

УДК 548.736.6

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВЫСОКОТИТАНОВОМ БИОТИТЕ. ПРОБЛЕМА «ВОДАНИТА»

Н.В. Чуканов

Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка, chukanov@icp.ac.ru

К.А. Розенберг

Институт кристаллографии РАН, Москва

Р.К. Расцветаева

Институт кристаллографии РАН, Москва, rast@ns.crys.ras.ru

Ш. Мёккель

Альфа-Геофюзик, Готхельффридрихсгрунд, Германия

Изучены химический состав, физические свойства и кристаллическая структура «воданита» – титаносодержащей слюды биотитового ряда из тефрита палеовулкана Ротенберг, Айфель, Германия. Изученный минерал моноклинный, пространственная группа $C2/m$; параметры ячейки: $a = 5.3165(1)$, $b = 9.2000(2)$, $c = 10.0602(2)$ Å, $\beta = 100.354(2)^\circ$. Присутствие титана приводит к искажению октаэдра $M(2)$. ИК-спектр свидетельствует об отсутствии заметных количеств ОН-групп в минерале. Эмпирическая формула высокотитанового биотита: $(K_{0.74}Na_{0.15}Ca_{0.05})_{0.94}(Mg_{1.60}Ti_{0.74}Fe_{0.62}^{2+}Cr_{0.04})_{3.00}[(Si_{2.61}Al_{1.29}Fe_{0.10}^{3+})_{4.00}O_{10}](O_{1.17}F_{0.71})$. Обсуждаются закономерности катионного и анионного изоморфизма, а также генезиса высокотитановых октислюд биотитового ряда. Идеализированная формула конечного члена этого ряда: $K(Mg_2Ti)(Si_3AlO_{10})O_2$.

В статье 5 таблиц, 4 рисунка, список литературы из 26 названий.

Ключевые слова: воданит, титановый биотит, оксибиотит, палеовулкан Ротенберг.

Введение

Название «воданит» впервые упоминается в манускрипте Г. Латтерманна применительно к высокотитановой слюде биотитового ряда из сиенитовых даек вулкана Катценбукель, находящегося в юго-западной части Германии (Katzenbuckel, Odenwald, Baden-Württemberg). Впоследствии этот манускрипт был утерян, но ссылка на него содержится в книге Розенбуша (Rosenbusch, 1910). Происхождение названия минерала связывают с именем языческого бога Водана (Вотана). Порода с «воданитом» была вскрыта базальтовым карьером Михельсберг (Michelsberg), который функционировал до 1974 года. Содержание TiO_2 в «воданите» из Катценбукеля достигает 12.56 мас. % (Rosenbusch, 1910; Hallimond, 1927; см. также Freudenberg, 1920).

Впоследствии высокотитановые триоктаэдрические слюды неоднократно обнаруживали в различных магматических и метаморфических породах – флогопит-лейцитовом лампроите из Западной Австралии (8.97 мас. % TiO_2 ; Prider, 1939), лампрофировых дайках острова Тринидади, Бразилия (до 12.57 мас. % TiO_2 при содержании BaO до 7.11 мас. %; Greenwood, 1998), габбро из Онтарио, Канада (до 8.1 мас. % TiO_2 при содержании BaO до 6.1 мас. %; Shaw, Penczak, 1996), базальтоидах Монголии (до 12.49 мас. % TiO_2 ; Коваль и др., 1988), нефелини-

тах о. Оаху (Oahu), Гавайские острова (до 14 мас. % TiO_2 при высоких содержаниях BaO ; Mansker *et al.*, 1979), карбонатите Анти-Атласа, Марокко (до 13.85 мас. % TiO_2 при содержании BaO до 21.46 мас. %; Ibh *et al.*, 2005), гнейсах Западной Гренландии (до 0.3 ед. Тi на формулу; Думек, 1983), корундосодержащих гнейсах о. Кюсю, Япония (до 17 мас. % TiO_2 , Ушакова, 1971).

