

О КОЛИЧЕСТВЕННОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ ГЛАВНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ПОЛНОМ СПЕКТРАЛЬНОМ АНАЛИЗЕ ГОРНЫХ ПОРОД

В. В. Хохлов

Горные породы, минералы и руды часто анализируются по методике ступенчатого ослабления спектральных линий [2, 3]. Преимущества этого метода перед другими ускоренными приемами спектрального анализа в одновременном определении многих элементов, скорости и простоте оценки содержания в большом диапазоне определяемых концентраций. Это делает метод перспективным для геохимических исследований на больших площадях, поисковых и других геологических задач. В связи с этим была получена характеристика воспроизводимости и точности метода, оценены его возможности. Показано, что спектрограмма позволяет учитывать состав пробы и определять содержание примесей непосредственно по градуировочному графику (не в интервалах). На примере серии определений различных элементов установлено, что относительно химического анализа средняя погрешность составляет $\pm 25\%$ [10, 11].

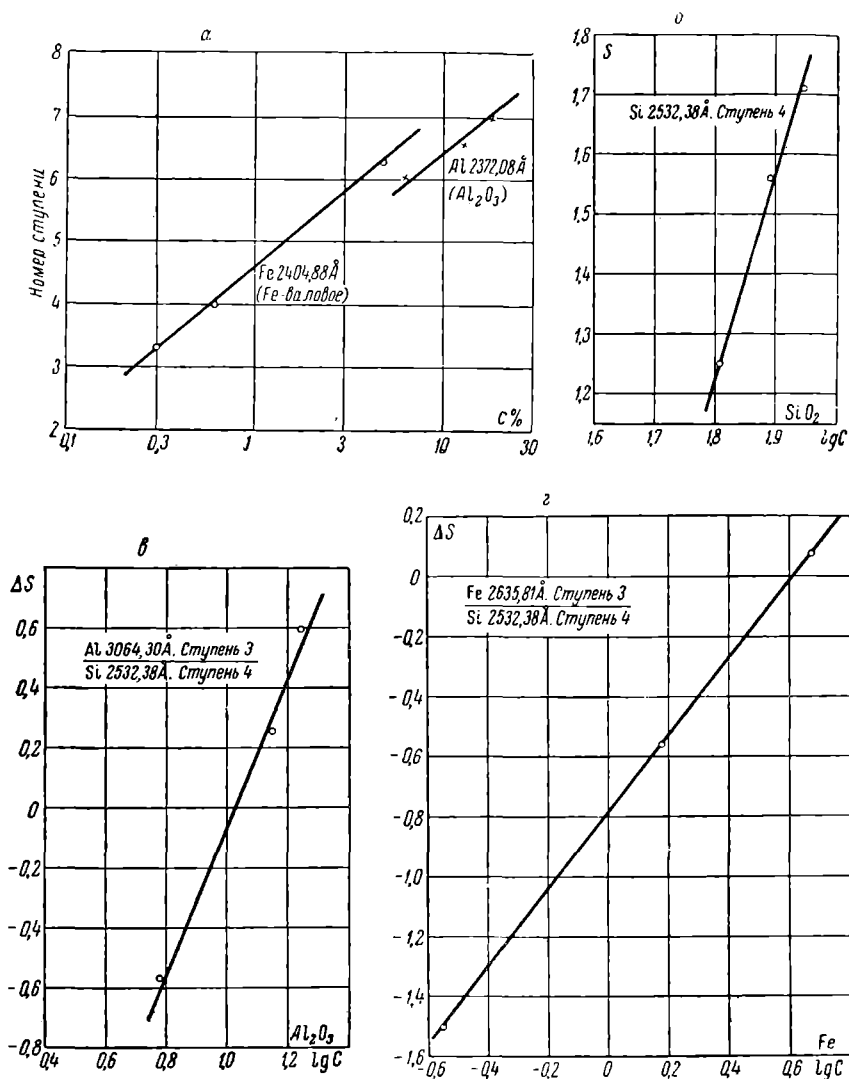
Кроме того, хорошая точность для упрощенных методов может быть получена и для элементов, составляющих основу пробы горных пород, если в качестве эталонных проб использовать пробы тоже горных пород с данными химического анализа, а градуировочные графики анализируемых элементов строить для слабых линий (рис. а).

