

**ПАРАГЕНЕТИЧЕСКИЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ МИНЕРАЛОВ  
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ХИМИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ ЩЕЛОЧЕЙ  
ДЛЯ БАТАНАЮЛЬСКОГО МАССИВА ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД**

А. А. МИТЯКИН

(Представлена научным семинаром кафедры петрографии)

Батанаюльский массив щелочных пород расположен в северной части Кузнецкого Алатау по ключу Батанаюл, левому притоку среднего течения реки Урюп. Общая площадь выхода массива на дневную поверхность составляет около  $5,5 \text{ км}^2$  при максимальных размерах в поперечнике  $1,2 \text{ км}$  и по простиранию  $5 \text{ км}$ .

Геологическая позиция района, включающего данную площадь, определяется его положением в пределах краевой девонской ступени Кузнецкого Алатау, граничащей на севере с Чулымо-Енисейской впадиной. В сложении района принимают участие верхнепротерозойские и нижнепалеозойские отложения, перекрытые мощной осадочно-вулканогенной толщей нижнего и среднего девона. Все эти толщи прорваны большим количеством интрузивных массивов щелочных нефелинсодержащих пород.

Нефелиновые породы Батанаюльского массива впервые были обнаружены в виде берешитов М. М. Груниным и К. В. Ивановым при геологосъемочных работах в 1940 г. В дальнейшем он посещался М. В. Ворошиловым (1957) и Ю. Д. Скобелевым (1959). Однако до последнего времени массив был изучен слабо. Берешиты считались составной частью девонской осадочно-эффузивной толщи. При петрографической характеристике отмечались только берешиты и нефелиниты.

В результате полевых исследований, проведенных автором в 1965 г., установлены факты, подтверждающие интрузивный характер тела берешитов, залегающего в виде силла:

1. На границе с вмещающими породами в теле берешитов наблюдается зона закалки со стекловатой основной массой породы.
2. Внутреннее строение силла берешитов характеризуется наличием трех зон в направлении от подошвы к кровле, различаемых по характеру минералов-вкрапленников и по валовому химическому составу. Эти различия вызваны неравномерной скоростью остывания, отчетливо проявившейся в приповерхностных условиях, а также гравитационной дифференциацией, проявившейся на месте.
3. Наличие во вмещающих породах системы трещин, согласных с плоскостями контактов силла берешитов с вмещающими породами.

Массив характеризуется пестрым набором пород, образующих следующий ряд, начиная от первых продуктов дифференциации: лабрадорный берешит, андезиновый берешит, тералит-порфирит, нефелиновый монзонит, нефелиновый сиенит, известково-щелочной роговообманковый

и щелочной лейкократовой сиениты. Для всех пород характерна четко выраженная порфирировая структура — размер зерен минералов-вкрапленников в десятки раз превышает размер зерен основной массы, что вызвано быстро менявшимся тепловым режимом в приповерхностных условиях. Эти же условия не способствовали сколько-нибудь заметному взаимодействию магмы с вмещающими породами на месте окончательной раскристаллизации, за исключением потери ею некоторого количества летучих. Не наблюдается также фактов заметного воздействия поздних инъекций магмы на ранние продукты дифференциации. Исключение составляет лишь процесс становления щелочных калиевых сиенитов, с которым связана калишпатизация как вмещающих пород, так и ранее образовавшихся пород массива. Вышеизложенное позволяет заключить, что состав пород массива, образовавшихся в последовательные этапы, близко приближается к составу магмы, поступавшей отдельными порциями из более глубоких горизонтов земной коры, и проследить ход дифференциации магматического расплава на глубине. Изучение структур пород с учетом вышеизложенных фактов показывает, что нефелин-содержащие породы и, в частности, нефелин возникли из магматического расплава в результате нормального хода кристаллизации. Для массива в целом характерны следующие особенности минералогического состава:

1. Наблюдается большая роль кальция в образовании фемических и салических минералов. В берешитах — ранних продуктах дифференциации — несмотря на значительную недосыщенность кремнекислотой, оливин отсутствует. Вместо него образуется моноклинный пироксен группы диопсида. В этих же породах, несмотря на высокую щелочность, присутствует плагиоклаз высокой основности (№ 70). О большой роли CaO говорит также факт полного замещения нефелина канкринитом и цеолитами и присутствие свободного карбоната.

2. Главную роль в образовании пород массива играли щелочные алюмосиликаты. При этом четко прослеживается уменьшение роли щелочей натрия в направлении от ранних дифференциатов к поздним и повышение активности щелочей калия в этом же направлении. Так, в лабрадоровых и андезиновых берешитах, а также в тералит-порфиритах калий не образует самостоятельных минералов. Его содержание при этом достигает 2%, тогда как Na<sub>2</sub>O составляет 6—7%. Начиная с нефелинового монзонита, роль щелочей калия становится господствующей. В монзоните плагиоклаз присутствует в подчиненном количестве по отношению к калишпату. В нефелиновом сиените последний является единственным минералом из полевых шпатов. В безнефелиновых щелочных сиенитах калишпат также играет главную роль.

