysis, iron ores, iron valence state.