

Л. Ф. БОРИСЕНКО, Л. М. ДЕЛИЦИН

СКАНДИЙ В МИНЕРАЛАХ ГИПЕРБАЗИТОВ  
ТАГИЛО-БАРАНЧИНСКОГО МАССИВА (УРАЛ)

В настоящее время скандий обнаружен во всех главных типах интрузивных пород: дуните, перидотите, пироксените, габбро, диорите, граните и сиените. Его присутствие установлено также в эффузивных аналогах этих пород: диабазе, базальте, долерите, андезите, риолите и др. Однако прошло около тридцати лет после его открытия (Nilson, 1879), прежде, чем Эбергард (Eberhard, 1908) показал, что скандий отнюдь не является малораспространенным элементом, содержащимся лишь в немногих жильных минералах. Он же впервые отметил, что содержание скандия в основных изверженных породах заметно больше, чем в гранитах и сиенитах. Позднее В. М. Гольдшмидт (1938), А. Квальхейм и В. Штрок (Kvalheim, Strock, 1939), Т. Г. Сахама (Sahama, 1945), Нокколдс и Митчел (Nockolds, Mitchell, 1948) установили, что максимальные содержания скандия для интрузивных пород, достигающие 0,0178% (табл. 1), наблюдаются в пироксенитах.

Таблица 1

Содержание скандия в пироксените

Порода	Район	Число образцов	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	Исследователь
Пироксенит	—	—	0,007	Goldschmidt, 1934
Пироксенит биотитовый	Уганда . . . . .	1	0,0087	Kvalheim, Strock, 1939
» »	Северная Ирландия . . . . .	1	0,0096	То же
» »	Верхняя Бирма	1	0,0178	» »
Пироксенит оливин-биотитовый	Канада . . . . .	1	0,0093	» »
Пироксенит серпентинизированный	Индия . . . . .	1	0,0056	» »
Пироксенит	Финляндия . . . . .	—	0,01	Sahama, 1945
Пироксенит	Шотландия . . . . .	—	0,006	Nockolds, Mitchell, 1948

На примере Урала, Казахстана, Забайкалья, Кольского полуострова, Якутии, Красноярского края и других районов Советского Союза было показано, что все главные типы интрузивных пород обладают своими, свойственными только каждой группе средними содержаниями Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,

а максимальные содержания  $Sc_2O_3$  присущи пироксенитам (Борисенко, 1959; Борисенко, Родионов, 1961).

Нами детально была исследована скандиеносность гипербазитов габбро-пироксенит-дунитовой платиноносной формации Урала. И если в предыдущих работах затрагивались вопросы, связанные в основном с рассмотрением тенденции распределения скандия в главных типах интрузивных пород, то в предлагаемой статье показаны особенности распределения скандия в минералах пироксенитов. Тагило-Баранчинский массив расположен в южной части габбро-пироксенит-дунитового платиноносного пояса Урала (Воробьева и др., 1962). Протяженность массива в меридиональном направлении около 100 км, а ширина его достигает 25 км.

Он сложен дунитами, перидотитами, пироксенитами, габбро (также габбро-норитами, габбро-диоритами, габбро-амфиболитами), диоритами, сиенитами и гранитами. Ультраосновные породы в основном находятся в западной части массива, а средние и кислые — в восточной части. Наибольшим распространением пользуются габбро, которые слагают 60—70% площади массива. На западе интрузивные породы Тагило-Баранчинского массива контактируют с метаморфическими породами (докембрий — ордовик), а на востоке с эффузивно-осадочными породами верхнего силура.

Среди ультраосновных пород Тагило-Баранчинского массива наиболее распространены пироксениты. Дуниты слагают крупное тело лишь в Нижне-Тагильском гипербазитовом массиве. Перидотиты же преобладают в некоторых небольших телах гипербазитов (г. Шихвальная и др.) или встречаются в виде незначительных участков в крупных телах пироксенитов Баранчинского массива. Между пироксенитами и перидотитами наблюдаются постепенные переходы.

