Записки Ленинградского орденов Ленина Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLV, вып. 2, 1963 г.

О МЕТОДИКЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ю. Н. Капков

Основными методическими вопросами при геохимических исследованиях являются: определение абсолютных концентраций отдельных элементов, выяснение их парагенетических ассоциаций, а также закономерностей распределения элементов в зависимости от конкретной геологической обстановки. В этой связи возникает необходимость изучения элементов-спутников любых полезных ископаемых, в том числе и урана.

Важными методическими моментами являются: обработка каменного материала, надежность и чувствительность применяемого комплекса анализов, приемы статистической обработки результатов и способы наиболее наглядного изображения полученных данных. Правильно выбранные способы статистической обработки и наглядность материала помогают выявить существенно важные закономерности, которые могут быть скрыты или не улавливаться за обилием аналитических результатов.

Ниже излагается опыт геохимического изучения элементов-спутников урана в четырех рудных районах, расположенных в пределах одной крупной структуры. Рассматриваемая структура вытянута на сотни километров сравнительно узкой полосой в северо-восточном направлении и представлена комплексом разнообразных метаморфических пород, относимых с определенной долей условности к синийской, кембрийской и девонской системам. Пространственное расположение структуры на стыке двух крупных геосинклинальных областей, присутствие крупных интрузивных массивов, а также наличие даек и эффузивов обусловило проявление интенсивных и разнообразных процессов метаморфизма. На территории структуры зафиксирован ряд непромышленных концентраций радиоактивных элементов, сгруппированных в пределах четырех рудных районов. Для удобства описания районы пронумерованы с севера на юг (*I, II, III, IV*). Расстояние между *I* и *IV* районами составляет 200 *км*. Районы *I*, *II* и *IV* расположены в метаморфических породах синия и включают непромышленные рудопроявления урана. Район *III* связан с отложениями кембрийской системы и характерен повышенными концентрациями тория.

В основу методики геохимических работ положены два момента: тщательный учет особенностей геологического строения каждого из районов и целенаправленный сбор каменного материала.

Детальное выяснение черт геологического строения районов имело целью выделение в строгую схему всех разновидностей метаморфических, интрузивных и эффузивных пород. Согласно принятой схеме, в каждом районе проводилось опробование всех разновидностей пород, включая руды и околорудные изменения, интрузивные и эффузивные породы, дайковый комплекс, а также всю гамму метаморфических образо-

ваний. Все пробы отбирались из горных выработок (поверхностных и подземных) и керна. За основу приняты сборные пробы, обеспечивавшие наибольшую представительность. Каждая сборная проба весом 3—5 *кг* (иногда 30—50 *кг*) состояла из восьми-десяти штуфов, отобранных по площади в несколько квадратных метров. Размер площади обусловливался однообразием породы и выбирался исходя из полевой макроскопической оценки литологического состава и интенсивности гамма-излучения породы. В пробы отбирался наименее выветрелый и неизмененный материал. Общее число сборных проб для каждой разновидности зависело от площади распространения породы и принималось оптимальным от 20 до 30. Кроме сборных по площади отбирались также и обычные штуфные пробы. Каждая сборная проба имела образец и шлиф, что позволяло впоследствии уточнять ее привязку и окончательное петрографическое определение.

Дальнейшая обработка сборных проб заключалась в следующем. Вся проба дробилась до 0,5 *мм*. После тщательного перемешивания отбиралась навеска 150 *г*, из которой $^1/_3$ растиралась. Оставшиеся 100 *г* делились на фракции по крупности зерна способом отмучивания и ситования. Фракция с эффективным размером зерен 0,1—0,25 *мм* поступала на минералогическое разделение. Выбор такой крупности объяснялся тем минимальным размером зерен, при котором возможен надежный минералогический анализ, а также присутствием при этом наименьшего числа минеральных сростков. Из всего оставшегося количества пробы отмывался искусственный шлих.

