

А. Н. ПАЛИЦЫНА, А. Е. ТЮЛЕНЕВ

**АССОЦИАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОРОДАХ
ЛЫСАНСКОГО КОМПЛЕКСА ПО ДАННЫМ КОРРЕЛЯЦИОННОГО
СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 10 XI 1974)

Успешные попытки применения статистических методов по отношению к осадочным породам дают основания получить эффективные результаты при работе с изверженными породами.

Необходимость получения количественных оценок рядов подвижности и ассоциаций элементов обуславливает применение в геохимии количественных измерений степени связи между элементами, и в частности применение корреляционного статистического анализа. Основанные на корреляционном анализе методы выявления индикаторов условий образования отложений вообще подробно рассмотрены в (¹, ²). Сущность одного из методов сводится к следующему. Учитывая сходство свойств соседних элементов в рядах подвижности, можно сделать вывод, что степень согласованности колебаний концентраций будет более высокой для каждой пары рядом расположенных в ряду элементов по сравнению с элементами, расположенными через один, два и т. д. Степень согласованности элементов выражается посредством коэффициентов корреляций. Изучение линейных корреляционных связей между концентрациями элементов позволяет определить положение каждого из них в рядах подвижности. Для этого необходимо расположить элементы так, чтобы распределение коэффициентов корреляции между ними максимально приближалось к идеализированной модели ряда подвижности (²). Сущность другого метода многократной корреляции (²) такова. Использование корреляционного статистического анализа позволяет выявлять в каждом конкретном комплексе пород группы или ассоциации элементов, концентрации которых связаны достаточно сильными положительными связями. Однако непосредственное применение результатов корреляционного анализа для выделения ассоциации элементов не всегда дает удовлетворительные результаты, поэтому для более надежного выделения ассоциаций в пределах того или иного множества элементов необходимо учитывать не только корреляции между самими элементами, но и взаимоотношения каждой пары элементов со всеми остальными элементами. Эти взаимоотношения можно оценить количественно для каких-либо двух элементов путем корреляции парных коэффициентов корреляции каждого из этих двух элементов со всеми остальными коэффициентами корреляции. Расчет коэффициентов корреляции второго порядка позволяет оценить меру статистической связи между всеми элементами множества, характеризующими более высокий уровень их взаимоотношений. Такую операцию можно повторять многократно, вычисляя коэффициент корреляции третьего порядка между коэффициентами второго порядка. В целом, применение метода многократной корреляции позволяет выявлять в пределах каждого конкретного геологического объекта «иерархию» ассоциаций элементов разной степени общности.

В соответствии с рассмотренными выше принципами в нашем институте Ю. К. Бурковым разработаны алгоритмы и программы для вычисле-

ния на ЭВМ количественных характеристик рядов подвижности и ассоциаций элементов.

По изложенной выше методике методом многократной корреляции ⁽²⁾ были исследованы породы из Лысанского габбро-пироксенито-серпентинитового комплекса в Восточных Саянах.

Интрузивные массивы описываемого комплекса, приуроченного к тектонической зоне северо-западного простирания, в плане и разрезе представляют собою тела линзообразной изогнутой формы, протягивающиеся на 1,5—5 км при мощности 0,2—1,0 км; на глубину они прослеживаются более чем на 0,5 км. Массивы имеют полосчатое внутреннее строение. В ядре типичного массива обычно наблюдаются апоперидотитовые серпентиниты, в состав которых входят в основном серпентин, оливин, титаномагнетит, отчасти ильменит, хлорит, карбонаты. Серпентиниты обрамлены пироксенитами, сложенными титаноавгитом, ильменитом и керсутитом. Пироксениты, в свою очередь, окружены полосой габбро, в состав которого входят плагиоклазы, роговая обманка, отчасти ильменит и апатит.

По вопросу генезиса интрузий существует в основном две точки зрения. О. М. Глазунов ⁽³⁾ считает, что зональность строения массивов обусловлена последовательной инъекцией отдельных порций магмы, следующих во времени от перидотитов (серпентинитов) через пироксениты к габбро. Другого взгляда придерживается И. И. Малышев ⁽⁴⁾: формирование массивов происходило в результате последовательной инъекции магмы от габбро через пироксениты к перидотитам (серпентинитам).