Уже в первых публикациях по «воданиту» (Rosenbusch, 1910; Hallimond, 1927) отмечалось аномально низкое содержание воды в этом минерале (0.76 мас. %, при том, что теоретическое содержание H_2O составляет 4.32 мас. % для флогопита и 3.52 мас. % для аннита). Расчёт формул титаносодержащих триоктаэдрических слюд, как правило, свидетельствует о наличии дополнительных атомов кислорода, замещающих группы ОН в свободных вершинах октаэдров. Так, для детально изученного флогопита, содержащего около 3 мас. % TiO_2 , состав этой позиции $(OH)_{1.25}O_{0.65}F_{0.10}$ (Scordari *et al.*, 2006); для флогопита с 8.97 мас. % TiO_2 – $(OH)_{0.93}O_{0.92}F_{0.15}$ (Prider, 1939); для флогопита с 10.85 мас. % TiO_2 – $O_{1.20}(OH)_{0.41}F_{0.39}$ (Stuciani, Zanazzi, 1994); для триоктаэдрической слюды с 12.57 мас. % TiO_2 (Greenwood, 1998) даже в предположении о том, что всё железо в октаэдрических позициях двухвалентное, расчёт формулы приводит к преобладанию О в свободных вершинах октаэдров: $O_{1.04}(OH,F)_{0.96}$.



Рис. 1. Кристаллы титаносодержащего биотита в теффрите. Фото А.В. Касаткина

Приведённые выше факты свидетельствуют о существовании О-доминантных слюд, относящихся к биотитовому ряду (т.е. триоктаэдрических слюд с калием в качестве главного межслоевого катиона). Здесь следует отметить, что названия типа «оксибиотит», «оксианнит», «ферриоксианнит» использовались довольно широко, но в разных смыслах (см. Ohta *et al.*, 1982; Коваль и др., 1988; Rancourt *et al.*, 2001). Как следствие неопределённости термина «оксибиотит», это название было дискредитировано с формулировкой «оксибиотит = окисленный биотит(?)» («oxybiotite = oxidized biotite?» — Burke, 2006). Недавно в качестве нового минерального вида был утверждён оксикиношитацит $Ba(Mg_2Ti)(Si_2Al_2O_{10})O_2$ — Ва-доминантная триоктаэдрическая оксислюда (Kogarko *et al.*, 2005). В то же время в принятой номенклатуре слюд (Rieder *et al.*, 1998) О-доминантные аналоги минералов ряда флогопит-аннит, отсутствуют.

В настоящей работе выполнено комплексное (минералогическое и структурное) исследование высокотитановой триоктаэдрической оксислюды из палеовулкана Ротенберг (Rothenberg), расположенного в пределах эффузивного комплекса Айфель (Eifel), в 4.5 км к северо-западу от Мендига, Германия.

Условия нахождения, свойства и химический состав

Образцы с высокотитановой слюдой, собранные в базальтовом карьере на г. Ротен-

берг, представляют собой обломки кавернозной теффритовой лавы. Главными минералами породы являются нефелин, плагиоклаз и авгит; среди аксессуарных минералов преобладает титаносодержащий магнетит. Слюда образует тёмно-коричневые до чёрных пластинки и призматические кристаллы длиной до 1 мм, нарастающие на стенки полостей (рис. 1), а также врастающие в породу вблизи каверн. В тесной ассоциации со слюдой находят двойники полевых шпатов (санидина и плагиоклаза), кристаллы диопсида и магнетита. Несмотря на то, что слюда образовалась явно позже большинства главных минералов нефелинового сиенита, температуры её кристаллизации были, скорее всего, достаточно высокими. Так, экспериментальные данные для лерцолита демонстрируют возрастание величины отношения Ti:K в флогопите с ростом температуры (до 0.4 при 1150–1250°C, Thibault *et al.*, 1992). Очевидно, образованию оксислюды также способствуют окислительные условия. Например, для Катценбукеля (где впервые был описан «воданит») фугитивность кислорода была на 0.5–1.9 логарифмических единиц выше FMQ-буфера на магматической стадии и ещё выше — на аутометасоматической стадии (Mann *et al.*, 2006).

