

К. Б. КЕНЕЖИНСКАЯ

ЗАВИСИМОСТЬ СОСТАВА БИОТИТОВ СРЕДНЕТЕМПЕРАТУРНЫХ МЕТАПЕЛИТОВ ОТ ДАВЛЕНИЯ

(Представлено академиком В. С. Соболевым 31 III 1971)

Биотиты очень широко распространены в различных метаморфических образованиях и встречаются в разнообразных по составу группах пород, охватывая широкий интервал температур и давлений. Многие исследователи пытались рассмотреть зависимость состава биотитов от термодинамических условий образования (^{1, 6, 8, 10, 13, 17}) и др.). Однако несмотря на такое обилие работ, вопрос о влиянии давления на состав биотитов совершенно не рассматривался. Во всех случаях обсуждается главным образом влияние температуры.

Данная статья ставит своей целью восполнить этот пробел на основании статистического сравнения составов биотита из метapelитов двух типов метаморфизма: андалузит-силлиманитового и дистен-силлиманитового, характеризующихся различными величинами давления. Исходным материалом послужили полные химические анализы биотитов, имеющиеся в опубликованной литературе (^{1, 5, 7, 9-12, 14-16}) и др.). В расчет включены лишь те анализы, которые удовлетворяют определенным ограничениям, а именно (¹⁰): $99,50 < \Sigma < 100,70$, $Si < 3,00$ (при пересчете на $12O^{2-}$), $Fe^{3+} < 0,35$, $Ca < 0,15$, $Na < 0,20$, $K < 1,00$, $1,00 < (OH + F) < 3,00\%$.

Чтобы отчетливо установить влияние давления, биотиты насколько возможно более подробно расклассифицированы по температурам метаморфизма. В этом отношении метapelиты являются наиболее благоприятным объектом, поскольку в них очень детально картируется метаморфическая зональность по индекс-минералам. Биотиты подразделены на пять групп, отвечающих температурному интервалу амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций. В пределах последней выделены биотиты силлиманитовой и ставролитовой зон. В большинстве случаев выделенные зоны отвечают зонам, приводимым авторами, фациальные подразделения соответствуют схеме метаморфических фаций (³). Автор ограничился биотитами из метapelитов, отвечающих температурному интервалу фаций андалузит(силлиманит)-мусковитовых сланцев (эпидот-амфиболитовой) и силлиманит-биотитовых гнейсов (амфиболитовой), поскольку здесь, во-первых, метаморфическая зональность проявлена наиболее четко и есть достаточно веские критерии выделения двух типов метаморфизма в отношении давления (дистен-силлиманитового и андалузит-силлиманитового) и, во-вторых, по биотитам метapelитов имеется значительное количество аналитического материала из маловариантных полиминеральных парагенезисов. Для обсуждаемых метapelитов набор возможных фаз фактически исчерпывается следующим списком: кварц (Кв), плагиоклаз (Пл), калишпат (КПШ), мусковит (Му), биотит (Би), гранат (Гр), кордиерит (Корд), ставролит (Ст) и полиморфные модификации Al_2SiO_5 — андалузит (Анд), силлиманит (Сил), дистен (Дист). Кроме того, могут быть также рудные минералы, турмалин, циркон, апатит и др.

В табл. 1 приведены средние значения (над чертой) и средние квадратические отклонения (под чертой) главных коэффициентов кристаллохимической формулы биотитов, пересчитанных на $12O^{2-}$, из разных фаций и

Таблица 1

Тип метаморфизма	Дист — Сил			Анд — Сил	
Фация	Дист-гнейсов и амфиболитов	Дистеновых сланцев		Сил — Би-гнейсов (амфиболитовая)	Анд (Сил) — Мусланцев (эпидот-амфиболитовая)
Зона	—	Сил	Ст	—	Сил
Ассоциация	Кв + Пл + + Би + Гр + + Сил + КШШ + + Дист	Кв + Пл + Би + + Гр + Сил + + Му + Дист ± ± Ст	Кв + Пл + Би + + Гр + Дист + + Му + Ст	Кв + Пл + Би + + Гр + Сил + + КШШ + Корд + ± Анд	Кв + Пл + Би + + Гр + Сил + + Му ± Анд ± ± Ст
Парагенетич. тип	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й
Si	2,795 0,039	2,727 0,050	2,678 0,048	2,686 0,068	2,619 0,057
Ti	0,230 0,037	0,181 0,049	0,103 0,023	0,206 0,034	0,131 0,041
Al	1,627 0,114	1,734 0,065	1,747 0,075	1,706 0,111	1,710 0,073
Fe ³⁺	0,141 0,132	0,099 0,076	0,104 0,069	0,092 0,054	0,144 0,080
Fe ²⁺	1,020 0,223	1,100 0,100	0,970 0,134	1,114 0,134	1,078 0,178
Mg	1,017 0,244	0,932 0,167	1,247 0,110	1,088 0,207	1,023 0,149
Na	0,040 0,010	0,082 0,056	0,070 0,038	0,030 0,013	0,050 0,011
K	0,859 0,022	0,849 0,068	0,802 0,031	0,901 0,068	0,816 0,056
(ОН)	1,500 0,217	1,807 0,261	1,956 0,186	1,717 0,241	2,250 0,207
n	8	18	8	15	13

зон дистен-силлиманитового (Дист — Сил) и андалузит-силлиманитового (Анд — Сил) типов метаморфизма.