Как видно из сравнения данных химического и спектрального анализов, погрешность примерно равномерна, а средняя арифметическая ошибка относительно химического анализа всех проб для Al_2O_3 и Fe практически одинакова — 21 и 24% (табл. 1). Результаты определения алюминия химическим и спектральным методами выражены через Al_2O_3 , так как градуировочный график для спектрального анализа можно строить и в этих величинах, для железа сравнивается валовое содержание в пробе (ошибка химического анализа не определялась).

Данные табл. 1 характеризуют возможность определения содержания главных компонентов пробы по визуальному счету числа ступеней аналитической линии. По этим определениям пробы можно разделить по типам пород и использовать для ориентировочной петрографической диагностики породы. Это необходимо при учете состава проб для более точного определения примесей по соответствующим эталонам [10] и для других задач, где определение содержания основных элементов пробы представляет интерес.

Для получения точной характеристики горных пород по элементам, составляющим основу или значительные содержания в пробе (от десятых до десятков процентов), показана возможность использования метода ступенчатого ослабления (на три порядка) при определении содержания ряда элементов с применением микрофотометра. Упрощенные

приемы фотометрирования ступенчатых спектров позволяют без дополнительных затрат делать количественные определения элементов, составляющих основу или значительные примеси в пробе по тем же ступенчато-ослабленным спектрам, в которых при полном спектральном анализе горных пород по числу ступеней аналитических линий устанавливают содержание исследуемых элементов.



Градуировочные графики для определения содержания в горных породах:
 а — Fe (валового) и Al₂O₃ методом ступенчатого ослабления линий; б — SiO₂; в — Al₂O₃;
 г — Fe (валового) — фотометрированием ступенчато-ослабленных спектров

Как известно, количественные методы спектрального анализа, выполняемые обычно на отдельные химические элементы с применением приборов фотометрирования, требуют большей затраты труда, чем упрощенные методы. Их производительность ограничивается специфическими условиями возбуждения спектра определяемого элемента, введением внутреннего стандарта, инструментальным фотометрированием линий, дополнительным расчетом при определении относительной интенсивности линий примеси и основы, учете помех и т. д. Поэтому целесообразно более полно использовать спектрограммы упрощенных методов анализа для повышения точности определения ряда элементов.

Полагая при этом, что в ступенчато-ослабленных спектрах, заменив визуальный отсчет почернения (интенсивности) аналитической линии более точной оценкой микрофотометром, можно увеличить достоверность определения содержания интересующего элемента.

Таблица 1

Определение в горных породах алюминия
по линии 2372,08 Å и железа по линии 2404,88 Å¹

