

И. В. ВИТОВСКАЯ

**БАЛАНС ВЕЩЕСТВА И ОБЪЕМНЫЕ СООТНОШЕНИЯ
ПРИ ПСЕВДОМОРФНОМ ЗАМЕЩЕНИИ ХЛОРИТА НОНТРОНИТОМ**

(Представлено академиком В. И. Смирновым 24 I 1972)

В коре выветривания серпентинитов Кемпирсайского массива наблюдалось псевдоморфное замещение хлорита нонтронитом. Скопления хлорита образуются здесь вдоль контактов даек габбро-амфиболитов с вмещающими серпентинитами. На удалении от контактов хлорит образует неправильные ветвящиеся прожилки и гнезда среди серпентинитов. В зоне нонтронитизированных и обохренных серпентинитов хлорит из прожилков в значи-

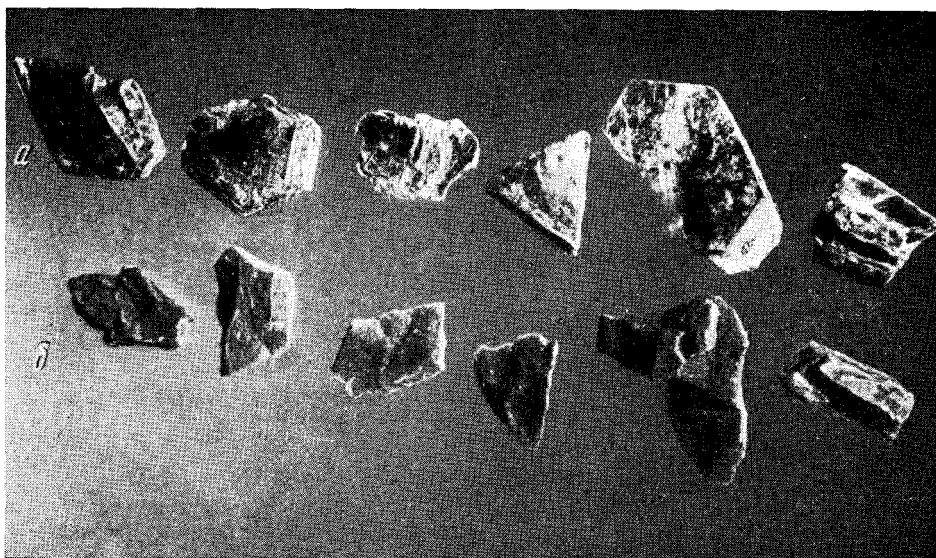


Рис. 1. Различные формы чешуек хлорита (а) и псевдоморфоз нонтронита (б) по-
ним. 16 ×

тельной мере замещен нонтронитом, который отличается от черно-оливково-зеленого нонтронита по вмещающим серпентинитам более яркой темно-зеленой окраской.

Структура исходного хлорита по прожилку неравномерна и меняется от мелко- (доли миллиметра) до крупночешуйчатой (1 см в поперечнике). Форма собранных в пачки чешуек разнообразна, с треугольным, неправильным шестиугольным или трапециевидным сечением в плоскости, параллельной спайности чешуек; встречаются двойниковые сростки (рис. 1). В образцах хлорита присутствует довольно обильная примесь хромита в виде очень мелких, до 0,3 мм, равномерно распределенных вкрапленников. Данные химического анализа и физические свойства изученного образца хлорита помещены в табл. 1.

Таблица 1

Данные химического анализа и физические свойства образцов хлорита и нонтронита

Минералы	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	NiO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	Σ	Показат. преломл.	Уд. вес	Об. вес	Порис- тость
Хлорит, обр. № 2006-1	29,45	17,31	2,28	1,31	2,50	32,38	0,15	Нзг	1,47	0,21	12,28	0,48	99,82	$N_g = 1,586$ $N_p = 1,578$	2,7	2,1	22,9
Вес. %	4902	3396	300	154	318	8037	20	—	474	44	6815	266					
Ат. кол-ва																	
Нонтронит, обр. № 2006-2	46,64	8,02	2,80	19,03	Нзг	3,23	2,62	0,95	0,39	0,02	6,21	9,47	99,49	$N_g = 1,571$ $N_p = 1,554$	2,6	1,54	41,6
Вес. %	7763	1572	368	2390	—	814	351	169	126	4	6892	10510					
Ат. кол-ва																	
Анализ	Л. С. Цимлянская													Е. А. Санина			