3. В направлении от ранних продуктов дифференциации к поздним в породах массива уменьшается содержание CaO и увеличивается SiO<sub>2</sub>.

Исходя из особенностей минералогического состава можно сделать вывод, что течение процесса минералообразования в массиве в значительной степени определялось химической активностью щелочей. Воспользовавшись методами построения диаграмм для многокомпонентных систем, разработанными Д. С. Коржинским и В. С. Соболевым, можно изобразить графически, как менялась химическая активность отдельных компонентов и парагенезисы минералов.

Основными минералообразующими компонентами пород массива являются Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, FeO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Силикатные анализы пород показывают также значительное содержание CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O (содержание каждого из этих компонентов достигает 4%). Однако данные компоненты входят в состав канкринита и цеолитов-минералов, образовавшихся в постмагматическую стадию, поэтому они в расчет приниматься не будут.

Учитывая наличие высококальциевых минералов, а также большое количество свободного карбоната, CaO принимается избыточным компонентом. Как показывают определения оптических констант пироксенов, состав их колеблется довольно сильно, однако это вызвано в основном поведением CaO и MgO, а также Na<sub>2</sub>O при появлении эгирин-авгита. Окись железа входит в состав пироксенов в ограниченных количествах и большая часть железа выделяется в виде магнетита. Поэтому FeO принимается изоморфным компонентом. Принимая на основании вышеизложенного, что Na<sub>2</sub>O и K<sub>2</sub>O являются вполне подвижными компонентами-параметрами, определяющими процесс минералообразования, а P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> принимая обособленным компонентом, так как этот окисел входит только в состав апатита и не влияет на парагенетические взаимоотношения минералов, мы получаем три инертных виртуальных компонента — SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Mg(Fe)O.

Таким образом, все компоненты-окислы системы можно расположить в порядке убывания их химической активности в следующий ряд: Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Mg(Fe)O, CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Ввиду невозможности определения реального состава породообразующих минералов вследствие их замещения вторичными минералами и трудности получения мономинеральных фракций для проведения хим-анализов для дальнейших расчетов реакций минералообразования составы всех минералов: диопсида (Дп), эгириц-авгита (Эг), роговой обманки (Рог), плагиоклаза (Пл), калиевого полевого шпата (Кш), нефелина (Нф) — приняты стандартными.

Теперь рассмотрим поведение системы в зависимости от химических потенциалов щелочей. При принятом распределении компонентов-окислов можно рассчитать ряд реакций для построения моновариантных пучков, увязывающихся в определенную мультисистему. Обозначая без-диопсидовый, безнефелиновый и другие нонвариантные узлы как [Дп], [Нф]..., напомним все возможные реакции минералообразования:

[Дп]

- 1) (Эг) 8Пл + 2K<sub>2</sub>O + 2Na<sub>2</sub>O → 4Кш + 8Нф,
- 2) (Кш) 9,25Пл + 0,25 Рог + 8,65Na<sub>2</sub>O → 4Эг + 14,38Нф,
- 3) (Пл) 8,5Кш + 0,5 Рог + 12,6Na<sub>2</sub>O → 8Эг + 10,25Нф + 4,6K<sub>2</sub>O,
- 4) (Нф) 14,38 Кш + 0,5 Рог + 9,9Na<sub>2</sub>O → 8Эг + 10,25Пл + 7, 2K<sub>2</sub>O,
- 5) (Рог) Кш + 2Нф → 2Пл + 0,5 K<sub>2</sub>O + 0,5Na<sub>2</sub>O.

[Эг]

- 1) (Кш) 2,5Пл + 0,5 Рог + 1,25 Na<sub>2</sub>O → Дп + 4,75Нф,
- 2) (Пл) 2,5Кш + Рог + 1,25Na<sub>2</sub>O → 8Дп + 4,5Нф + 1,25K<sub>2</sub>O,
- 3) (Нф) 4,75Кш + Рог + 0,125Na<sub>2</sub>O → 8Дп + 4,5Пл + 2,38K<sub>2</sub>O.

[Нф]

- 1) (Кш) 4,75Эг + 1,5 Рог → 10,75Дп + 2Пл + 5,75Na<sub>2</sub>O,
- 2) (Пл) 4,5Эг + Рог + K<sub>2</sub>O → 10,25Дп + 2 Кш + 5,5Na<sub>2</sub>O,
- 3) (Рог) Эг + Пл + 0,75K<sub>2</sub>O → 0,5Дп + 1,5 Кш + 0,62Na<sub>2</sub>O.

[Рог]

- 1) (Кш) 0,5Эг + 1,5Нф → 0,25Дп + Пл + Na<sub>2</sub>O,
- 2) (Пл) Эг + Нф + 0,25K<sub>2</sub>O → 0,5Дп + Кш + 1,5Na<sub>2</sub>O,
- 3) (Нф) Эг + Пл + 0,75K<sub>2</sub>O → 0,5Дп + 1,5 Кш + 1,25Na<sub>2</sub>O.