Номер пробы	Al ₂ O ₃ , %				Fe, %			
	по анализу		Δ	Δ, %	анализ		Δ	Δ, %
	спек- тральный	химиче- ский			спек- тральный	химиче- ский		
21	17	14,78	-2,22	15,0	1,4	1,77	+0,37	20,9
320*	11	14,04	+3,04	21,6	1,1	1,72	+0,62	36,0
349	11	14,45	+3,45	23,8	1,4	1,72	+0,32	18,6
14	17	13,81	-3,19	23,2	1,7	2,05	+0,35	17,0
2a	17	15,48	-1,52	9,8	1,1	1,42	+0,32	22,5
31	11	13,53	+2,53	18,7	1,4	1,70	+0,30	17,6
1a	8	11,67	+3,67	31,4	1,7	2,28	+0,58	25,4
689	17	15,53	-1,47	9,5	1,7	1,72	+0,02	1,2
1476	17	16,61	-0,39	2,3	4,2	5,72	+1,52	26,6
1377	—	17,48**	—	—	4,2	2,67	-1,53	57,3
185-4*	17	16,31	-0,69	4,2	4,2	4,61	+0,41	8,9
1101	17	15,54	-1,46	9,4	2,7	2,69	-0,01	0,4
678-12*	17	15,12	-1,88	12,4	7,0	4,68	-2,32	49,5
180 1*	11	14,44	+3,44	23,9	4,2	4,69	+0,49	10,4
494-2*	17	16,48	-0,52	3,2	4,2	2,41	-1,79	74,2
C-321	8	13,50	+5,50	40,9	2,1	3,61	-1,51	41,8
21a	14	16,15	+2,15	13,3	1,7	1,74	+0,04	2,3
432-23*	11	16,06	+5,06	31,5	1,7	1,56	-0,14	9,0
63	17	15,65	-1,35	8,6	0,7	0,89	+0,19	21,4
425 3*	—	6,07**	—	—	—	0,28**	—	—
3	17	12,63	-4,37	34,6	1,7	1,26	-0,44	34,9
381	17	12,15	-4,85	39,9	1,7	1,17	-0,53	45,3
194	17	12,19	-4,81	39,4	0,8	1,19	+0,39	32,8
5a	—	13,17**	—	—	2,2	2,47	+0,27	10,9
352	14	14,06	+0,06	0,4	1,7	1,47	-0,23	15,7
1923a	17	14,06	-2,94	20,9	1,1	1,07	-0,03	2,8
28576	17	14,43	-2,57	17,8	0,8	1,09	+0,29	26,6
C-49	17	13,46	-3,54	26,3	—	0,64**	—	—
1512	11	12,89	+1,89	14,7	1,7	1,18	-0,52	44,1
38	17	12,83	-4,17	32,5	1,7	1,61	-0,09	5,6
70-1	7	9,84	+2,84	28,9	—	4,87**	—	—
40 ¹⁰ /1	17	12,49	-4,51	36,1	0,8	1,21	+0,41	33,9
11536	8	12,21	+4,21	34,5	1,1	1,18	+0,08	6,8

Средняя арифметическая ошибка 21%

Средняя арифметическая ошибка 24%

¹ Навески проб с данными химического анализа всех компонентов получены из аналитической лаборатории ВСЕГЕИ от М. М. Стукаловой и химической лаборатории Архангельской геологической партии Северо-Западного геологического управления — от Е. К. Ковригиной. Спектроаналитические определения выполнены Т. Д. Нечаевой.

Анализы, выполненные лабораторией Архангельской геологической партии, отмечены в таблице одной звездочкой, данные химического анализа, использованные в приведенных градуировочных графиках (рис. а), — двумя звездочками.

С этой целью исследован ряд проб кварцево-полевошлатового состава, для которых содержание окислов кремния, алюминия, магния, железа, титана, марганца и других элементов установлено химическим анализом. Спектрограммы их получены на кварцевом спектрографе средней дисперсии с применением ступенчатого (логарифмического) сектора при обычных условиях выполнения рядовых анализов методом ослабления линий на три порядка [2, 3, 10].

Здесь в первую очередь интересно определение погрешности наиболее простых приемов фотометрирования. Спектры ступенчатого

ослабления для полного анализа горных пород имеют ряд неблагоприятных моментов, мешающих фотометрированию. Минеральные образования, составляющие горные породы, включают комплекс соединений химических элементов, спектры которых, как правило, многолинейны и для их разделения на приборах средней дисперсии необходимо работать на оптимально узкой щели спектрографа. Узкая щель образует тонкие линии, при которых увеличивается погрешность фотометрирования, а многолинейные спектры труднолетучих элементов образуют на спектрограмме большой фон, затрудняя измерение почернения. Наряду с этим фотометрирование разных ступеней аналитической линии позволяет делать измерения в области нормального почернения характеристической кривой, при этом измерение интенсивности последних ступеней «сильных» линий уменьшает влияние фона. При выборе аналитических линий (для элементов, составляющих основу или значительные примеси в пробе) это обстоятельство способствует соблюдению требования о том, чтобы почернение линий находилось в прямолинейной части характеристической кривой фотопластины (от 0,4 до 1,9 по логарифмической шкале микрофотометра) [6]. Второе требование фотографических методов количественного спектрального анализа — ширина измеряемого участка спектральной линии должна быть больше приемной щели микрофотометра — не всегда полностью удовлетворяется. В ряде случаев (чаще для слабых линий) ограничиваются узкой щелью спектрографа (средней дисперсии) и небольшой высотой ступенек логарифмического сектора (или ослабителя). Это может давать дополнительную погрешность анализа [6].