Минералогическое разделение производилось в бромоформе с сохранением легкой фракции. Из тяжелых и легких фракций выделялись их немагнитные, электромагнитные и магнитные составляющие. Преследовалась цель получения по возможности мономинеральных фракций. Такому же разделению подвергался искусственный шлих. Все минералогические фракции взвешивались и определялся весовой баланс каждой сборной пробы.

Полученный таким образом материал подвергался следующему комплексу анализов: а) навеска неразделенной пробы — полному спектральному анализу; люминесцентному анализу на уран валовый U_{Σ} и уран легкорастворимый $U_{лр}$, радиохимическому анализу на радий и торий; б) все минералогические фракции — полному полуколичественному минералогическому анализу, люминесцентному анализу на U_{Σ} и $U_{лр}$; в) мономинеральные фракции — полному спектральному анализу, люминесцентному анализу на U_{Σ} и $U_{лр}$.

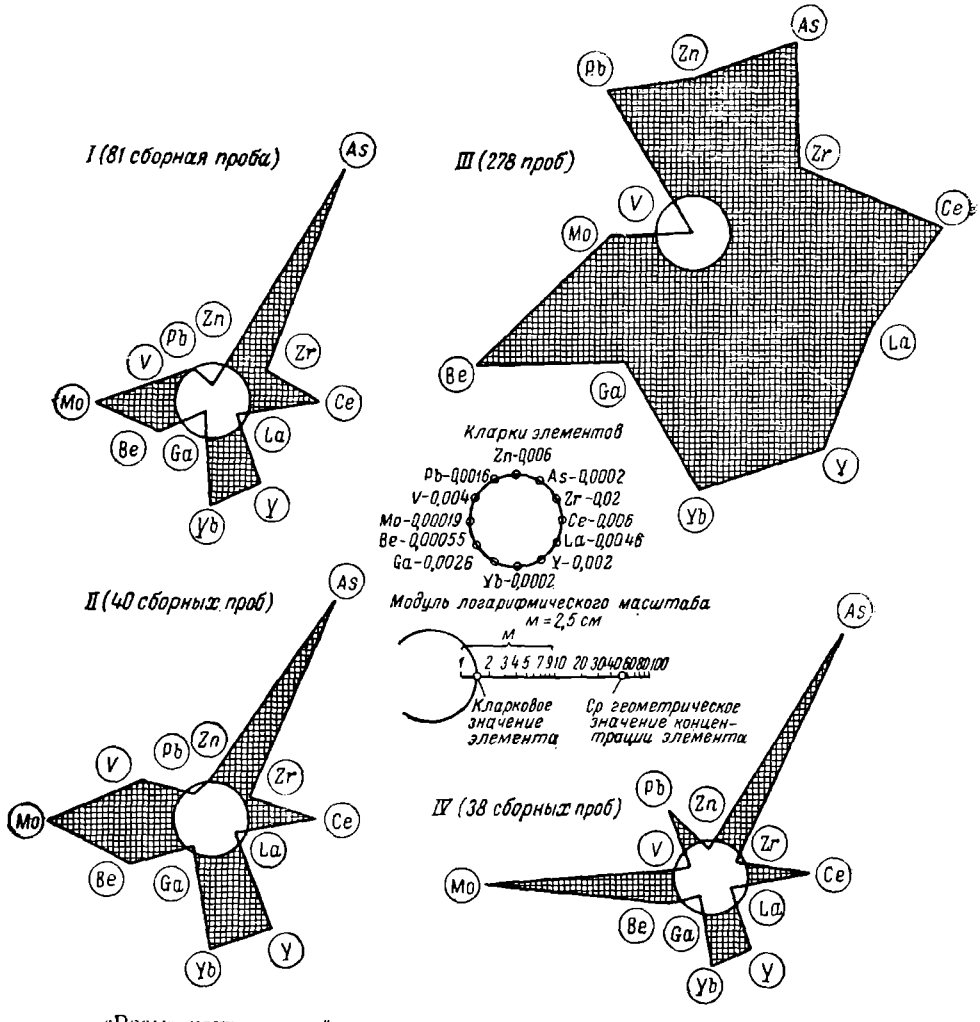
Рассмотрим опыт использования некоторых приемов статистической обработки и способов графического изображения результатов спектрального анализа.