По сравнению с обычным биотитом, высокотитановая слюда обладает повышенной хрупкостью. ИК-спектр изученного в настоящей работе минерала (рис. 2) отличается от спектров других слюд биотитового ряда тем, что не содержит полос О-Н-валентных колебаний (диапазон 3300–3750 cm^{-1}). Отсутствие

Таблица 1. Химический состав высокотитанового биотита

Компонент	Содержания, мас. %	Пределы содержаний	Эталон
Na ₂ O	1.05	0.97–1.15	Альбит
K ₂ O	7.69	7.60–7.84	Микроклин
CaO	0.64	0.52–0.70	Волластонит
MgO	14.21	14.12–14.26	Диопсид
FeO	11.47	11.35–11.61	Fe
Al ₂ O ₃	14.48	14.35–14.66	Al ₂ O ₃
Cr ₂ O ₃	0.71	0.67–0.75	Cr
TiO ₂	13.08	12.95–13.28	Ti
SiO ₂	34.62	34.49–34.71	SiO ₂
F	2.99	2.64–3.16	CaF ₂
-O=F ₂	-1.26		
Сумма	99.68		

Таблица 2. Координаты и эквивалентные параметры смещений атомов, кратность (Q) и заселенность (q) позиций

Атом	x/a	y/b	z/c	Q	q	B _{экв} , Å ²
M(1)	0	0	0.5	2	1	1.20(1)
M(2)	0	0.3441(1)	0.5	4	1	1.03(1)
T	0.742(1)	0.1675(1)	0.2218(1)	8	1	0.80(1)
K	0	0.5	0	2	1	1.11(2)
O(1)	0.0181(5)	0	0.1653(2)	4	1	1.60(8)
O(2)	0.3218(3)	0.2320(2)	0.1621(1)	8	1	1.59(6)
O(3)	0.1325(2)	0.1702(1)	0.3902(2)	8	1	1.02(6)
X	0.1285(3)	0.5	0.4009(1)	4	1	1.11(7)

Таблица 3. Характеристики координационных полиэдров

Позиция	Состав (Z=2)	Коорд. число	Расстояния катион – анион, Å		
			Минимальное	Максимальное	Среднее
M(1)	0.60Mg+0.40Fe	6	2.046(1)	2.109(1)	2.088
M(2)	1.0Mg+0.74Ti+0.22Fe+0.04Cr	6	1.939(1)	2.133(1)	2.047
T	2.6Si+0.33Al+0.1Fe ³⁺	4	1.6509(9)	1.666(1)	1.655
K	0.7K+0.3Na	12	2.944(1)	3.295(2)	3.110

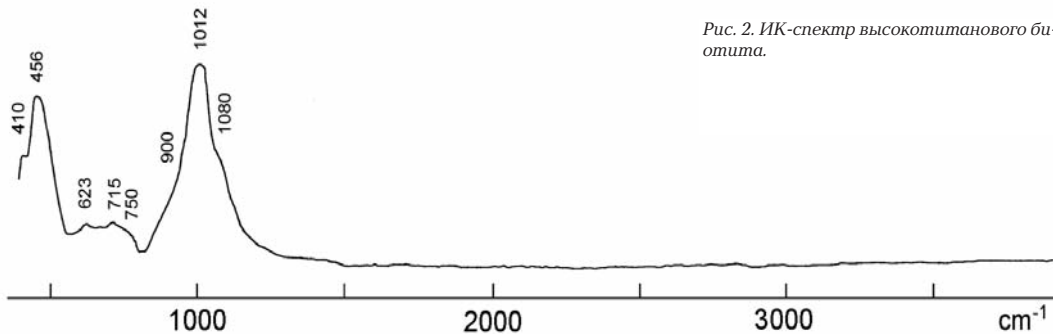


Рис. 2. ИК-спектр высокотитанового биотита.

гидроксильных групп может являться следствием совокупности ряда факторов: дегазации магмы, высокой температуры кристаллизации, высокой активности кислорода, а также кристаллохимическими причинами (необходимость компенсации заряда Ti⁴⁺).

Химический состав высокотитанового биотита из Ротенберга изучен методом локального рентгеноспектрального анализа (табл. 1). Эмпирическая формула минерала, рассчитанная на 7 слоевых (октаэдрических и тетраэдрических) катионов, имеет вид: (K_{0.74}Na_{0.15}Ca_{0.05})_{0.94}(Mg_{1.60}Ti_{0.74}Fe_{0.62}²⁺Cr_{0.04})_{3.00}[(Si_{2.61}Al_{1.29}Fe_{0.10}³⁺)_{4.00}O₁₀](O_{1.17}F_{0.71}). Способ расчёта формулы (на 7 слоевых катионов) выбран с учётом того обстоятельства, что рентгеноструктурный анализ свидетельствует об отсутствии вакансий в катионных позициях TOT-пакета. Небольшой дефицит X-анионов (1.88 вместо 2) может быть связан с тем, что при расчёте формулы всё железо в октаэдрах задавалось как Fe²⁺. Учитывая окислительную обстановку минералообразования, присутствие Fe³⁺ в октаэдрических позициях представляется очень вероятным. Полному заполнению X-позиции (O_{1.29}F_{0.71}) соответствовал бы следующий состав катионов октаэдрического слоя: Mg_{1.60}Ti_{0.74}Fe_{0.38}²⁺Fe_{0.24}³⁺Cr_{0.04}.