Теоретически для данной шестиминеральной системы можно построить шесть пятиминеральных нонвариантных узлов. Но при заданных физико-химических условиях минералообразования устойчивость сохраняют лишь четыре узла, образующих стабильную мультсистему. Безкалийшпатовый и безплаггиоклазовый узлы образуют между собой метастабильную мультсистему, не связанную с первой.

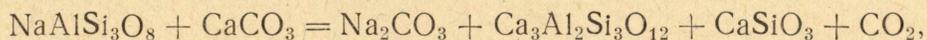
Из всех шестнадцати полей парагенезисов, получившихся в результате построения многопучковой диаграммы (рис. 1), для рассматриваемой шестиминеральной системы представляют интерес поля № 16, № 5 и группа полей 6—7—8—9—10—11. Трехминеральный парагенезис диопсид-плаггиоклаз-нефелин характерен для ранних продуктов дифференциации — берешитов и тералит-порфиринов. Как видно из диаграммы, для данного парагенезиса характерен наивысший потенциал натрия и наименьший — калия. Особенность этого парагенезиса состоит в том, что здесь, несмотря на высокую активность натрия, присутствуют высококальцевые минералы — диопсид и плаггиоклаз № 70. Это обстоятельство подчеркивает большую роль кальция в процессе минералообразования.

В группе полей 6—7—8—9—10—11 присутствует трехминеральный парагенезис плаггиоклаз средней основности — 38-роговая обманка-калиевый полевоый шпат, характерный для безнефелиновых известково-щелочных сиенитов. На диаграмме видно, что для данного парагенезиса с роговой обманкой характерно среднее и примерно равное значение потенциалов натрия и калия. При увеличении потенциала натрия роговая обманка сменяется диопсидом в поле № 16, а при увеличении потенциала калия вместо роговой обманки появляется эгирин-авгит и диопсид поля № 5. Ассоциация эгирин-авгита с нефелином и калишпатом без плаггиоклаза (поле № 5) характерна для нефелиновых сиенитов. Это поле лежит в области наибольшего значения потенциала калия и наименьшего потенциала натрия. Интересным является то, что эгирин-авгит появляется в этой области с наибольшим потенциалом калия. Это обстоятельство объясняется, видимо, тем, что здесь при высокой активности калия становится невозможным образование плаггиоклаза, поэтому натрий идет на построение молекулы эгирин-авгита и нефелина. Из полевоых шпатов здесь присутствует только калиевый. Для диаграммы в целом характерно разграничение всех полей линией (Pог, Дп, Эг) на две группы — группу без плаггиоклаза (правая часть диаграммы) и без калишпата (левая часть диаграммы). Совместное нахождение калишпата и плаггиоклаза возможно поэтому только в узкой зоне вдоль линии (Дп, Эг, Pог). Это говорит о том, что между щелочами калия и натрия шла борьба в процессе магматической дифференциации и минералообразования. Повышение активности одной из щелочей вызывало уменьшение другой, что немедленно сказывалось на характере парагенезисов (присутствие плаггиоклаза или калишпата). Сказанное полностью соответствует характеру фактических парагенезисов — плаггиоклаз и калишпат присутствуют совместно только в нефелиновом монцоните и известково-щелочном сиените — там, где потенциалы щелочей были примерно равными. Во всех остальных породах присутствует какой-либо один из названных минералов.

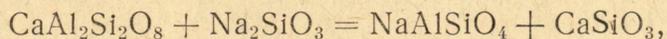
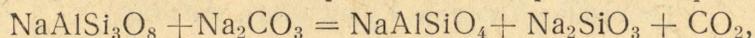
Итак, общий характер парагенезисов минералов в породах массива определяется постепенным уменьшением потенциала натрия от первых продуктов дифференциации к последним и увеличением потенциала калия в том же направлении.

Встает вопрос о причинах мобилизации натрия и образования щелочных нефелинсодержащих пород в ранние стадии дифференциации. Химические анализы пород показывают довольно высокое содержание летучих компонентов в породах массива. Так, в берешитах среднее со-

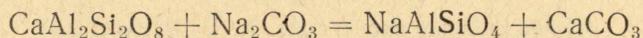
держание  $\text{CO}_2$  достигает 1,30%, а  $\text{H}_2\text{O}$  — 4,79%. Если учесть, что формирование массива происходило в приповерхностных условиях, в результате чего большая часть летучих была потеряна, то можно представить, какую роль играли летучие в магматической дифференциации. В этой связи можно предположить, что имела место реакция, на которую указывал Р. О. Дели (1936):



т. е. при заражении магмы карбонатом возможно образование легколетучего минерала —  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , который стремится к кровле магматического очага. Этот эффект может быть выражен еще резче при содержании большого количества воды. У кровли очага происходят реакции:



и даже когда температура падает достаточно низко:



Обогащенность пород Батанаюльского массива  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$  и наличие высококальциевых минералов дают основание предполагать о взаимодействии исходной магмы с карбонатными породами.