

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 обожженных серпентинитов хлорит из прожилков в значи-

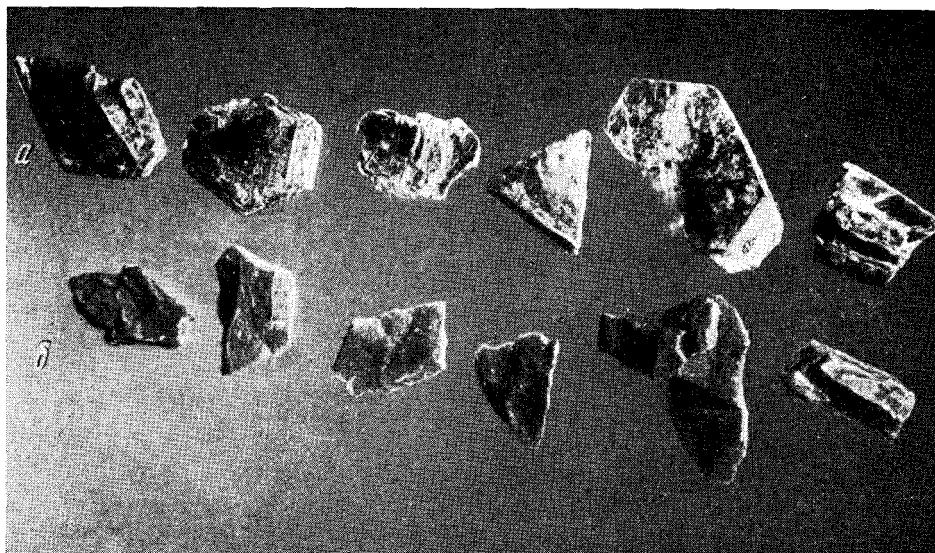


Рис. 1. Различные формы чешуек хлорита (а) и псевдоморфоз нонтронита (б) по
пим. 16 ×

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 физических свойства образцов хлорита и пиритита

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

Обр. № 2006-4 Хлорит $[\text{Mg}_{4.5}\text{Fe}^{2+}_{0.21}\text{Fe}^{3+}_{0.10}\text{Al}_{1.06}\text{Ni}_{0.012}\text{Al}_{2.12}\text{Si}_{3.95}\text{Al}_{1.05}]^{+1,40}(\text{OH})_8[\text{Si}_{2.95}\text{Al}_{1.05}]^{-1,65} \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$

№ 2006-2 **Хотяропит** $[Fe_{1.21}Al_{0.32}Ni_{0.18}]_1[OH_2]_2[Si_{1.93}Al_{0.07}]_4O_1$ $_{1/2}Ca_{0.19}Na_{0.06} \cdot 3H_2O$ **Х.Ю.П.** $[Mg_{1.9}Al_{1.27}Ni_{0.13}O_2]_1[Si_{2.33}Al_{1.07}]_1O_1$ **Х.Ю.П.** $[Mg_{1.9}Al_{1.27}Ni_{0.13}O_2]_1[Si_{2.33}Al_{1.07}]_1O_1$

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 бинокуляром массивная, с неясно выраженным, унаследованным от хлорита плоскостями спайности. Под микроскопом в разрезах, перпендикулярных спайности, обнаруживается наличие полых пространств между отдельными замещенными нонтронитом чешуйками и хорошо видны каймы разъедания и постепенное замещение чешуек хлорита нонтронитом. Вкраепленники 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 нонtronите примесей ⁽¹⁾). Судя по расчетам данных химического анализа минералов (табл. 1), хлорит отвечает по составу пеннину с соотношением магния к алюминию, близким к теоретическому, а исследованный нонtronит содержит небольшую примесь исходного хлорита.

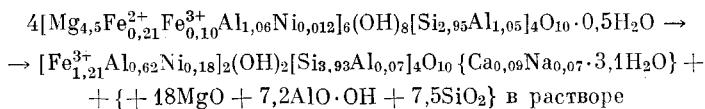
Расчеты методом равных объемов показывают (табл. 2), что при замещении хлорита нонtronитом из единицы объема почти целиком вынесены магний, калий и натрий, количество алюминия уменьшается

Таблица 2
Расчет баланса вещества при замещении хлорита нонtronитом

Компонент	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	0,241	-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 нонtronитов, а затем зоны гидроокислов и окислов железа. Отсюда следует эмпирический вывод, что в условиях слабо-кислых и близких к нейтральным вод, при которых формируются богатые железом продукты верхних зон структурной коры выветривания, железо является относительно инертным компонентом. Поскольку формирование псевдоморфоз нонtronита 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 нонtronитом при условии инертного поведения железа



следует, что для образования одной формульной единицы нонtronита 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 нонtronита. Отношение этой теоретически вычисленной величины объема к измеренной (V_2) и дает

величину усадки (K) при образовании нонtronита, равную 2,6. Предложенный способ расчета величины усадки можно записать простой формулой $K = V_0^b a_2 V_1 / V_0^a a_1 V_2$. Поскольку хлорит и нонtronит — слоистые минералы и формирование одного пакета нонtronита идет за счет выноса вещества трех пакетов хлорита, происходит только линейное уплотнение пакетов нонtronита в направлении оси C , и псевдоморфозы нонtronита 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 нонtronита. 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 физическими свойствами. Поэтому для случая, когда замещение хлорита нонtronитом протекает среди коры выветривания ультраосновных пород, предположение об инертном поведении алюминия должно быть отброшено.

Количественную оценку привноса — выноса компонентов при образовании нонtronита 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 подвижность компонентов при замещении хлорита нонtronитом 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 нонtronитом 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 нонtronита 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 противоречат 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).