По условиям залегания и некоторым особенностям минерального состава в пределах Тагило-Баранчинского массива можно выделить три разновидности пироксенитов:

1. Пироксениты, образующие оторочку вокруг дунитов г. Соловьевой и Большой Шурпихи (Нижне-Тагильский гипербазитовый массив).

2. Пироксениты, образующие относительно небольшие вытянутые в субмеридиональном направлении тела и имеющие иногда полосчатое сложение (Билимбаев, Баронские горы и др.).

3. Пироксениты, слагающие крупные тела (Баранчинский массив).

Согласно представлениям О. А. Воробьевой и др. (1962), «пироксенитовые массивы гор Синеи, Голой и Толстой (Баранчинский массив) формировались раньше габбро главного этапа».

Пироксениты же Нижне-Тагильского массива по представлениям А. Н. Заварицкого (1941), Д. С. Штейнберга, И. А. Малахова (1961) представляют собой широкую реакционную кайму, образовавшуюся в зоне контакта габбро и дунита. По нашим представлениям пироксениты Нижне-Тагильского массива магматического происхождения (Борисенко, 1961).

Абсолютный возраст пироксенитов Тагило-Баранчинского массива не определялся. Возраст вмещающих габбро, по данным различных исследователей, соответствует верхам ордовика — девону. Абсолютный возраст для габбро, определенный Л. П. Овчинниковым (1958) гелиевым методом, соответствует 440 млн. лет.

Нами изучалась скандиеносность всех трех разновидностей пироксенитов Тагило-Баранчинского массива. Полевой материал был собран в течение 1959—1963 гг. Количественные определения скандия выполнены в спектральной лаборатории ИМГРЭ Л. И. Сосновской и Н. А. Корвиной. Чувствительность определения  $Sc_2O_3$  равнялась 0.0001%. Отдельные

контрольные определения скандия были выполнены в химической лаборатории ВСЕГЕИ М. П. Белополюским.

Методика спектрального анализа описана в статье Л. Ф. Борисенко, Л. Г. Журавлева и Л. И. Сосновской (1961), а методика химического анализа опубликована М. П. Белополюским, К. К. Гумбар и Н. П. Поповым (1961). Результаты ИМГРЭ и ВСЕГЕИ, полученные различными методами, показали хорошую сходимость (табл. 2).

Во всех проанализированных пробах пироксенитов Тагило-Баранчинского массива были установлены содержания скандия, превышающие его кларк для пород земной коры; кларк скандия по И. и В. Ноддак (J. и W. Noddack, 1930) равен 0,0006% Sc. Все обследованные тела пироксенитов: Баранчинский, Нижне-Тагильский массивы, Билимбай, Васильевские горы, г. Малый Шихан, Баронские горы, г. Шихвальная характеризуются, в общем, довольно близкими средними содержаниями скандия, колеблющимися в пределах 0,009 — 0,017% Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (табл. 3).

Статистическая оценка дисперсии ( $S_i^2$ ) показывает, что распределение содержания Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в пироксенитах исследованных массивов довольно равномерное. Более высокие значения  $S_i^2$  характерны для Баранчинского массива (г. Голая, г. Синяя). Причины некоторого колебания содержания скандия в пироксенитах рассматриваются далее.

Минимальное содержание Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в пироксенитах исследованных массивов составляет 0,007%, а максимальное достигает 0,020%. Не оказывает существенного влияния на содержание скандия в пироксените состав

Таблица 2

Сравнительные содержания Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в пробах пироксенитов, полученные спектральным (ИМГРЭ) и химическим (ВСЕГЕИ) методами

№ пробы	Содержание Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	
	ИМГРЭ	ВСЕГЕИ
100	0,020	0,020
515	0,015	0,016
548	0,017	0,018
607	0,016	0,015
640	0,016	0,017

