Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XXXIX, вып. 2, 1961 г.

О ТОЧНОСТИ СПЕКТРАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ РЯДА ЭЛЕМЕНТОВ В МЕТАЛЛОМЕТРИЧЕСКИХ ПРОБАХ

В. В. Хохлов, О. А. Григорьева, Н. Я. Ривлина

В геологической практике при поисках рудных месторождений для геохимической характеристики различных комплексов горных пород и рудопроявлений с успехом используются простые производительные методы спектрального анализа [1—3]. Часто получаемая при этом точность определения содержания в пределах некоторых интервалов (например, 0,001—0,003; 0,003—0,01; 0,01—0,03% и т. д.) при поисках ореолов рассеяния молибдена, олова, свинца, цинка, вольфрама и других рудных компонентов может быть достаточной [2]. Но в ряде случаев появляется необходимость применения массовых методов анализа с более точным определением содержания исследуемых элементов.

При металлометрических съемках для количественной оценки содержания определяемых элементов в пробах рыхлых отложений (наносов) применяют методы появления и усиления спектральных линий [4] или ступенчатого ослабления [5, 6].

Метод появления и усиления линий обладает большой производительностью, не требует сложной дополнительной аппаратуры, достаточно определенно отражает последовательную градацию изменения содержания исследуемых элементов в пробах, однако для точной количественной оценки его возможности ограничены. Для элементов, спектры которых имеют небольшое число линий или эти линии имеют одинаковую чувствительность, метод ослабления для количественных определений практически неприменим.

Метод ступенчатого ослабления линий также отражает последовательное изменение содержания химических элементов в пробах, но дробность градации зависит от градиента ступенчатого ослабления. Более дробное и небольшое ослабление спектральной линии позволяет точнее оценить изменение концентрации в небольших пределах. Ступенчатое ослабление спектра в несколько десятков раз позволяет по одной линии охватить большой диапазон изменения содержания исследуемых элементов в пробах, но при этом содержание оценивается менее дробно [5, 6]. Применение для анализа металлометрических проб платиновых ослабителей или вращающегося ступенчатого спектра с 6—7 ступенями ослабления и при высоте ступенек 0,15—0,1 *мм* (ослабление спектра на два-три порядка) способствует производительности анализа за счет фиксирования большого числа спектров на одну

фотопластинку, но значительная разница в интенсивности двух смежных ступенек ослабителя и недостаточно четкая граница между ними при малой величине ступенек не обеспечивают повышения его точности [2, 7].

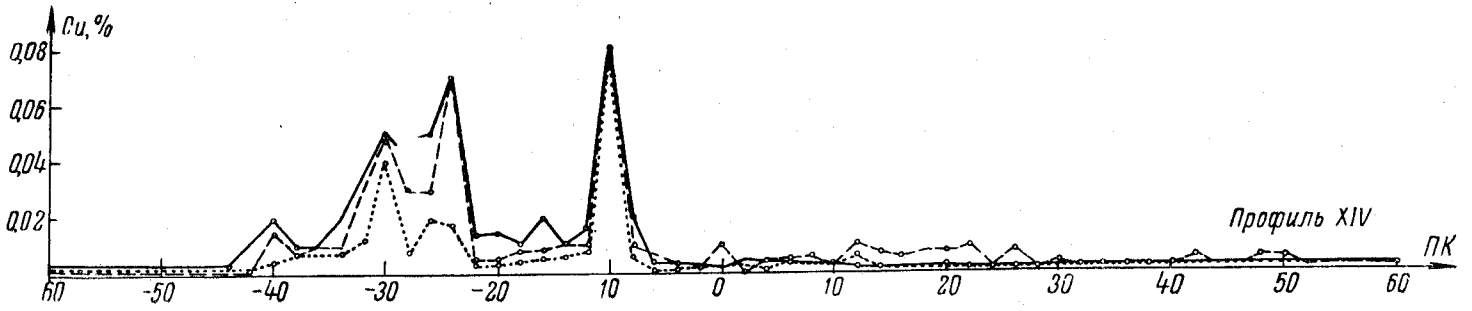
Менее интенсивное ослабление спектра (на один порядок) при значительном числе ступенек и резких границах обусловливает более дробное разделение концентрации по одной линии в небольших пределах. По линии другой чувствительности дробное разделение содержания возможно в другом интервале; пользуясь линиями разной чувствительности и достаточно детальным ослабителем, можно увеличить точность оценки интенсивности (почернения) спектральных линий, что непосредственно способствует повышению точности анализа.