В химическом составе биотитов с увеличением давления (при относительно постоянной T и составе вмещающих пород, который контролируется единообразием минеральных ассоциаций) установлены следующие изменения: увеличение средних значений для Si ($t = 4,19$, $t_{01} = 2,83$ для 1-го и 4-го типов; $t = 5,62$, $t_{01} = 2,76$ для 2-го и 5-го типов) и уменьшение средних значений для (ОН) ($t = 2,13$, $t_{05} = 2,08$ для 1-го и 4-го типов; $t = 5,09$, $t_{01} = 2,76$ для 2-го и 5-го типов). Дополнительно для 1-го типа установлено уменьшение средних значений K по сравнению с 4-м ($t = 2,21$, $t_{05} = 2,16$), а для 2-го — увеличение Ti по сравнению с 5-м ($t = 2,99$, $t_{01} = 2,76$). Попутно отметим, что в каждом типе связь между Si и ОН и Si и K незначима.

Следует подчеркнуть, что хотя число анализов биотитов в парагенетических типах сравнительно невелико, надежность полученных различий достаточно высока. Это обусловлено тем, что рассматриваемые метapelиты представлены многоминеральными ассоциациями, вариантность которых (при постоянных P и T) невелика, не более 3. Следовательно, состав минералов в них определяется главным образом PT -условиями, а не валовым составом пород.

Из табл. 1 также следует, что с ростом T количество Si в биотитах данных парагенетических типов возрастает, а количество ОН-групп уменьша-

ется, что хорошо согласуется с данными других исследователей также и по биотитам других пород.

В рассматриваемых дивариантных парагенезисах изменение состава биотитов связано со смещением составов фаз. Эти изменения составов биотитов можно отразить при помощи изолиний на PT -диаграмме. Наиболее важным здесь является наклон $(\partial P / \partial T)$ этих изолиний по отношению к кривой равновесия $Kv + Mu = Kшш + Al_2SiO_5$. Не имея эмпирического фактического материала относительно изменения состава биотитов в зависимости от давления, мы не могли бы априори судить о наклонах этих изолиний. Однако только что установленная закономерность влияния P на содержание Si и (OH) в биотитах проясняет этот вопрос и свидетельствует о том, что изолинии содержаний Si и (OH) в биотитах имеют либо отрицательный наклон, либо положительный, но более пологий, чем для кривой $Kv + Mu$. Только в этом случае, переходя из области Анд — Сил-типа метаморфизма к Дист — Сил, т. е. двигаясь вдоль $Kv + Mu$ -кривой в сторону увеличения P , мы получим увеличение содержаний Si и уменьшение содержаний (OH) в биотитах.

Хотя отличия средних значений отдельных переменных состава биотитов из Дист — Сил- и Анд — Сил-типов достоверны, имеются существенные перекрытия области значений этих признаков. Поэтому для выявления более полных отличий представляется целесообразным применить расчет дискриминантных функций, позволяющих учесть весь химический состав биотитов.

Нами принята дискриминантная функция, описанная М. Е. Деминой и О. М. Калининым⁽²⁾, не требующая проверки закона распределения многомерной совокупности и сравнительно простая в вычислении. Общий ее вид

$$D(x) = b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n,$$

где коэффициенты перед x_i вычисляются как $b_i = (\bar{x}_1^i - \bar{x}_2^i) / Si^2$. На наш взгляд⁽⁴⁾, правильное, не возражая против общего вида коэффициентов b_i , в качестве знаменателя использовать произведение средних квадратичных отклонений i -го компонента в 1-й и 2-й совокупностях. Ошибка классификации в этом случае будет определяться эмпирически.

Рассчитанная на основе табл. 1 дискриминантная функция для биотитов из фации силлиманит-биотитовых гнейсов (амфиболитовой) (тип. 4-й) и дистеновых гнейсов и амфиболитов (тип 1-й) имеет вид

$$D(x) = 41,132Si + 19,048Ti - 6,270Al + 6,872 Fe^{3+} - 3,144Fe^{2+} - 1,406Mg - 28,000K - 4,149 (OH). \quad (1)$$

Все биотиты из 1-го типа имеют значения $D(x) > 72,20$. Почти все биотиты 4-го типа (кроме одного) имеют значения $D(x) < 70,60$. Следовательно, значение $D(x)$, равное 71,40, можно выбрать в качестве границы.