Таблица 3

## Содержание скандия в пироксените

Массив, гора	Число проб	Содержание Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %			$S_i^2 \cdot 10^{-4}$
		минимальное	максимальное	среднее	
Г. Малый Шихан . . . . .	41	0,012	0,020	0,017	0,409
Г. Билимбай . . . . .	10	0,011	0,020	0,015	0,084
Васильевские горы . . . . .	13	0,011	0,020	0,015	0,133
Баранчинский массив } <ul style="list-style-type: none"> <li>г. Голая . . . . .</li> <li>г. Синяя . . . . .</li> <li>г. Толстая . . . . .</li> </ul>	9	0,009	0,020	0,014	0,184
	49	0,008	0,020	0,013	0,157
	21	0,008	0,016	0,012	0,066
Нижне-Тагильский массив . . . . .	26	0,009	0,016	0,012	0,058
Баронские горы . . . . .	7	0,007	0,010	0,009	0,013
Г. Шихвальная . . . . .	7	0,007	0,011	0,009	0,022

вмещающих пород. Так, небольшое пироксенитовое тело, находящееся в бассейне р. Быструхи и залегающее в кембрийских слюдисто-кварцитовых сланцах, вблизи их контакта с породами Тагило-Баранчинского массива, также характеризуется повышенным содержанием Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

( $\sim 0,015\%$ ). По данным М. М. Соколовой, Н. А. Мостовой, пироксенитовое тело бассейна р. Быструхи сингенетично с пироксенитами Тагило-Баранчинского массива.

Некоторые колебания содержаний скандия в пироксенитах Тагило-Баранчинского массива зависят только от их минерального состава. Как было установлено, все главные породообразующие минералы исследованных пироксенитов: диопсид, роговая обманка, форстерит, а также титаномагнетит и акцессорные, шпинель и апатит, содержат скандий (табл. 4). Однако, если содержание  $Sc_2O_3$  в пироксене и роговой обманке, как правило, составляет  $\sim 0,012-0,02\%$ , то содержание  $Sc_2O_3$  в оливине, титаномагнетите и апатите не превышает  $0,001\%$ , составляя обычно десяти-тысячные доли процента. Содержание  $Sc_2O_3$  в шпинели не выше  $0,002\%$ . Поэтому различные количественные сочетания минералов-концентраторов скандия (пироксен, роговая обманка) и минералов-носителей скандия (оливин, титаномагнетит) в пироксените приводят к колебаниям суммарного содержания в нем  $Sc_2O_3$ . Акцессорные минералы — апатит и шпинель существенного влияния на суммарное содержание в породе скандия не оказывают.

Таблица 4

## Содержание скандия в минералах пироксенитов

Минерал	Содержание $Sc_2O_3$ , %	
	минимальное	максимальное
Диопсид . . . . .	0,012	0,020
Роговая обманка . . . . .	0,010	0,020
Форстерит . . . . .	0,0003	0,0009
Титаномагнетит . . . . .	0,0002	0,001
Шпинель . . . . .		0,002
Апатит . . . . .		0,0003
Полевой шпат (сосюритизированный) . . . . .		Не обн.

Иногда в пироксенитах, особенно приконтактовых частей с габбро, наблюдается полевой шпат, обычно сильно сосюритизированный. Как показали многократные анализы, скандий в нем отсутствует (или содержится ниже предела чувствительности примененного спектрального метода).

Все минералы, в которых производилось определение скандия, были тщательно отобраны под бинокулярной лупой.

В табл. 5 приведены примеры, показывающие как меняется содержание скандия в пироксените различного минерального состава. Пробы пироксенита, состоящие примерно на 80% и более из диопсида (№ 101, 500, 1194, 1184, 1187), содержат  $\sim 0,017-0,020\%$   $Sc_2O_3$ . Подобные подсчеты были выполнены и для всех других пироксенитовых тел Тагило-Баранчинского массива, и во всех случаях снижение содержания скандия в породе находилось в соответствии с изменением ее минерального состава.