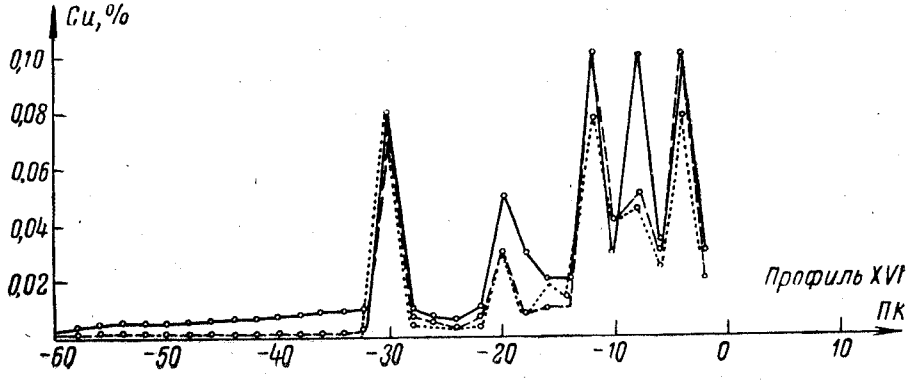
Используя обычный девятиступенчатый ослабитель ГОМЗа на один порядок в комплексе с методом появления и усиления линий, ранее удалось повысить точность упрощенного определения меди в колчеданных рудах в пределе содержаний от 0,1 до 1% [8]. Эти определения просты и возможны для выполнения в любой спектральной лаборатории; они основаны на общедоступных приемах спектрального анализа без применения приборов фотометрирования. Определение концентрации меди устанавливается при помощи ступенчатого ослабителя сравнением абсолютной интенсивности (почернения) спектральных линий меди разной чувствительности в эталонных и анализируемых пробах.

При трехкратном фотографировании спектра для каждой пробы в пределах концентрации 0,1—1% вероятная ошибка сравнительно с результатами химического анализа составляет $\pm 15\%$ (учет ошибки химического анализа не производился). Эта методика может быть использована для количественного определения меди с целью поисков и детальной характеристики новых рудопроявлений медноколчеданных месторождений. Принципиально метод применим и для анализа ряда других химических элементов.

Рассмотренный прием определения меди применялся для сравнительно однородных сульфидных руд, где интересующие содержания составляли 0,1% и выше. Количественное определение меди при меньших содержаниях и переменном составе исследуемых проб значительно сложнее и обусловлено следующими причинами. Медь относится к тем элементам, у которых появление новых линий происходит при значительном увеличении концентрации. При наличии первых десятитысячных долей процента меди в пробах появляются две ее чувствительные линии 3247,54 и 3273,96 Å. При увеличении концентрации они постепенно усиливаются, но до содержания 0,01—0,05% новых линий не появляется (возбуждение спектра в дуге переменного тока из канала угольного электрода). Это обстоятельство затрудняет разделение концентраций меди в пробах до 0,01—0,05% методом появления.

При поисках ореолов рассеяния медного оруденения, где нормальный фон может достигать иногда первых сотых долей процента в четвертичных образованиях и коренных породах, аномальные значения содержания меди относительно фона могут составлять такие количества, которые не зафиксируются появлением новых линий, а интенсивность (почернение) чувствительных линий достигнет насыщения. Видимо, этим обстоятельством отчасти и объясняется меньшая эффективность металлометрической съемки при поисках медных месторождений.





1

2

3

Рис. 1. Содержание меди в металлометрических пробах аномальной зоны по данным:
1 — с применением девятиступенчатого ослабителя; *2* — с применением трехступенчатого ослабителя; *3* — микрохимического (капельного) анализа

Обычная методика регистрации спектра при анализе металлометрических проб над массивами основных и ультраосновных пород не всегда выделяет слабые аномалии меди, в то время как такие аномалии хорошо устанавливаются микрохимическим (капельным) анализом, например, над одной из рудных зон Южного Урала (Н. Ф. Майоров, 1957—1959 гг.) Исследование металлометрических проб этой площади с применением стандартного девятиступенчатого ослабителя при обычно принятых условиях возбуждения и фотографирования спектра позволило разделить сотые доли процента содержания меди в рыхлых отложениях, соответствующих по химическому составу основным и ультраосновным породам. Как и при разделении концентраций меди в медноколчеданных рудах, здесь использовался тот же спектрограф ИСП-22 и девятиступенчатый ослабитель [8], но для определения меньших содержаний. Эталонные пробы меди получены путем введения соответствующих пропорций минерала меди — халькопирита в пустую относительно меди породу — серпентинит. Условия возбуждения и фиксирование спектра не отличались от обычно принятых при металлометрических съемках: спектрограф ИСП-22, дуга переменного тока силой 10 *а*; угли спектральные диаметром 6 *мм*; диаметр канала нижнего электрода, заполненного пробой, 3 *мм*; глубина 4 *мм*; освещение щели трехлинзовым конденсором с промежуточной диафрагмой 5 *мм*; ширина щели спектрографа 0,005 *мм*; экспозиция 60 *сек* (при одновременном определении ряда элементов); пластинки спектрографические, тип I, чувствительностью 1 ед. ГОСТа, эмульсия № 1680, 1957 г.; проявитель метолгидрохиноновый, время проявления 4 *мин* при 20°.