Как известно, спектральный анализ в полуколичественном варианте широко применяется в геологической практике. Но результаты большинства анализов (пород и руд, а не литохимических проб), выполняемых производственными организациями, чаще используются далеко недостаточно. В лучшем случае составляются таблицы или просто результатов анализа, или диапазона наиболее часто встречающихся концентраций элементов. Реже строятся вариационные кривые логнормального распределения концентраций. Обычный же просмотр результатов или даже указанные способы использования анализов часто не позволяют выявить существенные закономерности.

Для пояснения применявшейся методики обработки результатов спектрального анализа в качестве примера используем данные, полученные для рудных проб всех четырех районов [1].

[1] Полный спектральный анализ всех сборных проб из рудных интервалов производился Д. М. Гершманом с порогами количественного открытия элементов по состоянию на 1960—1961 гг.

Первый этап обработки результатов, особенно для малоизученных в геохимическом отношении районов, заключался в построении вариационных кривых логнормального распределения концентраций всех определяемых элементов [1, 3]. Интервал построения кривых $0{,}33\lg 10^{-4}$ весовых % хорошо согласуется с градацией значений концентраций, которую дает спектральный анализ. В соответствии с этим интервалом



«Розы» концентраций элементов для рудных проб четырех районов

обработаны результаты 80 повторных спектральных анализов на 28 элементов (более 2200 анализов в расчете на один элемент) при общем диапазоне концентраций от $3 \cdot 10^{-4}$ до 40%. Оказалось, что абсолютная погрешность в пределах ± 1 интервал, характерна для 92% случаев, а ± 0 интервала для 68,5%. Исходя из этого, принимается, что относительная погрешность по всему диапазону концентраций всех элементов не выходит за пределы $\pm 30\%$ для преобладающего большинства анализов (92%).

Вариационные кривые логнормального распределения используются для качественного выбора комплекса элементов, характерных для тех или иных пород или рудных районов в целом. Окончательное определение парагенетических ассоциаций производится с учетом геологических особенностей и характерных минеральных комплексов.

Дальнейший этап обработки заключался в вычислении по данным спектрального анализа средних геометрических значений концентраций для каждого выбранного элемента по каждой разновидности пород в каждом рудном районе. Выбор средней геометрической объясняется тем, что ее значение наиболее близко соответствует вероятным значениям концентрации элементов в соответствии с логнормальным распределением.

Средние геометрические значения концентраций элементов в рудных сборных пробах

Район	Число сборных проб	Mo	V	Pb	Zn	As	Zr	Ce	La	Y	Yb	Ga	Be
I	81	0,0012	0,0047	0,0015	0,003	0,045	0,035	0,032	0,004	0,008	0,001	0,01	0,001
II	40	0,004	0,011	0,0014	0,006	0,033	0,021	0,032	0,003	0,017	0,0016	0,002	0,0019
III	278	0,0005	0,001	0,036	0,099	0,014	0,147	0,91	0,22	0,361	0,0362	0,027	0,009
IV	38	0,0152	0,0036	0,0041	0,006	0,054	0,016	0,03	0,003	0,005	0,0006	0,0015	0,0007

Приведенная таблица дает первое представление о характере ассоциаций элементов, но утверждать о наличии различия руд сразу по всем элементам затруднительно. Поэтому таблица служит только вспомогательным и исходным материалом для последующего этапа — графического изображения полученных результатов.

Графическое построение выполняется по принципу, напоминающему график «розы ветров». Вместо распределения повторяемости различных направлений ветра по румбам изображаются средние геометрические значения концентраций по элементам. Методика построения таких «роз» сводится к следующему (см. рисунок). Окружность произвольного размера разделяется лучами, проведенными из центра. Число лучей соответствует количеству выбранных элементов (в данном случае 12). Из центра большой окружности проводится круг малого диаметра. Радиус малого круга принимается равным кларку для каждого элемента (по А. П. Виноградову [2]). Средние геометрические значения концентрации каждого элемента откладываются по лучам в логарифмическом масштабе, модуль которого одинаков для всех элементов (на рисунке $M = 2{,}5$ *см*). Так, например, принимается, что кларк свинца для кислых пород равен 0,0016. Тогда при значении средней геометрической 0,036% на луче следует отложить отрезок длиной 3,45 *см*.