Другими словами, с возрастанием процентного содержания в пироксените оливина, титаномагнетита или плагиоклаза, скандия в породе содержится меньше. Например, участки оливиновых пироксенитов на Баранчинском массиве беднее скандием и поэтому г. Толстая, где оливиновые

Таблица 5

Изменение содержания скандия в пироксените в зависимости от его минерального состава

№ пробы	Порода	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	Минерал				
			диопсид	оливин	роговая обманка	титаномагнетит	серпентин, асидот, цоизит
Баранчинский массив							
500	Пироксенит	0,020	98,8	0,4	0,8	Не обн.	Не обн.
101	»	0,020	97,5	1,5 <sup>1</sup>	Не обн.	0,3	0,4
743	»	0,016	78,0	13,0	Не обн.	0,8	8,2
123	Оливиновый пироксенит	0,010	69,3	23,6	0,9	0,2	6,0
Билимбай							
1194	Пироксенит	0,020	87,2	Не обн.	4,9	5,0	2,7
1184	»	0,018	83,8	0,1	1,1	10,2	3,4
1187	»	0,018	82,5	Не обн.	3,5	10,8	0,5
1191	»	0,013	68,0	Не обн.	Не обн.	14,3	16,8

пироксениты пользуются наибольшим распространением, характеризуются наименьшим средним содержанием Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> для этого массива (т. е. по сравнению с г. Голой и Синей, см. табл. 3). Пироксениты Баронских гор характеризуются относительно невысокими содержаниями Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> благодаря значительному количеству содержащегося в них титаномагнетита.

Главным скандийсодержащим минералом или минералом-концентратом скандия для исследованных пород является диопсид; его содержание в породе исследованных массивов может достигать 99%. Форма его зерен чаще всего таблитчатая. На контакте с титаномагнетитом зерна пироксена иногда корродированы. На границе зерен пироксена и титаномагнетита довольно часто наблюдается тонкая каемка роговой обманки, серпентина или цоизит-эпидотового агрегата.

Взаимоотношение пироксена с оливином, амфиболом и титаномагнетитом исследованных массивов показывает, что пироксен является наиболее ранним минералом. В некоторых случаях пироксен и оливин кристаллизовались скорее всего одновременно. Пироксен, как правило, свежий, не затронутый серпентинизацией. Размер зерен пироксена среднезернистого пироксенита ~1,0—4,0 мм. В крупно- или гигантозернистых пироксенитах величина отдельных кристаллов пироксена достигает нескольких сантиметров по длине. Шлировидные и жилообразные обособления гигантозернистых пироксенитов наблюдались на Баранчинском массиве. Например, к северо-западу от вершины г. Синей встречаются мелкие овальные или неправильной формы шпилы (~10—30 см по длине) гигантозернистого пироксенита с постепенными переходами к среднезернистому пироксениту. Там же было встречено линзовидное тело, сложенное гигантозернистым пироксенитом. Длина этого тела ~1,2 м, максимальная мощность в раздуже ~0,3 м. Размер кристаллов пироксена около 5—7 см по длине. Граница между гигантозернистым и среднезернистым пироксенитом несколько извилистая, благодаря тому, что крупные кристаллы пироксена частично заходят в среднезернистый пироксенит.

4 Новые данные о минералах СССР

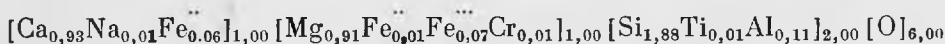
Оптические константы, определенные нами для пироксена исследованных на скандий массивов, показывают, что относится он к диопсиду:

+2V	cNg	Ng	Np	Ng - Np	Число образцов	
53,5	38	1,710	1,681	0,029	16	Баранчинский массив
55,0	39	1,712	1,682	0,030	3	г. Билимбай
54,0	38	1,711	1,681	0,030	4	г. Шихвальная
52,5	37,5	1,712	1,682	0,030	4	Баронские горы
54,5	38,5	1,708	1,681	0,027	6	Нижне-Тагильский массив

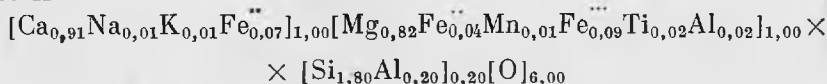
Замеры показателей преломления делались по методу Ю. А. Черкасова (1957). Точность метода  $\pm 0,001 - 0,002$ . Замеры угла оптических осей и угла погасания производились на федоровском столике. Точность определения  $\pm 2^\circ$ .