Для удобства выполнения анализа и ориентировки в сложном спектре исследуемых проб ослабитель вмонтирован в специальную шторку (диафрагму), где сделаны вырезы, как при полном спектральном анализе [5, 6], позволяющие передвижением шторки в стык к спектру пробы (к неослабленной части спектра) фотографировать спектр железа и при необходимости — спектр угольных электродов.

Как видно из рис. 1, аномальная зона содержания меди в элювии-делювии уверенно выделяется спектральным анализом. При сопоставлении данных спектрального и микрохимического анализов по всем графикам наблюдается практическое соответствие определения содержания меди в аномальной зоне и нормальном поле от тысячных до десятых долей процента. Таким образом, наглядно подтверждается применимость простых методов спектрального анализа для выделения по аномальным зонам ореола рассеяния медного оруденения в массиве основных и ультраосновных пород.

Рассматриваемая рудная зона, кроме меди в наносах, содержит никель, кобальт, цинк и меньше некоторые другие рудные компоненты. Поэтому в этих же пробах с применением ступенчатого ослабителя выполнено спектральное определение кобальта, никеля и цинка.

Как и для меди [8], по эталонным пробам получена аналогичная зависимость появления линий этих элементов и числа ступеней ослабителя от концентрации. Эта зависимость выражена в табл. 1 и 2 или градуировочных графиках, которые и служат средством (мерой) определения содержания кобальта, никеля и цинка в исследуемых пробах.

Применение девятиступенчатого ослабителя для линий кобальта и никеля разной чувствительности, так же как и для меди, способствует повышению точности определения содержания этих элементов в исследуемых пробах. Это видно по воспроизводимости повторных наблюдений. Например, по повторным анализам проб с повышенным содержанием никеля и кобальта на XII, XVI и XVIII профилях, взятых в порядке

Таблица 1

Появление и усиление линий кобальта с применением девятиступенчатого ослабителя

Концентрация кобальта, %	Число ступеней (интенсивность) линий кобальта, Å				
	3453,51	2407,30	3044,01	2989,59	2587,22
0,001	4+ 5 сл.	—	—	—	—
0,003	6+ 7 сл.	2 сл. 3 оч. сл.	3 сл. 4 оч. сл.	—	—
0,005	7+ 8 оч. сл	3 сл. 4 оч. сл.	3+ 4 сл.	—	—
0,01	8+	5+ 6 оч. сл.	5 сл. 6 оч. сл.	3 сл.	—
0,03	+	5+ 6 сл.	7+ 8 сл.	4+/сл. 5 сл.	—
0,05	+	6+ 7 оч. сл.	8+	5+ 6 сл.	2 сл. 3 оч. сл.
0,1	+	+	+	6+ 7 оч. сл.	3+ 4 оч. сл.
0,3	+	+	+	7+ 8 сл.	4+
0,5	+	+	+	8+	5+ 6 сл.
1,0	+	+	+	+	6+ 7+/сл.

Примечания. 1. Здесь и в табл. 2—5: оч. сл. — очень слабое, едва видимое начертание наблюдаемой ступени спектральной линии; сл. — слабое, но вполне определенное начертание линии; +/сл. — резкое начертание, но недостаточно полное почернение линии; „+" — полное почернение линии (после цифры относится к соответствующей ступени рассматриваемой линии); „—" линия не наблюдается.

2. В связи с присутствием тысячных долей процента кобальта в серпентините использовались эталонные концентрации до 0,01% в граните, с 0,03% — в серпентините.

Таблица 2

Появление и усиление линий никеля с применением девятиступенчатого ослабителя

Концентрация никеля, %	Число ступеней (интенсивность) линий никеля, Å			
	3414,74	3050,82	2943,91	2394,51
0,001	5+ 6 оч. сл.	2+ 3 сл.	—	—
0,003	6+ 7 сл.	5+ 6 сл.	—	—
0,01	8+	6+ 7 оч. сл.	—	—
0,03	+	7+	2 сл.	—

Продолжение табл. 2

Концентрация никеля, %	Число ступеней (интенсивность) линий никеля, Å			
	3414,74	3050,82	2943,91	2394,51
0,1	+	+	5+ 6 оч. сл.	—
0,3	+	+	6+ 7 оч. сл.	2 сл.
1,0	+	+	7—	4 сл. 5 оч. сл.

Примечание. Основа эталонных проб никеля — диабаз.