Однако, как показывают экспериментальные данные, в конкретных случаях фотометрирование определенных ступеней ступенчато-ослабленных спектров практически возможно и с точки зрения получения более точных результатов анализа рационально. Так, средняя арифметическая ошибка фотометрирования отдельных ступеней ступенчато-ослабленных аналитических линий кремния ($2532,38 \text{ \AA}$, четвертая ступень), алюминия ($3064,30 \text{ \AA}$, третья ступень), железа ($2635,81 \text{ \AA}$, третья ступень), определенная по 88 повторным наблюдениям (выполненным в разное время на разных микрофотометрах), составляет соответственно 1,18; 1,2 и 1,5%. Таким образом, вполне возможна более точная оценка интенсивности аналитических линий этих элементов по рядовым ступенчато-ослабленным спектрам (ступенчатым сектором).

Ошибка фотометрирования не включает возможной погрешности, связанной с нестабильностью источника возбуждения спектра, неравномерностью испарения навески, влияния состава и других случайных причин при выполнении анализа. Некоторые погрешности можно заранее уменьшить подбором соответствующих аналитических линий, определением содержания по относительной интенсивности (разности почернений) аналитических линий примеси и основы, подбором эталонов, соответствующих по составу исследуемым пробам, и другими приемами анализа [6, 8, 11]. В нашем случае для ряда элементов, содержащихся в значительных количествах в горных породах, можно выбрать менее интенсивные аналитические линии, а в качестве эталонных проб использовать образцы горных пород с разным содержанием исследуемых элементов, по данным химического анализа.

При определении содержания примесей по относительной интенсивности элементом сравнения может быть кремний, который в горных породах присутствует в больших количествах, а содержание его колеблется в разных породах меньше, чем других элементов. Поэтому определять кремний можно непосредственно по почернению определенной ступени аналитической линии, а другие элементы — по разности почер-

нений соответствующих линий (относительно кремния), так как определения по разности почернений более точны. Это подтверждается, например, многократными определениями алюминия и титана: данные по разности почернений примерно в два раза выше, чем эти же определения по абсолютному почернению. Использование другого элемента сравнения, например, кальция, при определении содержания железа в разных пробах не увеличивает точности анализа.

Практически величина погрешности, связанная с условиями возбуждения и фиксирования спектра, устанавливается по воспроизводимости анализа. В табл. 2 дается характеристика воспроизводимости повторных определений для кремния, алюминия, марганца и кальция в разных пробах при довольно широком интервале изменения концентрации (для кремния в три раза, для алюминия в восемь, для марганца и кальция более чем в двадцать раз).

Таблица 2

Характеристика воспроизводимости повторных определений некоторых химических элементов фотометрированием ступенчато-ослабленных спектров

Определяемый элемент			Сравнение с линией кремния		Пределы изменения концентрации	Число определений	Относительная ошибка, %	
название	линия, Å	фотометрируемая ступень	линия, Å	фотометрируемая ступень			средняя арифметическая	вероятная
Кремний	2443,38	4	—	—	30—89	40	6,6	5,5
Алюминий	2372,08	3	2443,38	4	5—38	40	7,8	6,5
Марганец	2933,08	2	2532,38	4	0,02—0,5	36	8,6	7,1
Кальций	3158,87	5	2532,38	4	0,4—9,3	37	9,3	7,8

Данные табл. 2 получены самыми простыми приемами фотометрирования без учета фона и свойств фотопластины, хотя и на пластинках одного сорта (один номер эмульсии). Проявление обычное, но всегда в одинаковых условиях. Почернение выбранных ступеней аналитических линий и линии сравнения в эталонных и исследуемых пробах измерялось микрофотометром МФ-2 при ширине приемной щели 0,25 мм и полном увеличении. Высота фотометрируемой линии определялась величиной конкретной ступени ослабления. Градуировочный график для определения содержания кремния получен по абсолютному почернению аналитической линии и известному содержанию SiO_2 в эталонных пробах. Для других элементов градуировочные графики получены по разности почернений в эталонных пробах соответствующей линии рассматриваемого элемента и линии сравнения (кремния). По этим графикам определено содержание кремния, алюминия, марганца, кальция в серии разных проб, затем все пробы проанализированы второй раз. Для каждой пробы подсчитана относительная ошибка первого и второго определений. Для всей серии повторных определений средняя арифметическая относительная ошибка для кремния, алюминия, марганца и кальция составляла 5—8% (выраженная через вероятную погрешность 4—7%). Как видно из табл. 2, оценка интенсивности линий в ступенчато-ослабленных спектрах простым фотометрированием значительно улучшает воспроизводимость анализа.