Из керна было отобрано 60 проб серпентинитов, 60 — пироксенитов и 30 — габбро. Все пробы были проанализированы химически и спектроскопически. Для

каждого из массивов были составлены матрицы коэффициентов корреляции, а по ним лучевые диаграммы. На основе последних для каждой группы пород были выведены ассоциации химических элементов, основу которых составляют две полярные, связанные отрицательными корреляциями, ассоциации. Внутри каждой ассоциации взаимоотношения элементов подчеркиваются степенью положительной корреляции (толщиной линии на диаграмме). Сила связи между элементами в результате многократной корреляции может быть «измерена» номером порядка корреляции, в которой в результате повторения операции вычисления парных коэффициентов корреляции последние достигают значения 0,9. Увеличение номера порядка r корреляции показывает уменьшение силы связи ⁽¹⁾.

1 обозначает самую сильную, положительную или отрицательную, корреляцию, 10 — самую слабую, а толщина линии на схеме ассоциаций отражает интенсивность корреляции: самые толстые линии обозначают наиболее жесткую положительную связь, самые тонкие — наиболее слабую.

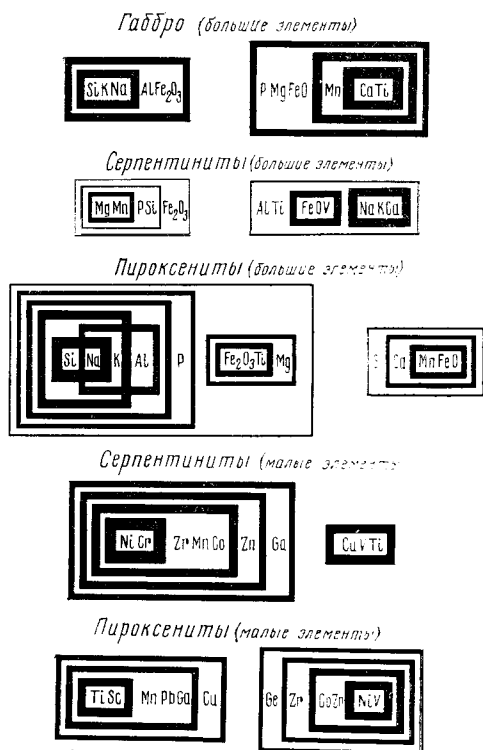


Рис. 1. Ассоциации химических элементов в гипербазитах и габбро. Объяснение в тексте

Габбро. Породообразующие элементы (рис. 1) образуют две антагонистические ассоциации, отличающиеся отрицательными корреляциями. Одну из них образуют жестко ($r=4$) связанные между собой Si, K и Na, менее прочно соединенные с Al и Fe^{3+} ($r=5$). В другой очень прочно скоррелированные ($r=3$) Ca и Ti слабее связаны с Mn ($r=4$) и менее прочно с Mg, Fe^{2+} , P ($r=5$).

Объяснить подробную картину можно, если допустить, что K, Na, Al и Fe^{3+} входят в состав плагиоклазов, а упомянутые элементы вместе с Fe^{2+} и Mg — в состав роговой обманки. Другая антагонистическая ассоциация, по-видимому, входит в состав ильменита и отчасти апатита.

В целом результаты анализа мономинеральных фракций подтверждают нашу догадку.

Пироксениты. Как видно из рис. 1, породообразующие элементы образуют две антиподные ассоциации. Одна из них представлена двумя группами элементов: жестко связанные ($r=3$) Si и Na менее прочно связаны через Na с K, Al ($r=5$) и P ($r=7$); в другой группе слабо соединенные ($r=6$) Fe^{3+} и Ti еще менее прочно коррелируются с Mg ($r=7$). В иной ассоциации слабо связанные ($r=6$) Mg и Fe^{2+} так же слабо соединены с Ca ($r=7$) и S ($r=8$).

Как и в габбро, здесь отмечена ассоциация Si, K, Na и Al. Однако в отличие от последнего, Si начинает «выделяться» из этой группы элементов, благодаря чему оказывается прямо связанным лишь с Na ($r=3$). Кроме того, здесь отмечена обособленная группа элементов, представленная Fe^{3+} , Ti, Mg. Минералогически, видимо, подобную ситуацию можно расшифровать следующим образом: наиболее крупная ассоциация представлена в породе титаноавгитами и керсутитом, а другая, антагонистическая, ассоциация вкуче со слабо соединенными отрицательными корреляциями Fe^{3+} , Ti и Mg — ильменитом. Таким образом, группа Fe^{3+} , Ti и Mg является общей для всех трех минералов. В самом деле, судя по результатам анализа мономинеральных фракций, наивысшие концентрации Si, Na, K, Al, P, Fe^{3+} , Ti и Mg отмечены в титаноавгите и керсутите, а Mn, Fe^{2+} , Ca, S, Mg и Ti — в ильмените.