последовательности отбора, где вычисленная средняя арифметическая относительная ошибка по 47 наблюдениям составляет: 19% для никеля (содержание от сотых долей до 1%) и 30% для кобальта (содержание от тысячных до сотых долей процента). Присутствие цинка обнаружено в единичных пробах от 0,02 до 0,1%, повторными анализами определение цинка полностью подтверждается, но для точной характеристики воспроизводимости по цинку число повторных значений недостаточно.

Приведенные данные свидетельствуют о возможности получения достаточно хорошей точности простыми приемами спектрального анализа без приборов фотометрирования.

Однако, несмотря на простоту выполнения анализа и значительное повышение точности, применение стандартного девятиступенчатого ослабителя для массовых анализов, особенно в экспедиционных условиях, может быть ограничено из-за увеличения расходования фотографического материала (пластинок или пленок). Использование всех ступеней ослабителя делает необходимым получение широкого спектра. Следовательно, на пластинке формата 9×12 или 9×24 спектрографа ИСП-22 или ИСП-28 можно получить 5—6 спектров отдельных проб. Фотографирование же одиночных узких спектров в методе «появления» дает возможность получать до 60 доброкачественных спектров на таком же формате пластинки. Использование девятиступенчатого ослабителя при массовых анализах может оказаться неэкономичным.

При площадной металлометрической съемке в комплексе с электроразведочными методами на Южном Урале, где требовалось повышение точности спектрального анализа на медь, кобальт, никель, цинк, свинец, нами рекомендован трехступенчатый ослабитель, прилагаемый к спектрографу ИСП-28. Высота спектра с таким ослабителем меньше, чем с девятиступенчатым, и позволяет фотографировать на пластинку до 35 спектров проб. Для получения просвета между спектрами при перемещении кассеты на 2 *мм* ширина первой и третьей ступеней ослабителя несколько уменьшается (заклеиванием наружного края на 0,1—0,2 *мм* полосками черной бумаги). Ослабитель имеет плотно расположенные относительно друг друга три узкие полоски: средняя — вторая ступень имеет полное пропускание света, ниже — третья ступень пропускает половину, а первая ступень, расположенная над неослабленной второй, пропускает только 10% света. Таким образом, для каждой пробы получается три спектра различной интенсивности. В дальнейшем, кроме уменьшения верхней и нижней ступеней, для съемки спектра железа в стык к спектру пробы на платиновом слое кварцевой пластинки

ослабителя вплотную к третьей ступени и сбоку сделан соответствующий прямоугольный вырез (защитная кварцевая пластинка снимается после растворения шеллака — клея — в спирте). Можно также через другой дополнительный вырез фотографировать спектр железа наполовину неослабленной ступени (при фотографировании спектра пробы эта часть ослабителя перекрыта экраном — полоской черной бумаги). Таким образом, при необходимости спектр железа можно получить или внутри трехступенчатого спектра пробы, или рядом с ним (рис. 2). Ослабитель одинаково удобно использовать для работы со спектрографами ИСП-28, ИСП-22, ДФС-8, ДФС-13 и др.

Относительно постоянное содержание железа в пробах, что часто имеет место в практике металлометрической съемки [7], можно использо-

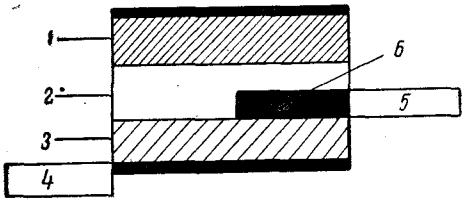


Рис. 2. Расположение ступеней ослабителя и вырезов на платиновом слое кварцевой пластинки для фотографирования спектра железа:

1, 2, 3 — ступени ослабителя; *4* — вырез для фотографирования спектра железа около спектра пробы; *5* — вырез для фотографирования спектра железа внутри трехступенчатого спектра пробы; *6* — экран

вать для разделения интенсивности (почернения) аналитических линий путем сравнения их с линиями железа разной интенсивности (фотографическое интерполирование [9]), особенно в тех случаях, когда затруднено применение метода появления линий. Сравнение почернения (интенсивности) ступенчато ослабленных линий исследуемых элементов с линиями железа разной интенсивности мы и опробовали для количественного определения меди в наносах на различных участках Южного Урала. С этой целью составлена табл. 3, которая отражает зависимость появления трехступенчато ослабленных линий меди от концентрации при сравнении их интенсивности с линиями железа в спектре пробы. Здесь как и для составления аналогичной таблицы с применением девятиступенчатого ослабителя, употреблены эталонные содержания меди в серпентините и добавочно эталоны, состоящие из смеси окислов элементов породообразующих минералов, а по соотношению компонентов соответствуют примерно составу основных пород. Это позволяет получить таблицу с достаточно дробным разделением концентрации не более чем по трем аналитическим линиям.

Как видно из табл. 3, изменение интенсивности линий меди вполне соответствует содержанию эталонов состава серпентинита и смеси окислов; концентрации меди 0,001; 0,01; 0,1 и 1% в разных типах, независимо от приготовленных эталонов, характеризуются одинаковой интенсивностью линий (почернением).

