

Б. П. ГРАДУСОВ, А. В. ЗОТОВ, В. Л. РУСИНОВ

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ  
АКТИВНОСТИ ИОНОВ КАЛИЯ НА МЕХАНИЗМ ИЗМЕНЕНИЯ  
БИОТИТА В КИСЛОЙ СРЕДЕ**

*(Представлено академиком Д. С. Коржинским 20 V 1974)*

Триоктаэдрические слюды относятся к минералам, которые сравнительно легко подвергаются различным преобразованиям под воздействием растворов при низких температурах. Как правило, существенные изменения биотита происходят уже в стадию начального эпигенеза (1). Низко- и среднетемпературные процессы тоже обычно начинаются с замещения новообразованными минералами биотита. Например, в процессе грейзенизации биотитовых гранитов биотит замещается мусковитом или литиевой слюдой во внешней зоне колонки, где полевые шпаты не подверглись изменению (2, 3). Вместе с тем известны случаи, когда биотит остается в виде реликтов среди сильно измененных пород, т. е. сохраняется в явно неравновесных условиях. Поскольку указанные различия связаны с кинетикой процессов преобразования биотита, нами были проведены эксперименты по растворению биотита в кислой среде для выяснения возможных механизмов этих реакций.

Эксперименты проводились при 80° в условиях свободного доступа воздуха с фракцией биотита <5 мкм. Продолжительность опытов изменялась от нескольких минут до 1–2 мес. В качестве воздействующих растворов использовались 0,2 и 0,01 М растворы HCl и 1 М AlCl<sub>3</sub>. За кинетикой процесса следили по изменениям твердых фаз, устанавливаемым в основном рентген-дифрактометрическим методом, и по изменению состава растворов, в которых определялись K, Fe, Mg, Al и Si.

Проведенные эксперименты показали, что в рассматриваемых сильно кислых растворах изменение биотита происходит двумя путями: с непосредственным разрушением всей структуры (1) и через замещение слюдистого межслоевого промежутка вермикулитовым с образованием смешанно-слоистых биотит-вермикулитовых фаз (гидробиотитов) и вермикулитоподобных минералов (2). Обе реакции протекают одновременно. В ультракислых условиях (0,2 М HCl, pH 0,9) они имеют, по-видимому, соизмеримые скорости, и процесс быстро заканчивается полным растворением биотита (см. рис. 1). В менее кислой среде (0,1 М HCl, 1 М AlCl<sub>3</sub>, pH 2) скорость 2-й реакции много выше, чем 1-й, в результате чего при выбранной продолжительности опытов изменение биотита заканчивается образованием вермикулитоподобных минералов, которые можно рассматривать как промежуточные продукты при растворении биотита (см. рис. 1).

На соотношение скоростей обеих реакций (1) и (2) и соответствующих им продуктов изменения сильно влияет присутствие в растворе калия. Все проведенные опыты однозначно показывают, что введение в раствор ионов калия препятствует образованию вермикулитовых пакетов и формированию смешанно-слоистых гидробиотитовых фаз, тем более — вермикулита. Так, при опытах с 0,01 М HCl не обнаружено никаких признаков образования вермикулитовых пакетов при содержании в растворе K<sup>+</sup> ≥ 100 мг/л (навеска биотита в опытах — около 20 мг, объем раствора 25 см<sup>3</sup>). Даже при такой низкой концентрации калия, как 25 мг/л, наблюдается лишь очень слабое

расширение рефлекса дифракционного пика при 10 Å. Признаки гидробиотита появляются только в опытах, в которых концентрация калия была понижена до 12,5 мг/л (см. рис. 1).

Таким образом, присутствие в растворе заметных количеств калия практически исключает реакцию (2). В результате существенно уменьшается общая скорость выноса компонента из биотитовой структуры. Так, в ультракислых растворах (рН 0,9), содержащих 0,5 и 1 М КСl, через сутки в твердой фазе еще присутствует негидратированный биотит, тогда как в анало-