Имея серию проб с результатами химического анализа определения содержания ряда элементов, можно оценить точность спектрального определения содержания тех же элементов относительно химического анализа. Это позволяет сравнить и точность отдельных приемов спектрального анализа.

Как указано выше, при определении содержания исследуемых элементов фотометрированием ступенчато-ослабленных спектров использован метод постоянного графика, т. е. градуировочный график на опре-

деленное время является постоянным. При работе по такому графику необходимо согласование измерений на разных пластинках, так как пластинки могут различаться по фотографическим свойствам [6].

Для массовых анализов практически интересны наиболее простые приемы фотометрирования, поэтому мы экспериментально подбирали такие условия анализа, при которых свойства фотопластинок учитываются наиболее просто или влияние этих свойств минимально.

Известно, что зависимость почернения светочувствительного слоя фотографической пластинки от освещения сложна и в практике обычно выражается графически характеристической кривой эмульсии [6, 8]. Наиболее простая зависимость почернения от интенсивности света наблюдается в области нормального почернения — в прямолинейной части характеристической кривой. Фотометрирование отдельных ступеней ослабленного спектра позволяет выбрать измерения в этой области почернения (кроме определения элементов, фиксируемых в спектре слабыми линиями около порога чувствительности фотоэмульсии). Известно также, что существует связь между интенсивностью спектральной линии J и почернением S , вызванным этой интенсивностью.

$$S = \gamma \lg J - i,$$

где γ — контрастность пластинки;

i — чувствительность пластинки.

В общем случае интенсивность линии пропорциональна почернению и зависимость не усложняется, если γ и i пластинки сохраняются постоянными. Тогда и для относительной интенсивности разность почернения аналитической пары (линии основы и примеси) также может быть связана с γ

$$\Delta S = S_1 - S_0 = \gamma \lg J_1 - \gamma \lg J_0 = \gamma \lg \frac{J_1}{J_0}$$

или

$$\lg \frac{J_1}{J_0} = \frac{\Delta S}{\gamma}$$

Когда измеряемые почернения находятся в прямолинейном участке характеристической кривой, градуировочный график можно получить в координатах S (или ΔS) — $\lg C$ (концентрации)

$$S = \gamma (b \lg C - \lg a),$$

так как интенсивность спектральной линии пропорциональна концентрации и эмпирически выражается градуировочным графиком в логарифмических координатах линейной зависимостью

$$\lg J = b \lg C + \lg a,$$

где b и a — коэффициенты, задающие положение графика; b дает угловой наклон прямолинейного графика, величина $\lg a$ определяет положение графика в вертикальном направлении [5, 6].

Аналитическое выражение градуировочного графика практически применимо для определения содержания элемента в исследуемых пробах при постоянстве или незначительном изменении γ (для определенного предела погрешности). Коэффициент контрастности (фактор контрастности) γ зависит от фотографической характеристики самой фотопластины (эмульсии), условий проявления и длины волны спектральных линий.

Благоприятным обстоятельством для аналитических работ является почти полное постоянство величины γ по всей области среднего ультра-

фиолета (между 2500 и 3200 Å) [6, 8]. Поэтому аналитические линии исследуемых элементов и линии сравнения по возможности надо выбирать в этой области.