Градуировочные таблицы с трехступенчатым ослабителем получены также для свинца (табл. 4), никеля (табл. 5), кобальта, цинка.

Для свинца, никеля и ряда других элементов имеется достаточное число линий с постепенным уменьшением чувствительности, а более дробное деление концентрации по их интенсивности достаточно хорошо выполняется ослабителем без сравнения с линиями железа. При необходимости такое сравнение можно делать. Градуировочные таблицы, полученные с трехступенчатым ослабителем, вполне определенно и достаточно дробно разделяют эталонные концентрации меди, свинца, никеля, кобальта, цинка; число используемых аналитических линий ограничивается в основном двумя и реже тремя линиями разной чувствительности.

Таблица 3

Появление и усиление линий меди при трехступенчатом ослаблении и сравнение их интенсивности с линиями железа в спектре пробы

Концентрация меди, %	№ ступени	Характеристика интенсивности линий меди, Å					Состав эталона
		3273,96			2824,38	2618,38	
0,001*	1	оч. сл.	←	Fe 3271,00			Серпентинит, смесь окислов
	2						
	3						
0,002	1	сл.	↔	Fe 3271,00			Смесь окислов
	2						
	3						
0,003	1	+/сл.	→	Fe 3271,00			Серпентинит
	2		←				
	3			Fe 3280,26			
0,005	1	+					Серпентинит
	2		→				
	3			Fe 3280,26			
0,01*	1	+	←				Серпентинит, смесь окислов
	2						
	3		→	Fe 3280,26			
0,02	1	+	←		оч. сл.		Смесь окислов
	2						
	3		→	Fe 3280,26			

0,03	1	+	⟷	Fe 3286,75					Серпентинит
	2				сл.				
	3								
0,05	1								Серпентинит
	2				+/сл.				
	3					→	Fe 2827,89		
0,1*	1								Серпентинит, смесь окислов
	2								
	3				+/сл.	⟷	Fe 2827,89		
0,3	1								Серпентинит
	2					→	Fe 2828,81		
	3				+	←			
0,5	1				сл.			оч. сл	Серпентинит
	2					←			
	3					→	Fe 2827,89		
1,0*	1				+/сл.	⟷	Fe 2823,28	сл.	Серпентинит, смесь окислов
	2								
	3								

Примечания. I. Интенсивность линии меди относительно интенсивности сравниваемой линии железа: ⟵ слабее; ⟷ равна; ⟶ сильнее; ⟵⟷ равна-слабее; ⟷⟶ равна-сильнее.

II. Для табл. 3–5, в отличие от указанных выше условий фотографирования спектров, был использован спектрограф ИСП-28; ток постоянный 12 *а*; экспозиция 40 *сек*; пластинки спектрографические, типа I; эмульсия № 687, 1958 г.; температура проявителя 22°.

* Концентрация меди, соответствующая эталонам состава серпентинита и состава смеси окислов.

Уменьшение числа аналитических линий при количественном определении содержания исследуемых элементов в металлометрических пробах увеличивает производительность анализа, а применение трехступенчатого ослабителя расширяет его возможности. Спектрограмма с трехступенчатым ослабителем получается чище, легче «читается», по ней увереннее ведется определение интересующих элементов, визуально проще и легче выполняется оценка относительной и абсолютной интенсивности (почернения) просматриваемых линий.

Таблица 4

Появление и усиление линий свинца с применением трехступенчатого ослабителя

Концентрация свинца, %	Число ступеней (интенсивность) линий свинца, Å		
	2614,18	2663,17	2401,95
0,001	3 сл.	—	—
0,003	3 +/сл.	—	—
0,005	3+	—	—
0,01	+	2 сл.	—
0,03	1 оч. сл.	3 оч. сл.	—
0,05	+	3 +/сл.	—
0,1	+	3+	—
0,3	+	1 оч. сл.	2 оч. сл.
0,5	+	1 сл.	3 оч. сл.
1,0	+	1+	3 +/сл.

Примечание. Эталоны Горного института, основа — гранит.

На рис. 1 сопоставлены данные спектрального определения меди, полученные с применением девяти- и трехступенчатого ослабителя. Между этими определениями наблюдается полное соответствие и хорошая сходимость с результатами микрохимического (капельного) анализа. Данные, приведенные на рис. 1, получены разными лицами и в разное время: микрохимический анализ выполнен Е. Н. Евгеньевой и О. И. Петелиной в 1957 г.; спектральный анализ с применением девятиступенчатого ослабителя — О. А. Григорьевой в 1958 г., а с применением трехступенчатого ослабителя — Н. Я. Ривлиной в 1959 г. Здесь при спектральных определениях применялись эталонные концентрации меди в пробах серпентинитового состава, градуировочная таблица (с трехступенчатым ослабителем) по сравнению с табл. 3 — менее дробная и более простая.