Кристаллохимические формулы и содержание минералов в образцах — вес. (об.) %

Обр. № 2006-1	Хлорит $[Mg_{4,3}Fe_{0,21}^{2+}Fe_{0,10}^{3+}Al_{1,06}Ni_{0,012}]^{+1,10}(OH)_8[Si_{2,85}Al_{1,05}^{IV}]^{-1,05} \cdot 0,5H_2O$ Хромит $(Mg, Fe)O \cdot (Cr, Al)_2O_3$	96,52 (75,4) 3,48 (1,7)
Обр. № 2006-2	Нонтронит $[Fe_{1,21}Al_{0,42}Ni_{0,18}](OH)_2[Si_{3,93}Al_{0,07}]_4O_{14}(Ca_{0,06}Na_{0,06} \cdot 3,3H_2O)$ Хлорит $[Mg_{1,9}Al_{1,07}Ni_{0,013}(OH)_4](Si_{1,33}Al_{1,07})_4O_{10}$ Хромит $(Mg, Fe)O(Cr, Al)_2O_3$	88,7 (53) 7,02 (4,46) 4,27 (1,52)

Нонтронит образует хорошо различимые макроскопически псевдоморфозы по агрегатам мелкочешуйчатого хлорита, а также по пачкам чешуек и двойниковым сросткам, с сохранением их формы и близких размеров (см. рис. 1). Текстура псевдоморфоз по отдельным пачкам чешуек макроскопически и под бинокулярном массивная, с неясно выраженными, унаследованными от хлорита плоскостями спайности. Под микроскопом в разрезах, перпендикулярных спайности, обнаруживается наличие полых пространств между отдельными замещенными нонтронитом чешуйками и хорошо видны каймы развѣдания и постепенное замещение чешуек хлорита нонтронитом. Вкрапленники рудного минерала сохраняются и в нонтроните, но представлены здесь не одним только хромитом, а также микрозернистым маггемитом, частью замещенным гетитом.

Термический и рентгеновский анализы подтверждают правильность диагностики минералов и не обнаруживают присутствия в нонтроните примесей (1). Судя по расчетам данных химического анализа минералов (табл. 1), хлорит отвечает по составу пещнину с соотношением магния к алюминию, близким к теоретическому, а исследованный нонтронит содержит небольшую примесь исходного хлорита.

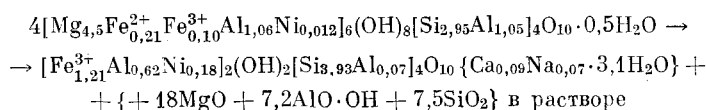
Расчеты методом равных объемов показывают (табл. 2), что при замещении хлорита нонтронитом из единицы объема почти пацело вынесены магний, калий и натрий, количество алюминия уменьшается

Расчет баланса вещества при замещении хлорита нонтронитом

Компо- нент	Метод равных объемов						Атомно-объемный метод	
	хлорит		нонтронит		привнос — вынос		привнос — вынос	
	вес. %	г/см ³	вес. %	г/см ³	г/см ³	об. %	10 ³ см ³	об. %
SiO ₂	29,45	0,618	46,64	0,718	+0,100	+16	—423,2	—68
Al ₂ O ₃	17,31	0,363	8,02	0,123	+0,240	—66	—329,7	—91
Cr ₂ O ₃	2,28	0,047	2,80	0,043	—0,004	—8	—36,1	—77
Fe ₂ O ₃	1,31	0,027	19,09	0,291				
FeO	2,50	0,052	Нет	—	+0,210	+262	—	—
MgO	32,38	0,679	3,28	0,050	—0,629	—94	—604,6	—87
NiO	0,15	0,003	2,62	0,040	+0,037	+1233	+7,8	+260
CaO	Нет	—	0,95	0,010	+0,010		+3,9	+100
Na ₂ O	1,47	0,031	0,39	0,006	—0,025	—80	—29,2	—74
K ₂ O	0,21	0,0044	0,02	0,0003	—0,0037	—92	—4,3	—99
H ₂ O ⁺	12,28		6,21					
H ₂ O [—]	0,48	0,25	9,47	0,244	—0,016	—5	—201,6	—74
Сумма	99,82		99,49	Ряд подвижности			—1617	
Объем массы вещ.	77,1		58,4	Mg > K > Na > Al > Cr > Si			Ряд подвижности K > Al > Mg > Cr > > Na > Si	

более чем вдвое, а кремнезема — немного увеличивается. Содержание железа возрастает примерно в 2,5 раза. Допущение, что столь значительный рост содержания железа связан с его привносом, не согласуется с поведением этого компонента в профиле коры выветривания ультраосновных пород, которые являются вмещающей средой изученных прожилков. Здесь, как правило, в верхней части профиля, благодаря выносу других породообразующих компонентов (Mg, Si) происходит резкое обогащение железом с образованием зоны нонтронитов, а затем зоны гидроокислов и окислов железа. Отсюда следует эмпирический вывод, что в условиях слабых и близких к нейтральным вод, при которых формируются богатые железом продукты верхних зон структурной коры выветривания, железо является относительно инертным компонентом. Поскольку формирование псевдоморфоз нонтронита по хлориту происходило в подобной же среде, увеличение содержания железа в единице объема выветрелого минерала по сравнению с исходным можно трактовать как результат метасоматической усадки. Величину этой усадки можно определить при помощи метода молекулярных объемов, который используется при изучении гипогенных метасоматических процессов⁽²⁾.