Из рис. 1 видно также, что основу одной антиподной ассоциации составляют довольно прочно связанные ($r=4$) Ti и Sc, менее прочно соединенные с Mn, Pb, Ca и Cu ($r=5-6$). Другая ассоциация представлена не менее прочно соединенными Ni и V ($r=4$), слабо связанным с Co и Zn ($r=5$) и еще менее прочно — с Zr и Ge ($r=6-7$).

Минералогически, судя по результатам анализа мономинеральных фракций, элементы первой ассоциации представлены в породе ильменитом, а другой — титаноавгитом и керсутитом.

Серпентиниты. Породообразующие элементы, как и в предыдущих случаях, представлены двумя крупными антагонистическими ассоциациями. В одной из них относительно жестко связанные Mg и Mn ($r=7$) коррелируются с Si и P ($r=11$) и Fe^{3+} ($r=13$). В другой ассоциации две группы жестко связанных элементов (Fe^{2+} , V; $r=5$; Na, K, Ca; $r=4$) попарно менее прочно соединены с Al и Ti ($r=10-11$). В отличие от пироксенитов и габбро, Si здесь уже полностью отделен от общей для гипербазитов и габбро ассоциации Al, K, Na и оказывается связанным в другой, антагонистической, ассоциации.

Объяснить подобную ситуацию можно, если допустить, что ассоциация Mg, Mn, P, Si представлена в породе серпентином и оливином, а группы Al, Na, K, Ca входят в состав хлорита и карбоната, Fe^{2+} , V, Ti — ильменита, Fe^{3+} , Fe^{2+} , V, Ti — титаномagnetита. Результаты анализа мономинеральных фракций подтверждают это допущение.

Основу одной из антагонистических ассоциаций малых элементов составляют жестко связанные Ni и Cr ($r=3$), менее прочно соединенные с Zr, Mn, Co ($r=4$), Zn ($r=5$) и Ca ($r=6$). Другая ассоциация представлена относительно слабо связанными рудными элементами — Cu, V, Ti.

Расшифровать эти связи, по-видимому, можно следующим образом: Ni, Cr, Zr, Mn, Co, Zn, Ca входят в состав оливина и серпентина, а рудная ассоциация (Cu, V, Ti) представлена в породе рудными минералами — ильменитом, титаномagnetитом и отчасти сульфидами. Анализы мономинеральных фракций подтверждают это предположение.

Итак, описываемый метод позволил следующее.

1. Выявить ассоциации как специфичные для определенных типов пород, так и общие для гипербазитов и габбро (Al, K, Na).

2. Выяснить генезис гипербазитов и габбро. Нам представляется, что скорее прав О. М. Глазунов ⁽³⁾: инъекция магмы, по-видимому, происходила в направлении от перидотитов (серпентинитов) через пироксениты к габбро — об этом свидетельствует постепенное присоединение Si к ассоциации Al, K, Na (рис. 1), ибо «разрушение» подобного рода ассоциаций происходит лишь при гипергенных процессах.

3. Выявить ряд перспективных элементов, учитывая обособление этих элементов (в нашем примере Cu, V, Ti) в отдельные ассоциации, овегественные в данном случае в породе рудными минералами типа ильменита или титаномagnetита.

Всесоюзный научно-исследовательский
геологический институт
Ленинград

Поступило
10 XI 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Л. И. Боровиков, Ю. К. Бурков, В сб.: Докл. сов. ученых на XXII Международн. геологич. конгрессе, 1968. ² Ю. К. Бурков, В сб. Докл. сов. ученых на VII Международн. седиментологич. конгрессе, 1968. ³ О. М. Глазунов, Геология и геофизика. № 3 (1961). ⁴ И. И. Малышев, Закономерности образования и размещения месторождений титановых руд, 1957. ⁵ И. И. Сауков, Геохимия, 1960. ⁶ А. Е. Тюленев, ДАН, т. 187, № 2 (1969).