В табл. 3 приведена сравнительная характеристика точности определения содержания алюминия, железа, кремния в серии проб горных пород относительно химического анализа, полученная по разным линиям с учетом и без учета изменения γ при фотометрировании ступенчато-ослабленных спектров. Так, для кремния средняя арифметическая ошибка при определении содержания по линии 2443,38 Å составляет 11,9%, а по линии 2532,38 Å соответствующая погрешность в тех же пробах составляет только 4,5% (анализ всех проб выполнен на десяти пластинках). Для железа при определении содержания по линии 2404,43 Å и линии сравнения кремния 2443,38 Å аналогичная погрешность составляет 14%, а по линии 2635,18 Å и линии сравнения 2532,38 Å — уменьшается до 11,8%. Для алюминия определение содержания по коротковолновым линиям менее точны, чем эти же определения, выполненные по линиям в области 2500—3200 Å.

Таблица 3

Характеристика точности спектроаналитического определения содержания алюминия, железа и кремния по разным линиям

Определяемый элемент			Сравнение с линией кремния		Средняя арифметическая ошибка относительно химического анализа, %		Число определений
название	линия, Å	фотометрируемая ступень	линия, Å	фотометрируемая ступень	с учетом γ	без учета γ	
Кремний	{ 2443,38	4				11,9	60
	{ 2532,38	4				4,5	60
Железо	{ 2404,43	2	2443,38	4		14,0	58
	{ 2635,81	3	2532,38	4		11,8	58
Алюминий	{ 2372,08	3	2443,38	4	10,3	10,3	62
	{ 3064,30	3	2532,38	4	8,2	8,7	62

Для соблюдения постоянства фототехнических условий необходимо работать на однородном сорте фотоматериала (одном номере эмульсии), постоянным составом проявителя, проявлять пластинки при одной температуре и одинаковом времени. Соблюдение этих условий способствует минимальному изменению фактора контрастности γ . Однако при работе по методу постоянного графика все же возможно некоторое изменение γ при переходе от одной пластинки к другой. При наличии ступенчато-ослабленных спектров согласование измерений на разных пластинках в какой-то степени более просто может быть выполнено методом «переводного множителя», когда разность почернения двух разных ступенек ослабления какой-либо линии одной пластинки относится к соответствующей разности почернений другой пластинки [6].

Определение содержания алюминия в серии одних и тех же проб непосредственным фотометрированием и определение с учетом γ методом «переводного множителя» по соответствующим линиям, характеризуются практически одинаковым результатом, (табл. 3). Такое же соответствие данных наблюдается и в ряде сопоставляемых проб при определении содержания железа и титана. При соблюдении постоянства фототехнических условий, когда возможно минимальное измене-

ние величины γ , учет этого изменения существенного улучшения точности не дает. Возможно, учет влияния вероятного изменения величины γ при переходе от одной пластинки к другой «переводным множителем» недостаточно полный, и величина поправки может быть сопоставима с погрешностью, возникающей при возбуждении спектра пробы из канала угольного электрода, при этом возможно также и влияние неоднородности состава проб. Учет влияния γ другими способами более сложен, поэтому учитывать возможное изменение γ для упрощенных методов нерационально, так как это осложняет анализ, снижает его производительность.

При количественных анализах кроме γ учитывается влияние фона на спектрограмме. Особенно затруднен учет влияния фона при работе с широкой щелью спектрографа. Фотометрирование ступенчато-ослабленных линий в большинстве случаев выполняется на участке, где фон незначителен или почти отсутствует. Попытки учесть фон на экспериментальном материале практического увеличения точности не дали. Это подтверждается исследованиями влияния фона при определении примесей в металлах, выполненными в лаборатории Норильского горнометаллургического комбината [4].

Подбором аналитических линий и определением их почернения микрофотометром, пользуясь градуировочными графиками, которые получены по данным химического анализа проб горных пород, удается значительно повысить точность определения содержания кремния, алюминия, железа, титана и других элементов. При этом используются простые приемы фотометрирования без учета фона и фактора контрастности фотопластинок. Определение содержания кремния выполняется по «абсолютному» почернению определенной ступени аналитической линии, других элементов — по разности почернений соответствующих линий относительно кремния (рис. б, в, г).