Погрешность результатов спектрального определения содержания меди трехступенчатым ослабителем на основании повторных анализов проб по XIV и XVI профилям характеризуется средней относительной

[10] арифметической ошибкой 21,5% (для содержаний меди в пробах от 0,005 до 0,1%).

Таблица 5

Появление и усиление линий никеля с применением трехступенчатого ослабителя

Концентрация никеля, %	Число ступеней (интенсивность) линии никеля, Å	
	3002,49	2943,91
0,001	2 +/сл. 3 оч. сл.	—
0,002	2 +/сл. 3 оч. сл.	—
0,004	3 +/сл.	—
0,01	1 оч. сл.	—
0,02	1 сл.	2 оч. сл.
0,04	1 +/сл.	2+ 3 сл.
0,1	1+	3+
0,2	1+	1 оч. сл.
0,4	1+	1 +/сл.
1,0	1+	1+

Примечание. Эталоны, где основа — смесь окислов.

С целью проверки применимости трехступенчатого ослабителя для определения малых содержаний меди в наносах анализу подверглись пробы в последовательности отбора по XXVIII профилю, где определяемые содержания меди характеризуют и нормальный фон, и аномальную зону (рис. 3). Геологические условия этого участка и состав проб отличаются от рассмотренных на рис. 1.

Для оценки воспроизводимости количественного определения меди при таких содержаниях указанные пробы проанализированы дважды. Средняя арифметическая погрешность повторных определений по 64 пробам, содержащим от тысячных до десятых долей процента меди, равна 21% (см. табл. 6). Попутно в качестве эксперимента спектральному анализу подверглись нерастертые пробы. Результаты этих определений также нанесены на график рис. 3. Среднее арифметическое отклонение данных анализа нерастертых проб относительно средних значений первого и повторного анализов растертых проб (для 64 случаев) составляет около 25%, что сопоставимо с погрешностью применяемого метода. По-видимому, медь в этих отложениях находится в такой форме, которая может обусловить ее рассеянное состояние в разных фракциях. Практически это обстоятельство может упростить обработку проб. Однако для более определенных выводов этот вопрос требует специального изучения.

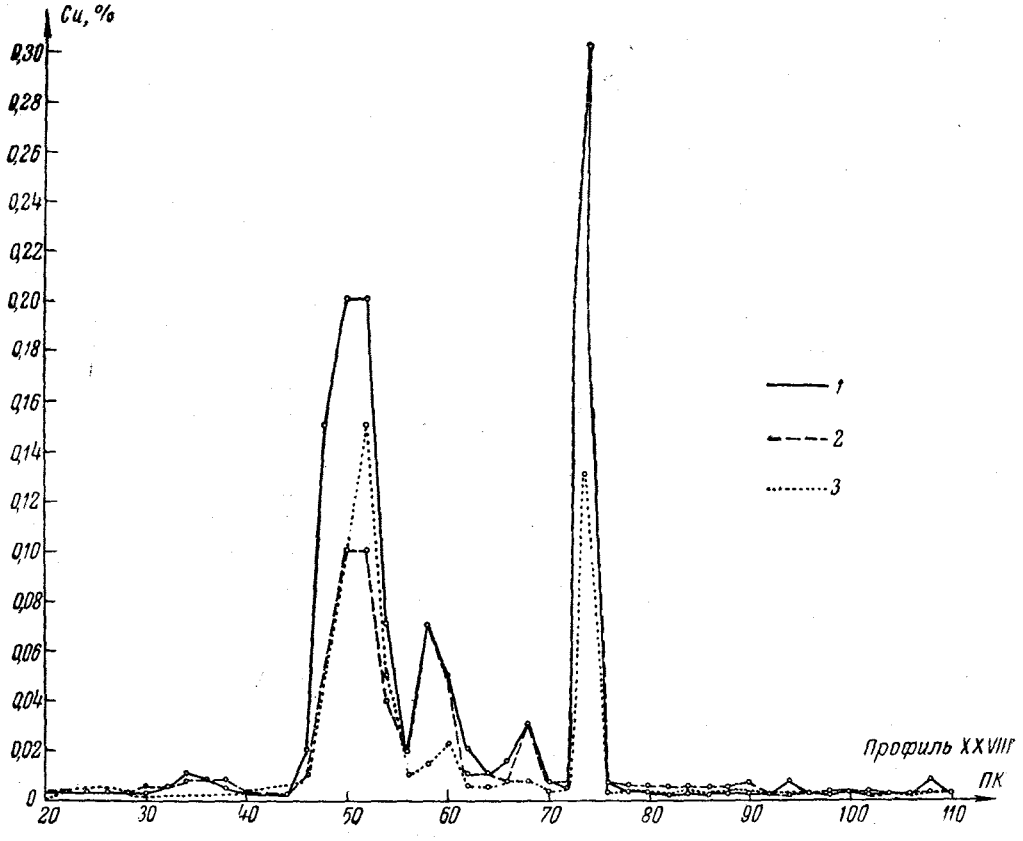


Рис. 3. Содержание меди в металлометрических пробах аномальной зоны по данным спектрального (в растертых *1* и нерастертых *2* пробах) и микрохимического *3* (по Н. Ф. Майорову, 1958 г.) анализов