Кристаллическая структура

Для проведения рентгеноструктурного исследования был отобран кристалл с размерами 0.1 x 0.2 x 0.3 мм. Монокристалльные дифракционные данные получены на ди-

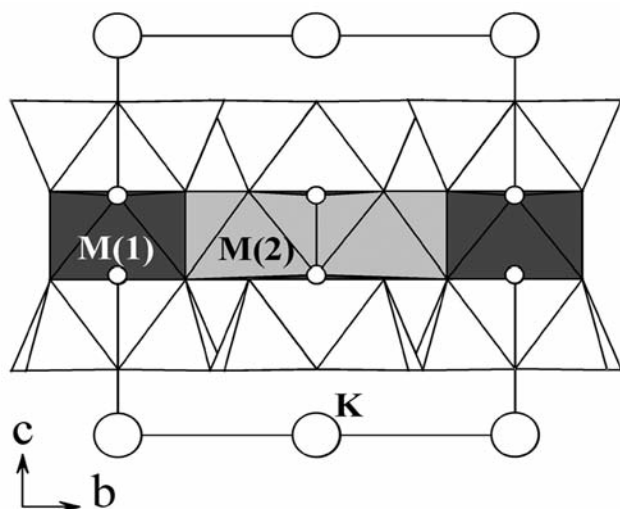


Рис. 3. Кристаллическая структура высокотитанового биотита в проекции на плоскость bc . Позиция K обозначена маленькими кружками.

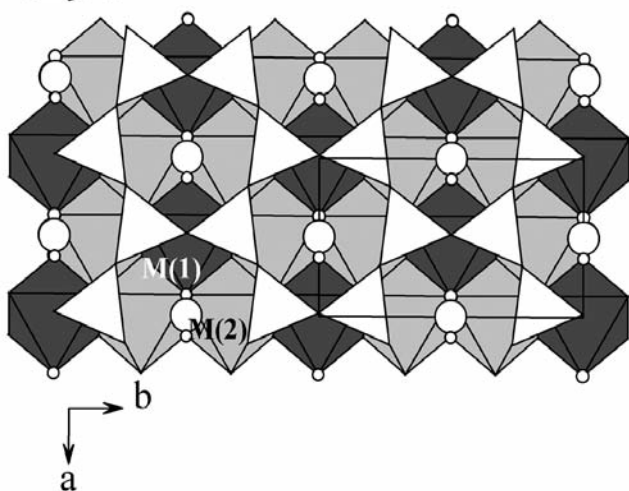


Рис. 4. Кристаллическая структура высокотитанового биотита в проекции на плоскость ab .

фрактометре Xcalibur CCD с использованием $MoK\alpha$ излучения. В области съёмки ($\theta_{max} = 54^\circ$; $-10 < h < 12$, $-20 < k < 20$, $-22 < l < 20$) получено 1642 независимых отражения с $F > 5\sigma(F)$. R -фактор усреднения эквивалентных отражений составил 0.025; R -фактор анизотропного уточнения — 0.047. Уточнение производилось с использованием программы AREN (Андрианов, 1988); для учета поглощения использовалась программа DIFABS (Walker, Stuart, 1983).

Изученный минерал моноклинный, пространственная группа $C2/m$; параметры ячейки: $a = 5.3165(1)$, $b = 9.2000(2)$, $c = 10.0602(2)$ Å, $\beta = 100.354(2)^\circ$, $V = 484.05$ Å³, $Z = 2$.

Координаты позиций, эквивалентные параметры атомных смещений, кратность (Q) и заселенность (q) позиций представлены в таблице 2, характеристики координационных полиэдров приведены в таблице 3.