Так, по имеющимся пробам (включая все анализы проб, см. табл. 1) средняя арифметическая ошибка определения содержания спектральным методом относительно химического анализа (при двойном спектральном определении) составляет: для SiO_2 3,4%, для Al_2O_3 7,2%, для Fe (валового) 9,4% (погрешность может быть выражена также вероятной ошибкой, составляющей $\frac{5}{6}$ средней арифметической [6]). В табл. 4 сравниваются определения этих элементов спектральным и химическим анализом (без учета ошибки химического анализа). В пределах такой же погрешности получено и определение содержания TiO_2 , который в данных пробах является примесью (от 0,1 до 0,8%).

Таким образом, упрощенные приемы фотометрирования ступенчато-ослабленных спектров позволяют без дополнительной специальной подготовки проб и дополнительных расчетов делать количественные определения элементов, составляющих основу или значительные примеси в пробе при погрешности измерений (для разных элементов) $\pm 3-8\%$ определяемой величины. Существенно также, что эти определения выполняются по тем же ступенчато-ослабленным спектрам, в которых при полном спектральном анализе горных пород по числу ступеней аналитических линий устанавливают содержание исследуемых элементов. По этим результатам можно достаточно определенно разделять исследуемые пробы по типам пород. Полученные данные важны также для характеристики их вещественного состава при минералогических и петрографических определениях и могут быть использованы при изучении разнообразных магматических и осадочных комплексов горных пород. При этом важно иметь в виду, что способ количественных определений экономичен и прост, а это существенно при региональных геохимических исследованиях.

Определение содержания некоторых главных элементов в горных породах

Номер пробы	SiO ₂			Al ₂ O ₃			Fe		
	Анализ		Δ, %	Анализ		Δ, %	Анализ		Δ, %
	спектральный	химический		спектральный	химический		спектральный	химический	
21	73,3	72,12	1,6	15,8	14,78	6,9	1,82	1,77	2,8
320	73,3	71,86	2,0	15,1	14,04	7,5	1,82	1,72	5,8
349	74,1	72,16	2,7	14,1	14,45	2,4	1,67	1,72	2,9
14	71,6	71,34	0,4	15,1	13,81	9,3	1,86	2,05	9,2
2a	70,8	71,50	1,0	15,1	15,48	2,4	1,51	1,42	6,3
31	73,3	72,72	0,8	12,6	13,53	6,9	1,74	1,70	2,4
1a	71,1	72,06	1,3	12,3	11,67	5,4	2,29	2,28	0,4
689	71,6	71,24	0,5	14,8	15,53	4,7	1,67	1,72	2,9
1476	63,1	58,50	7,9	19,0	16,61	14,3	4,90	5,72	14,3
1377	62,1	64,44	3,6	—	17,48*	—	3,39	2,67	27,0
185-4	—	64,28*	—	15,1	16,31	7,4	4,90	4,61	6,3
1101	66,8	67,70	1,3	15,1	15,54	2,8	2,82	2,69	4,8
678-12	67,6	67,24	0,5	15,1	15,12	0,1	—	4,68*	—
180-1	71,6	67,51	6,1	14,5	14,44	0,4	3,80	4,69	19,0
494-2	62,4	68,21	8,5	15,1	16,48	8,4	3,02	2,41	25,2
C-321	71,6	69,68	2,8	14,5	13,50	7,4	3,47	3,61	3,9
21a	69,2	70,50	1,8	14,8	16,15	8,4	1,86	1,74	6,9
432-23	71,6	70,44	1,7	12,9	16,06	19,7	1,90	1,56	22,0
63	75,9	71,66	6,0	15,8	15,65	1,0	0,79	0,89	11,2
425-3	—	88,88*	—	—	6,07*	—	—	0,28*	—
3	77,1	76,58	0,7	11,5	12,63	9,0	1,20	1,26	4,8
381	78,5	76,50	2,6	13,2	12,15	8,7	1,23	1,17	5,1
194	—	77,46*	—	12,0	12,19	1,5	1,10	1,19	7,5
5a	67,6	72,40	6,6	13,5	13,17	2,5	2,29	2,47	7,3
352	75,9	73,90	2,7	13,2	14,06	6,1	—	1,47*	—
1923a	78,5	74,08	6,0	—	14,06*	—	0,95	1,07	11,2
28576	76,7	73,72	4,0	13,2	14,43	8,5	0,87	1,09	20,1
C-49	80,7	75,58	6,8	12,9	13,46	4,2	0,54	0,64	15,6
1512	79,4	75,64	5,0	12,9	12,89	0,1	1,23	1,18	4,2
38	78,5	75,94	3,4	13,2	12,83	2,9	1,55	1,61	3,7
70-1	75,9	75,00	1,2	12,9	9,84	31,0	3,80	4,87	22,0
40 10/1	71,6	75,72	5,4	10,7	12,49	14,3	1,23	1,21	1,6
11536	70,8	75,90	6,7	10,9	12,21	10,7	1,12	1,18	5,1