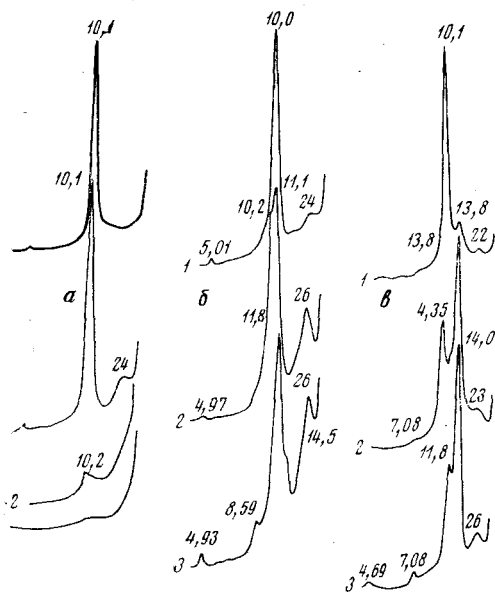


Рис. 1

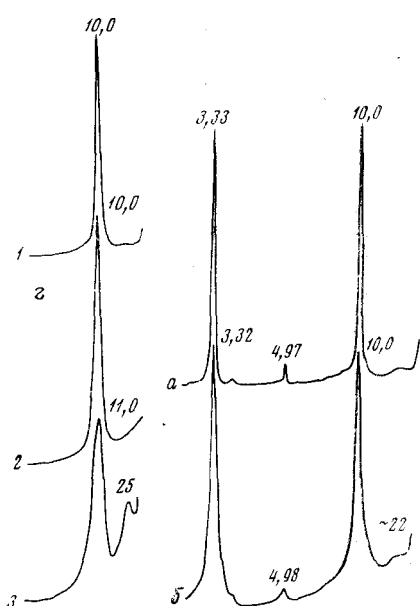


Рис. 2

Рис. 1. Дифрактометрические кривые исходного биотита (кривая в верхнем левом углу) и продуктов его изменения в опытах при 80°: а — с раствором 0,2 М НСl (рН ~ 0,9), продолжительность: 1 — 15 мин., 2 — 3 часа, 3 — 6 час.; б — с раствором 0,01 М НСl (рН ~ 2), продолжительность: 1 — 30 мин., 2 — 1 сутки, 3 — 2 мес.; в — с раствором 1 М АlСl<sub>3</sub> (рН ~ 2), продолжительность: 1 — 30 мин., 2 — 2 часа, 3 — 1 мес.; г — с раствором 0,01 М НСl при различной концентрации калия (1 — 100, 2 — 25, 3 — 12,5 мг/л), продолжительность 3 суток. Ориентированные препараты из фракции <5 мкм

Рис. 2. Дифрактометрические кривые биотита из измененных дацитов одного низкотемпературного гидротермального месторождения (а) и горизонта Λ<sub>1</sub> темноцветной почвы древней террасы среднего течения р. Амазонки (б). Ориентированные препараты из чешуек размером 2—3 мм, предварительно размятых в воде

гичных условиях без калия уже через 3—6 час. не сохраняется никаких кристаллических фаз, устанавливаемых рентгеновским методом. Сходная картина получается и в менее кислых условиях (рН 2). В присутствии ионов калия разложение биотита происходит без образования вермикулитовых пакетов и заметно медленнее, о чем можно судить по выносу компонентов из кристаллической фазы в раствор (табл. 1).

«Защитные» свойства ионов калия проявляются наиболее ярко по отношению к негидратированному биотиту. Даже небольшая начальная гидратация минерала (5—10% вермикулитовых пакетов), по-видимому, резко снижает его способность сопротивляться дальнейшим преобразованиям в сторону вермикулита. Это следует из экспериментов с 0,01 М НСl без предварительного введения в раствор калия. По мере увеличения их продолжительности содержание вермикулитовых пакетов росло вплоть до образования вермикулита, несмотря на то что в растворе содержание калия постепенно увеличивалось, достигая 36—65 мг/л.

В свете изложенных экспериментов можно предположить, что сохранение биотита в виде реликтов при низкотемпературных преобразованиях породы может объясняться «защитным» действием ионов калия в растворах. Примером этому служат околорудные породы одного из низкотемпературных гидротермальных месторождений Забайкалья \*. На этом месторождении встречены дациты, подвергшиеся интенсивному изменению типа кислотного выщелачивания, но сохранившие свежие вкрапленники биотита. Пластинки биотита практически совсем негидратированы (см. рис. 2), тогда

Таблица 1

Состав растворов 0,01 M HCl и 0,01 M HCl+KCl (200 мг/л) после взаимодействия с биотитом в течение 3 суток при 80°

Раствор	Содерж. компонентов после опыта, мг/л				Твердые фазы после опыта
	Al	Mg	Fe	K	
0,01 M HCl	24	43	47	47	Гидробиотит с 40—50% вермикулитовых пакетов Биотит
0,01 M HCl + KCl (200 мг/л)	18	30	33	26 *	

\* Рассчитано исходя из общего содержания калия в растворе (131 мг/л).

как вкрапленники плагиоклаза и основная стекловатая масса почти полностью замещены смешаннослойным минералом слюда-монтмориллонитового типа с примесью каолинита. Судя по парагенезису новообразованных минералов, растворы были умеренно кислыми с относительно высоким содержанием калия. Последнее обстоятельство, по-видимому, и обусловило сохранность биотита.

С подобными явлениями «защитного» влияния калия на изменения характера межслоевого промежутка биотита мы встречаемся в некоторых случаях в зоне гипергенеза, в частности в почвах. Были исследованы чешуйки биотита из темноцветных почв (terra negra) высокой террасы среднего течения р. Амазонки. Как видно (рис. 2), несмотря на гумидные условия, биотит очень слабо гидратирован (в среднем не более 5—10% вермикулитовых пакетов). В то же время, глинистый материал (фракция <1 мкм) этих почв состоит из каолинита, монтмориллонита и гидрослюд. В данных почвах одним из главных источников калия в почвенных растворах может быть разлагающийся растительный опад. Возможно, что поступление биогенного калия в почву и его концентрация в почвенных растворах не постоянны в течение года. С периодами активного потребления элемента растительностью и промыванием почв и может быть связано появление вермикулитовых межслоевых промежутков в биотите. Однако общая высокая концентрация калия в растворах препятствует развитию ряда биотит — вермикулит.

Видимо, в ряде природных обстановок (метасоматизм, гипергенез, педогенез) существуют «критические» концентрации калия, выше которых изменение биотита в сторону вермикулита затруднено. Это не исключает, как было показано выше, других его изменений, в том числе и конгруэнтного растворения.

Почвенный институт  
им. В. В. Докучаева

Поступило  
18.IV 1974

Институт геологии рудных месторождений,  
петрографии, минералогии и геохимии  
Академии наук СССР  
Москва

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> А. В. Копелиович, Тр. Геол. инст. АН СССР, в. 121 (1965). <sup>2</sup> В. И. Коваленко, М. И. Кузмин и др., Критерии рудоносности метасоматитов, Тр. симпозиума, ч. 1 Алма-Ата, 1972. <sup>3</sup> Д. О. Онтоев, Проблемы метасоматизма, М., 1970.

\* Образцы для исследований собраны О. В. Андреевой.