Кристаллическая структура высокотитанового биотита (рис. 3, 4), как и прочих триоктаэдрических слюд, содержит трёхслойные TOT -пакеты, где T — слой вершинно-связанных тетраэдров $(Si, Al, Fe^{3+})O_4$, O — слой рёберно-связанных октаэдров $(Mg, Ti, Fe, Cr)(O, F)_6$. Между собой TOT -пакеты связаны межслоевыми катионами (K, Na, Ca).

При распределении близких по ионному радиусу катионов (Mg, Fe, Ti, Cr) по октаэдрическим позициям принимается во внимание размер октаэдров, значение тепловых параметров и R -фактора. В октаэдрическом слое высокотитанового биотита выделяются два типа октаэдров — $M(1)(O, F)_6$ и $M(2)(O, F)_6$ (табл. 3), причём последний имеет меньший размер и характеризуется более сильным искажением, чем $M(1)$ -центрированный октаэдр. Поэтому нахождение титана в позиции $M(2)$ представляется более вероятным, чем в

Таблица 4. Варианты распределения катионов по октаэдрическим позициям M(1) и M(2)

№	Состав	Число электронов в M(1)	Состав	Число электронов в M(2)
	позиции M(1)		позиции M(2)	
1	Mg _{0,6} Fe _{0,4}	17.6	Mg _{1,0} Ti _{0,74} Fe _{0,22} Cr _{0,04}	17.48
2	Ti _{0,55} Mg _{0,45}	17.5	Mg _{1,15} Fe _{0,62} Ti _{0,19} Cr _{0,04}	17.53
3	Mg _{0,6} Fe _{0,2} Ti _{0,2}	16.8	Mg _{1,0} Fe _{0,42} Ti _{0,54} Cr _{0,04}	17.88

Таблица 5. Локальный баланс валентностей для аниона X

Позиция	Состав	Валентное усилие	Сумма
M(1)	Mg _{0,6} Fe _{0,4}	0.41	1.61
M(2)	Mg _{1,0} Ti _{0,74} Fe _{0,22} Cr _{0,04}	1.20 = 0.6 x 2	
M(1)	Fe ₁ ²⁺	0.57	1.59
M(2)	Mg ₂	1.02 = 0.51 x 2	
M(1)	Fe ₁ ²⁺	0.43	1.87
M(2)	Ti ₂	1.44 = 0.72 x 2	
M(1)	Mg ₁	0.39	1.53
M(2)	Fe ₂ ²⁺	1.14 = 0.57 x 2	
M(1)	Ti ₁	0.54	1.98
M(2)	Ti ₂	1.44 = 0.72 x 2	
M(1)	Mg ₁	0.39	1.41
M(2)	Mg ₂	1.02 = 0.51 x 2	
M(1)	Fe ₁ ³⁺	0.46	1.68
M(2)	Fe ₂ ³⁺	1.22 = 0.61 x 2	
M(1)	Fe ₁ ²⁺	0.43	1.57
M(2)	Fe ₂ ²⁺	1.14 = 0.57 x 2	

позиции M(1). Если принять, что весь титан находится в позиции M(2), то в результате уточнения кристаллической структуры высокотитинового биотита мы придём к следующей его кристаллохимической формуле: $(K_{0,7}Na_{0,3})_{\Sigma=1}(Mg_{0,6}Fe_{0,4})_{\Sigma=1}(Mg_{1,0}Ti_{0,74}Fe_{0,22}Cr_{0,04})_{\Sigma=2}[(Si_{2,6}Al_{1,3}Fe_{0,1})_{\Sigma=4}O_{10}](O,F)_2$. При этом количество электронов в позициях M(1) и M(2) равно соответственно 17.60 и 17.48, что в сумме отвечает полному (т. е. без вакансий) заполнению обоих октаэдров катионами. Если R-фактор слабо зависит от распределения катионов по октаэдрическим позициям, то тепловые параметры (табл. 2), отвечающие смешанному составу этих позиций, наилучшим образом согласуются с установленным вариантом.