Рассчитанная аналогичным образом $D(x)$ для биотитов из пород эпидот-амфиболитовой фации (тип 5-й) и фации дистеновых сланцев (тип 2-й) имеет вид

$$D(x) = 37,895Si + 25,000Ti + 5,063Al - 7,400Fe^{3+} + 1,236Fe^{2+} - 3,655Mg + 8,661K - 8,204(OH).$$

Все анализы биотитов 5-го типа имеют значения $D(x) < 102,40$. Почти все (кроме одного) анализы биотитов 2-го типа имеют значения $D(x) > 102,90$. Следовательно, взяв значение $D(x) = 102,60$ в качестве границы, мы получим, что из 31 анализа неправильно классифицирован лишь один.

В связи с этим появляется практическая возможность диагностировать тип метаморфизма (андалузит-силлиманитовый или дистен-силлиманитовый) по составу биотитов силлиманит- и гранатсодержащих пород даже в тех случаях, когда ни дистен, ни андалузит не обнаружены, т. е. доста-

точно надежно классифицировать в этом плане толщи, до сих пор являвшиеся «немыми» в отношении давления.

Практически, для высокотемпературных метапелитов ($Kв + Пл + КПШ + Би + Гр + Сил \pm Корд$), вычислив дискриминантную функцию по уравнению (1) и получив значение $D(x) > 71,40$, можно биотит с наибольшей вероятностью отнести к Дист — Сил-типу метаморфизма (тип 1-й, а в случае $D(x) < 71,40$ — к Анд — Сил-типу (тип 4-й). Аналогичным образом для среднетемпературных метапелитов ($Kв + Пл + Му + Би + Гр + Сил$), получив значение $D(x)$, по уравнению (2) меньшее 102,60, биотит с наибольшей вероятностью следует отнести к андалузит-силлиманитовому типу (тип 5-й), а в случае $D(x) > 102,60$ — к Дист — Сил-типу (тип 2-й).

Табл. 1, особенно для Дист — Сил-типа метаморфизма, позволяет также сделать некоторые выводы об изменении состава биотитов с ростом T . Можно отметить, что при относительно более или менее постоянных прочих условиях (давлении, составе вмещающих пород и др.) с ростом температуры намечается закономерное увеличение значений Si , Ti и K в биотитах и уменьшение значений $(ОН)$. Среднее содержание Al в биотитах фации Дист-гнейсов меньше, чем в Сил- и Ст-зонах фации дистеновых сланцев. Последнее, очевидно, связано со сменой характера реакций на границе $Kв + Му$ -кривой. В отношении содержаний Mg закономерные тенденции не отмечены. Вышесказанное в значительной степени согласуется с выводами (в отношении T), ранее полученными другими исследователями.

Институт геологии и геофизики
Сибирского отделения Академии наук СССР
Новосибирск

Поступило
15 III 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Д. А. Великлавинский, Тр. Лаб. геол. докембрия, в. 11 (1960). ² М. Е. Демина, О. М. Калинин, В сборн. Вопр. математической геологии, № 1, «Наука», 1968. ³ Н. Л. Добрецов и др., Фации метаморфизма, 1. М., 1970. ⁴ К. Б. Кепежинская, В. В. Хлестов, Статистический анализ минералов группы эпидота и их парагенетические типы, «Наука», 1971. ⁵ С. П. Кориковский, Метаморфизм, гранитизация и постмагматические процессы в докембрии Улокан-Становой зоны, «Наука», 1967. ⁶ В. И. Лебедев и др., В сборн. Минералогия и геохимия, в. 1, 1964. ⁷ Ю. Н. Нагайцев, В. И. Лебедев, Вестн. Ленингр. ун-та, в. 2, № 12 (1969). ⁸ Л. Л. Перчук, Равновесия породообразующих минералов, «Наука», 1970. ⁹ Н. Г. Судовиков, В. А. Глебовицкий, Геологическое развитие глубинных зон подвижных поясов (Сев. Приладожье), «Наука», 1970. ¹⁰ Е. Н. Ушакова, Биотиты метаморфических пород, «Наука», 1971. ¹¹ J. C. Green, Am. Mineral., 48, № 9—10, 991 (1963). ¹² A. Hietanen, Am. J. Sci., 267, № 3 (1969). ¹³ T. A. P. Kwak, Contr. Min. Petr., 26, № 3 (1970). ¹⁴ O. Matějovská, Neues Jahrb. Mineral. Monatsh., H. 6, 249 (1970). ¹⁵ M. Okrusch, Contr. Min. Petr., 22, № 1 (1969). ¹⁶ A. Ono, J. Geol. Soc. Japan, 75, № 10 (1969). ¹⁷ S. K. Sen, K. R. Chakraborty, Neues Jahrb. Mineral., Abh., 108, H 2 (1968).