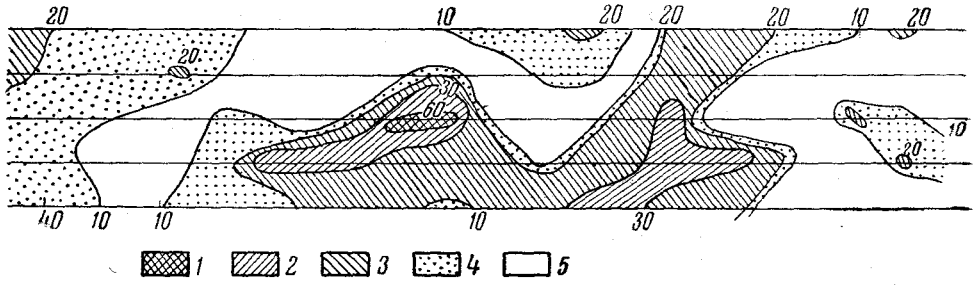


Рис. 4. План изоконцентрации меди на одном из участков Южного Урала *:
1 — > 0,06% (> 60); *2* — 0,06–0,03% (60–30); *3* — 0,03–0,02% (30–20); *4* — 0,02–0,01% (20–30); *5* — < 0,01 (< 10)

* Контрольный отбор проб, детализация и спектральные определения выполнены совместно с П. Н. Жирновым в 1958 г.

Таблица 6

Повторные определения содержания меди в металлометрических пробах на XXVIII профиле

№ точки	I определение	II определение	Δ	Δ, %	№ точки	I определение	II определение	Δ	Δ, %
20	0,003	0,003	0	0	84	0,007	0,005	+0,002	28,5
22	0,003	0,003	0	0	86	0,005	0,003	+0,002	40
24	0,003	0,003	0	0	88	0,005	0,005	0	0
26	0,003	0,003	0	0	90	0,005	0,003	+0,002	40
28	0,003	0,003	0	0	92	0,005	0,002	+0,003	60
30	0,003	0,003	0	0	94	0,01	0,007	+0,003	30
32	0,005	0,005	0	0	96	0,003	0,003	0	0
34	0,01	0,008	0,002	20	98	0,002	0,002	0	0
36	0,008	0,008	0	0	100	0,003	0,005	—0,002	66,6
38	0,005	0,005	0	0	102	0,002	0,002	0	0
40	0,003	0,005	—0,002	66,6	104	0,003	0,002	+0,001	33,3
42	0,003	0,002	0,001	33,3	106	0,003	0,008	—0,005	166,6
44	0,002	0,002	0	0	108	0,003	0,003	0	0
46	0,02	0,02	0	0	110	0,002	0,003	—0,001	50
48	0,15	0,1	+0,05	33,3	112	0,003	0,003	0	0
50	0,3	0,2	+0,1	33,3	118	0,003	0,003	0	0
52	0,3	0,2	+0,1	33,3	120	0,003	0,003	0	0
54	0,07	0,08	—0,01	14,3	122	0,003	0,002	+0,001	33,3
56	0,02	0,03	—0,01	50	124	0,003	0,002	+0,001	33,3
58	0,07	0,07	0	0	126	0,005	0,003	+0,002	40
60	0,05	0,05	0	0	128	0,002	0,003	—0,001	50
62	0,02	0,02	0	0	130	0,003	0,003	0	0
64	0,01	0,01	0	0	132	0,002	0,003	—0,001	50
66	0,01	0,015	—0,005	50	134	0,002	0,003	—0,001	50
68	0,03	0,03	0	0	136	0,002	0,003	—0,001	50
70	0,007	0,005	+0,002	28,5	138	0,002	0,003	—0,001	50
72	0,005	0,005	0	0	140	0,003	0,003	0	0
74	0,3	0,3	0	0	142	0,003	0,003	0	0
76	0,01	0,007	+0,003	30	144	0,003	0,003	0	0
78	0,005	0,003	+0,002	40	146	0,003	0,003	0	0
80	0,005	0,005	0	0	148	0,003	0,003	0	0
82	0,005	0,002	+0,003	60	150	0,003	0,003	0	0

Средняя арифметическая ошибка 21,0%.