Средняя арифметическая ошибка, %

3,4

7,2

9,4

* Данные химического анализа использованы для градуировочного графика.

Точность определения содержания рассматриваемых элементов может быть повышена, если уменьшить погрешности в процессе поступления вещества в дуговой разряд. Анализ порошковых проб посредством введения их в горизонтально расположенную электрическую дугу в токе воздуха подтверждает увеличение воспроизводимости определений при сравнении с обычным способом возбуждения спектра из канала угольного электрода [1, 7, 9]. Хорошую точность и большую производительность в этих случаях может дать, в частности, применение автоматической установки В. Г. Теплякова УСА-1 и УСА-2 (Красноярское геологическое управление) и других аналогичных устройств, когда за время экспозиции достигается равномерное поступление взятого количества пробы в дуговой разряд между горизонтально расположенными угольными электродами при автоматическом поддержании заданного разрядного промежутка. Производственные испытания опытных образцов УСА-1 и УСА-2 показали, что воспроизводимость

фиксирования спектра проб, установленная фотометрированием, удовлетворяет требованиям количественного анализа.

Хорошее разделение спектральных линий дифракционными спектрографами ДФС-8, ДФС-13, СТЭ-1 и другими, обладающими большой линейной дисперсией и хорошей разрешающей способностью, также создает дополнительные аналитические возможности для качественного и количественного определений химических элементов в горных породах.

Все это свидетельствует о реальной возможности количественного определения элементов, составляющих основу или значительные примеси в пробах горных пород простыми и быстрыми приемами спектрального анализа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кибисов Г. И. Спектральный количественный анализ веществ методом вдувания. «Инженерно-физ. ж.», 1959, 2, № 3.
 2. Клер М. М. Методы спектрального анализа проб при геолого-съёмочных и поисковых работах. Сб. «Геохимические поиски рудных месторождений». Госгеолтехиздат, 1957.
 3. Клер М. М., Хохлов В. В. Применение полного спектрального анализа в геологических экспедиционных условиях. Зап. ЛГИ, 1953, т. XXIX, вып. 2.
 4. Лившиц Д. М. О целесообразности учета фона непрерывного спектра при определении малых содержаний примесей. Заводск. лабор., 1956, № 4.
 5. Ломакин Б. А. Спектральное количественное определение висмута в меди. Тр. Всесоюз. научно-исслед. ин-та метрологии и стандартов, 1932, вып. 2 (18), стр. 139.
 6. Прокофьев В. К. Фотографические методы количественного спектрального анализа металлов и сплавов. Ч. II. Гостехиздат, 1951.
 7. Прохоров В. Г. Применение метода вдувания и просыпки при выполнении массовых металлометрических анализов. «Разведка и охрана недр», 1958, № 6.
 8. Русанов А. К. Спектральный анализ руд и минералов. Госгеолтехиздат, 1948.
 9. Русанов А. К., Тарасова Т. И. Спектральный анализ порошкообразных веществ с введением порошков воздухом в зону разряда. «Ж. аналитич. хим.», 1955, 10, № 5.
 10. Хохлов В. В. Повышение точности определения никеля и кобальта при полном спектральном анализе горных пород. Зап. ЛГИ, 1955, т. XXX, вып. 2.
 11. Хохлов В. В. О влиянии состава проб на результаты полуколичественного спектрального анализа меди, мышьяка, свинца и сурьмы в горных породах. Зап. ЛГИ, 1958, т. XXXIII, вып. 2.
-