Соединяя точки, получаем многоугольник, конфигурация которого отражает характерное для данной породы наиболее вероятное распределение элементов.

Принятый способ построения позволяет как бы привести к общему знаменателю различия кларковых значений, а логарифмический масштаб — получить удобонаблюдаемую фигуру при разности концентраций, достигающей более четырех порядков. Сравнивая приведенные на рисунке многоугольники, можно получить данные, свидетельствующие о сходстве или различии пород или руд по ассоциациям элементов, по значениям местных кларков и аномальных концентраций. При сравнении «роз» концентраций для руд *I*, *II* и *IV* районов сразу обращает внимание весьма близкая форма фигур, которая резко отличается от «розы» для района *III*. Такой вывод вполне согласуется с геологическими данными.

Для района *III* характерно наличие рудопроявлений гидротермально-метасоматического происхождения, связанных с типично щелочной магмой. Руды комплексные со значительным преобладанием тория.

Значение среднегармонического отношения тория к урану $\frac{\sum_{1}^{n} Th}{\sum_{1}^{n} U}$ по сборным рудным пробам для этого района равно 18. Подобная геологическая обстановка должна обусловливать ассоциацию с редкими элементами. «Розой» *III* это четко фиксируется в резком, по сравнению с другими районами, повышении значений средних содержаний таких элементов, как Ce, La, Y, Yb, Ga, Be, Zr.

Районы *I, II* и *IV* включают метаморфические породы синия. Руды этих районов несут непромышленные концентрации урана при практически полном отсутствии тория. Геологически предполагается их единый осадочно-метаморфогенный генезис. Подобие «роз» концентраций (фигуры *I, II, IV*), вероятно, может служить геохимическим подтверждением единого происхождения руд этих районов, не предопределяя, какого именно.

Весьма сходная конфигурация «роз» свидетельствует также о едином парагенетическом комплексе элементов руд районов *I, II* и *IV* и существенно отличается от ассоциации элементов района *III*. Для всех руд этих районов характерна повышенная концентрация Mo, As, Y, Yb. В рудах района *II*, кроме того, добавляются V, Be, а для района *IV* — Pb.

Вариации комплекса характерных элементов зависят от вмещающей среды. Наиболее четко это проявляется для руд района *II*, вмещающими породами которых являются различные графититы и филлиты. Построение «роз» для безрудных графититов и филлитов показывает, что такие элементы как V, Y и Yb находятся в этих породах в аналогичных рудных концентрациях. Это обстоятельство представляет большой интерес, так как указывает на сингенетическое накопление с первичным осадкообразованием таких характерных для осадочных месторождений элементов как V, Y, Yb.

Весьма важным геохимическим фактором, также свидетельствующим о едином генезисе руд районов *I, II* и *IV*, является значение торий-урановых отношений. Значение средне-гармонического отношения тория к урану для района *I* равно 0,05, для *II*—0,06, для *IV*—0,04. Сходимость отношений в пределах ±0,01 вряд ли можно считать случайной для участков, удаленных один от другого на 200 *км*. Все это может свидетельствовать также и о том, что растворы, обрабатывавшие рудовмещающие породы, почти совершенно не несли тория.

Следовательно, примененная методика геохимических исследований и прежде всего способы обработки спектральных анализов, позволили получить объективные результаты, которые хорошо согласуются с геологическими представлениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Разумовский Н. К. Логарифмически-нормальный закон распределения вещества и его свойства. Зап. ЛГИ, 1948, т. XX.

2. Виноградов А. П. Закономерности распределения химических элементов в земной коре. «Геохимия», 1956, № 1.

3. Ahrens L. H. Geochim. Cosmochim. Acta, 1954, v. 3; 1954a, v. 5; 1954b, v. 6; 1957b, v. 11.