Градуировочные таблицы с применением трехступенчатого ослабителя использованы (А. С. Демидовцевым) в полевых работах геофизической экспедиции при металлометрической съемке на медь, свинец, цинк, никель и кобальт. Получены интересные в практическом отношении результаты, фиксирующие по ореолам рассеяния новые рудопроявления на Южном Урале меди (рис. 4), свинца и цинка. Аномальные зоны не отличаются высоким абсолютным содержанием меди или свинца, однако, как видно из рис. 4, они оконтуриваются вполне уверенно. Это обстоятельство имеет большое практическое значение для поисков глубоко залегающих рудных тел, особенно при высоком фоне содержания элементов в наносах.

Определение трехступенчатым ослабителем опробовано нами и для выделения (корреляции) конкретных стратиграфических горизонтов по содержанию меди в глубоких скважинах на Русской платформе (при контроле других методов спектрального анализа по разрезу скважины Мосолово в Рязано-Саратовском прогибе). Этим подтверждается пригодность определения содержания трехступенчатым ослабителем для изучения ряда рассеянных элементов и их геохимических закономерностей в осадочных горных породах.

Таким образом, применение трехступенчатого ослабителя увеличивает возможности количественной градации метода появления и усиления спектральных линий, повышает качество и точность анализа.

Точность определения содержания может быть повышена при уменьшении погрешности в процессе поступления вещества в дуговой разряд. Известно, что введение порошковых проб в горизонтальную дугу приемом воздушного дутья [11] при массовых анализах подтверждает увеличение воспроизводимости анализа при сравнении с обычным (канальным) способом возбуждения спектра [12] Хорошая воспроизводимость анализа за счет стабильности испарения исследуемой навески получена также при использовании автоматической установки В. Г. Теплякова, где достигается равномерное поступление точного количества навески в дугу за время экспозиции, автоматически поддерживается нужное расстояние между электродами, точно сохраняется постоянство времени съемки спектра. Автоматическое устройство осуществляет перемещение кассеты после фиксирования спектра очередной пробы и подачу последующей пробы для поступления в дугу. Установка увеличивает производительность труда, исключает субъективные ошибки при перемещении кассеты, подаче пробы, контроле экспозиции и силы тока, исключает заражение проб. Выполненная на этой установке совместно с В. Г. Тепляковым двукратная съемка 140 порошковых проб керна глубоких скважин позволила оценить воспроизводимость полученных данных по шестиступенчатому ослаблению логарифмически градуированным сектором на два порядка (содержание определено С. И. Фраерман). Средняя арифметическая погрешность для 5 элементов по результатам 570 повторных определений составила 18%.

Изложенное свидетельствует о реальных путях повышения точности спектрального анализа металлометрических проб (в том числе минералов и горных пород). Применение трехступенчатого ослабителя и внедрение автоматической установки В. Г. Теплякова расширяют возможности простых и доступных массовых методов анализа при определении содержания исследуемых элементов, что способствует эффективности металлометрических съемок при поисках рудных месторождений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соловов А. П. Инструкция по металлометрической съемке. Госгеолтехиздат, 1957.
2. Лонцих С. В., Недлер В. В., Райхбаум Я. Д. Спектральный анализ металлометрических проб. Госгеолтехиздат, 1959.
3. Катченков С. М. Спектральный анализ горных пород. Гостоптехиздат, 1957.
4. Прокофьев В. К. Применение спектрального анализа в исследовании минералов и руд. Изв. АН СССР, серия физич., 1937, № 2, стр. 113—126.
5. Клер М. М. Методика приближенного количественного спектрального анализа. Информ. технич. листок Ленингр. дома научно-технич. пропаганды, 1952, № 72 (413).
6. Приближенный количественный спектральный анализ минерального сырья. ВСЕГЕИ. Госгеолтехиздат, 1959.
7. Сергеев Е. А., Степанов П. А. Спектральный анализ металлометрических проб. Геохимические поиски рудных месторождений в СССР. Госгеолтехиздат, 1957, стр. 329.
8. Хохлов В. В. Об ускоренном спектральном количественном определении меди в колчеданных рудах. Зап. ЛГИ, 1952, т. XXVII, вып. 2.
9. Прокофьев В. К. Фотографические методы количественного спектрального анализа металлов и сплавов, ч. II. Гостехиздат, 1951.
10. Квятковский Е. М. Полевая точность геофизических наблюдений. Зап. ЛГИ, 1951, т. XXVI, вып. 2.
11. Русанов А. К., Тарасова Т. И. Спектральный анализ порошкообразных веществ с введением порошков воздухом в зону разряда. Журнал аналитической химии, 1955, т. X, вып. 5.
12. Прохоров В. Г. Применение метода вдувания-просыпки при выполнении массовых металлометрических анализов. «Разведка и охрана недр», 1958, № 6.