Из реакции замещения хлорита нонтронитом при условии инертного поведения железа



следует, что для образования одной формульной единицы нонтронита с объемом $V_0^h = 373$ (как следует из отношения атомных коэффициентов железа в метасоматическом (a_2) и исходном (a_1) минералах) нужны четыре формульных единицы хлорита ($V_0^u = 339$). Полученные отношения можно перевести в объемные проценты. Поскольку в единице исходного объема изученного образца находилось не 100, а 75,4 об.% массы хлорита (V_1), они теоретически должны дать 20,7% массы нонтронита. Отношение этой теоретически вычисленной величины объема к измеренной (V_2) и дает

величину усадки (K) при образовании нонтронита, равную 2,6. Предложенный способ расчета величины усадки можно записать простой формулой $K = V_0^k a_2 V_1 / V_0^u a_1 V_2$. Поскольку хлорит и нонтронит — слоистые минералы и формирование одного пакета нонтронита идет за счет выноса вещества трех пакетов хлорита, происходит только линейное уплотнение пакетов нонтронита в направлении оси C , и псевдоморфозы нонтронита могут сохранять размеры исходного хлорита. Если допустить, что сделанная при этих расчетах посылка об инертном поведении железа неверна, и провести подобный же расчет, считая неподвижным алюминий, мы получим, что из 1 формульной единицы хлорита должно образоваться 3 формульные единицы нонтронита. Тогда почти все железо и 75% объема кремнезема должны быть привнесены извне, а выноситься должен только магний. При этом масса вещества в единице объема должна возрасти, и, следовательно, не может возникнуть никакой пористости. Эти данные приходят в противоречие с природными соотношениями минералов в образцах и их физических свойствами. Поэтому для случая, когда замещение хлорита нонтронитом протекает среди коры выветривания ультраосновных пород, предположение об инертном поведении алюминия должно быть отброшено.

Количественную оценку привноса — выноса компонентов при образовании нонтронита в расчете на 1000 см³ неизмененного хлорита можно также дать в граммах на 1 см³ по формуле, предложенной В. А. Рудником⁽²⁾, используя в качестве элемента-свидетеля железо (см. табл. 1). Из полученных данных можно рассчитать и величину коэффициента усадки, которая равна вычисленной нами с использованием размеров элементарных ячеек минералов. Как видно из табл. 2, величины привноса — выноса и подвижности компонентов при замещении хлорита нонтронитом существенно различаются в зависимости от того, считаем ли мы объем массы вещества минералов при выветривании постоянным или же учитываем его изменение при помощи инертного компонента.

Допуская инертное поведение железа, мы приходим к заключению, что в процессе выветривания хлорита наиболее подвижны алюминий, калий и магний, а менее подвижны натрий и кремнезем. Становится очевидной подвижность хрома в изученных условиях, о которой можно было судить и на основании минералогических исследований (замещение хромита маггемитом и гетитом).

Оба использованных метода расчета баланса вещества однозначно свидетельствуют о том, что при замещении хлорита нонтронитом происходит привнос никеля (избыточного подвижного компонента). Однако величина этого привноса, вычисленная методом постоянства объемов, составляет громадную величину (1233%), а при расчетах с учетом инертного поведения железа — всего 250%. Таким образом, высокое содержание никеля в единице объема нонтронита является результатом метасоматической усадки. Источником никеля послужили вмещающие породы коры выветривания серпентинитов, в частности породы зоны охр, из которых никель может выноситься под действием слабокислых грунтовых вод.

Полученные выводы об относительной подвижности компонентов при выветривании хлорита среди ультраосновных пород не противоречит имеющимся в литературе теоретическим расчетам, проведенным для сходных физико-химических условий^(3, 4), требующим специального рассмотрения.

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

Поступило
19 I 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И. В. Витовская, С. И. Берхин, В кн. Никеленосные коры выветривания Урала, «Наука», 1970. ² Ю. В. Казицын, В. А. Рудник, Руководство к расчету баланса вещества и внутренней энергии при формировании метасоматических пород, М., 1968. ³ Р. М. Гаррелс, Ч. Л. Крайст, Растворы, минералы, равновесия, М., 1968. ⁴ W. E. Wildman, L. L. Whittig, M. L. Jackson, Am. Mineral., 56 (1971).