В разных работах высказывались различные предположения относительно механизмов изоморфизма и катионной упорядоченности в слюдах биотитового ряда. По дан-

ных ряда источников (Brigatti *et al.*, 1991; Brigatti, Poppi, 1993), катионы Mg, Fe и Ti могут присутствовать одновременно в обоих октаэдрических позициях M(1) и M(2), хотя и в различных пропорциях. Вместе с тем, по данным работы (Hazen, Burnham, 1973), в случае титан-железистых слюд удовлетворительный баланс зарядов на атомах кислорода на стыке октаэдров и тетраэдров достигается только для трёх вариантов координации этого кислорода: Fe₃Si, TiFe₂Al и TiFe□Si. Предположение о том, что вхождение титана в октаэдрические позиции слюды влечёт за собой образование вакансий в октаэдрах (изоморфизм по схеме $Ti^{4+} + \square \leftrightarrow 2R^{2+}$) высказывалось и в других публикациях (Думек, 1983; Минералы, 1992).

В фундаментальной работе (Cruciani, Zanazzi, 1994) были изучены кристаллические структуры 24 образцов флогопита (пр. гр. *C2/m*) различного состава и было показано, что высокозарядные катионы (Ti^{4+} , Al^{3+} , Fe^{3+} , Cr^{3+}) избирательно концентрируются в позиции M(2). В частности, это проявляется в степени искажения M(2)-центрированного октаэдра. Смещение M(2)-позиции из геометрического центра этого октаэдра коррелирует с содержанием титана в образце и возрастет от практически нулевого значения для низкотитановых слюд до 0.08–0.09 Å для образцов с $Ti_{0,59-0,65}$. В нашем образце: $(2.133 - 1.939):2 = 0.097 \text{ \AA}$, где 1.939 Å – расстояние между M(2) и X. Согласно работе (Cruciani, Zanazzi, 1994), укорочение связи M(2)-X, может быть обусловлено замещением OH на O. Варианты локального баланса валентностей на анионе X, рассчитанные для статистических комбинаций октаэдрических катионов, приведены в таблице 5. Вычисленное с учетом полного состава в M(1)- и M(2)-октаэдрах среднее валентное усилие 1.61 указывает на то, что сродство позиции X к O ближе, чем к OH или F. Сбалансированные по заряду варианты координации X-аниона наборами катионов FeTi₂ и TiTi₂ отвечают нахождению в позиции X-аниона O²⁻. Вариант MgMg₂ наилучшим образом аппроксимируется однозарядным анионом (F или OH⁻), в то время как остальные – анионом O²⁻.

На основании химических и структурных данных авторы вышеуказанной работы (Cruciani, Zanazzi, 1994) доказали, что в титансодержащих флогопитах реализуется следующая схема изоморфных замещений: $[^{6}R]^{2+} + 2OH \leftrightarrow [^{6}Ti]^{4+} + 2O^{2-}$. Таким образом, идеализированная формула титансодержащего «оксифлогопита» может быть записана в виде: $K(Mg_2Ti)(Si_3AlO_{10})O_2$.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 07-05-00094) и НШ-2192.2008.5.

Литература

- Андрианов В.И.* Развитие системы кристаллографических программ РЕНТГЕН на ЭВМ NORD, CM-4 и ЕС // Кристаллография. **1987**. Т. 32. № 1. С. 228–231.
- Коваль П.В., Есвиг В., Сапожников А.Н.* Сосуществующие титановые оксибиотиты 3Т и 3М мегакристов в базальтоидах Шаварын-Царама (МНР) // ДАН СССР. **1988**. Т. 302. № 2. С. 430–433.
- Минералы. Справочник. Т. IV. Вып. 1. М.: Наука. **1992**. 598 С.
- Ушакова Е.Н.* Биотиты метаморфических пород, М.: Наука, **1971**. 346 с.
- Brigatti M.F., Galli E., Poppi L.* Effect of Ti substitution in biotite-1M crystal chemistry // Amer. Mineral. **1991**. Vol. 76. P. 1174–1183.
- Brigatti M.F., Poppi L.* Crystal chemistry of Ba-richtrioctahedral micas-1M // Eur. J. Miner. **1993**. Vol. 5. P. 857–871.
- Burke E.* A mass discreditation of GQN minerals // Canad. Mineral. **2006**. Vol. 44. P. 1557–1560.
- Cruciani G., Zanazzi P.F.* Cation partitioning and substitution mechanisms in 1M phlogopite: a crystal chemical study // Amer. Mineral. **1994**. Vol. 79. P. 289–301.
- Dymek R.F.* Titanium, aluminium and interlayer cation substitutions in biotite from high-grade gneisses, West Greenland // Amer. Mineral. **1983**. Vol. 68. P. 880–899.
- Freudenberg W.* Titanium-biotite (wodanite) from the Katzenbuckel // Mitt. Bad. Geol. Landesanst. **1920**. Vol. 8. No. 2. P. 319–335.
- Greenwood J.C.* Barian-titanian micas from Ilha da Trindade, South Atlantic // Miner. Magaz. **1998**. Vol. 62. No. 5. P. 687–695.
- Hallimond A.F.* On the chemical classification of the mica group. III. The molecular volumes // Miner. Magaz. **1927**. Vol. 21. No. 116. P. 195–204.
- Hazen R.M., Burnham C.W.* The crystal structures of one-layer phlogopite and annite // Amer. Mineral. **1973**. Vol. 58. P. 889–900.
- Ibhi A., Nacht H., El Abia H.* Titanium and barium incorporation into the phyllosilicate phases: The example of phlogopite-kinoshitalite solid solution // J. Phys. IV France. **2005**. Vol. 123. P. 331–335.
- Kogarko L.N., Uvarova Yu.A., Sokolova E., Hawthorne F.C., Ottolini L., Grice J.D.* Oxykinoshitalite, a new species of mica from Fernando de Noronha Island, Pernambuco, Brazil: Occurrence and crystal structure // Canad. Mineral. **2005**. Vol. 43. No. 5. P. 1501–1510.
- Mann U., Marks M., Markl G.* Influence of oxygen fugacity on mineral compositions in peralkaline melts: The Katzenbuckel volcano, Southwest Germany // Lithos. **2006**. Vol. 91 (1–4). P. 262–285.
- Mansker W.L., Ewing R.C., Keil K.* Barian-titanian biotites in nephelinites from Oahu, Hawaii // Amer. Mineral. **1979**. Vol. 64. P. 156–159.
- Ohta T., Takeda H., Takéuchi Y.* Mica polytypism: Similarities in the crystal structures of coexisting 1M and 2M oxybiotites // Amer. Mineral. **1982**. Vol. 67. P. 298–310.
- Prider R.T.* Some minerals from the leucite-rich rocks of the West Kimberley area, Western Australia // Miner. Magaz. **1939**. Vol. 25. No. 166. P. 373–387.
- Rancourt D.G., Mercier P.H.J., Cherniak D.J., Desgreniers S., Kodama H., Robert J.-L., Murad E.* Mechanisms and crystal chemistry of oxidation of annite: resolving the hydrogen-loss and vacancy reactions // Clays and Clay Minerals. **2001**. Vol. 49. No. 6. P. 455–491.
- Rieder M., Cavazzini G., D'yakonov Yu.S., Frank-Kamenetskii V.A., Gottardi G., Guggenheim S., Koval' P.V., Mueller G., Neiva A.M.R., Radoslovich E.W., Robert J.-L., Sassi F.P., Takeda H., Weiss Z., Wones D.R.* Nomenclature of the micas // Canad. Mineral. **1998**. Vol. 36. No. 3. P. 905–912.
- Rosenbusch H.* Elemente der Gesteinslehre. Ed. 3. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagshandlung. **1910**. 566 S.
- Scordari F., Ventruri G., Sabato A., Bellatreccia F., Della Ventura G., Pedrazzi G.* Ti-rich phlogopite from Mt. Vulture (Potenza, Italy) investigated by a multianalytical approach // Eur. J. Miner. **2006**. Vol. 18. P. 379–391.
- Shaw C.S.J., Penczak R.S.* Barium- and titanium-rich biotite and phlogopite from the Western and Eastern Gabbro, Coldwell alkaline complex, Northwestern Ontario // Canad. Mineral. **1996**. Vol. 34. P. 967–975.
- Thibault Y., Edgar A.D., Lloyd F.E.* Experimental investigation of melts from a carbonated phlogopite lherzolite: Implications for metasomatism in the continental lithospheric mantle // Amer. Mineral. **1992**. Vol. 77. P. 784–794.
- Walker N., Stuart D.* An empirical method for correcting diffractometer data for absorption effects // Acta Cryst. A. **1983**. V. 39. № 2. P. 158–166.