В нашем распоряжении имеются также результаты двух химических анализов пироксена Баранчинского массива: образец 101-П отобран из среднезернистого пироксенита, а 715-П — из гигантозернистого шпировидного выделения (табл. 6). Полученные в результате пересчета кристаллохимические формулы пироксенов указывают на то, что они относятся к группе диопсида:

№ 101-П



№ 715-П



Химические анализы чисто отобранного диопсида были выполнены в химической лаборатории ИМГРЭ аналитиками Б. А. Соломинской и Г. Е. Черепивской. Результаты анализов показывают довольно близкие содержания главных окислов. Крупнозернистый пироксен характеризуется несколько более высоким содержанием  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и более низким содержанием  $\text{SiO}_2$  и  $\text{MgO}$ .

$\text{Sc}^{3+}$  может замещать в диопсиде  $\text{Mg}^{2+}$  или  $\text{Fe}^{2+}$  по схеме:



Избыточный заряд, который приносит с собой трехвалентный скандий, замещающий двухвалентные магний или железо, может быть компенсирован за счет алюминия, который замещает кремний. По данным количественного спектрального анализа исследованных образцов диопсида, содержание в них  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  достигает 0,02%. Содержание скандия в пироксене гигантозернистых пироксенитов примерно такое же, как и в окружающей среднезернистой массе.

Как уже отмечалось, в пироксенитах многих массивов, особенно крупных, таких как Баранчинский, присутствует амфибол. Количество амфибола в пироксените Баранчинского массива составляет в среднем около 10%.

Амфибол в пироксенитах Баранчинского массива наблюдается как в виде довольно крупных выделений ( $\sim 1-5$  мм), явно ксеноморфных по отношению к пироксену (рис. 1), так и в виде тонких кайм вокруг выделений магнетита, а также в виде мелких вростков в более крупных зернах пироксена. В простом свете амфибол окрашен в слабый зеленый цвет.



Рис. 1. Пироксенит. Баранчинский массив. Взаимосоотношение пироксена и роговой обманки (темное).  $\times 17$ . Шл. 140

Выполненные замеры оптических констант амфибола позволяют отнести его к обычной роговой обманке.

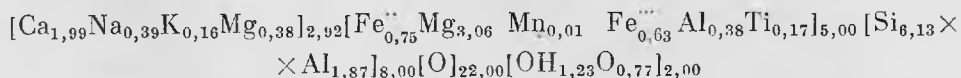
В табл. 7 приведены результаты химического анализа чисто отобранного амфибола из пробы пироксенита № 140. Полученная в результате

Таблица 6

Результаты химического анализа пироксена (вес.%)

Компоненты	101-II	715-II	Компоненты	101-II	715-II
SiO <sub>2</sub>	50,67	48,79	MnO	0,13	0,21
TiO <sub>2</sub>	0,31	0,53	NiO	0,01	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,56	5,05	MgO	16,51	14,96
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,32	—	CaO	23,46	23,09
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,35	3,20	Na <sub>2</sub> O	0,16	0,11
FeO	3,02	3,58	K <sub>2</sub> O	0,02	0,23
			H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0,55	0,59
Сумма . . . . .				100,07	100,34
АНАЛИТИК		Б. А. Соломинская		Г. Е. Черепивская	
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0,020		0,016	
Ng		1,710		1,709	
Np		1,681		1,681	
Ng — Np		0,029		0,028	
+2V		53°		54°	
cNg		38°		39°	
Уд. вес.		3,26		—	

пересчета кристаллохимическая формула отвечает роговой обманке и имеет такой вид:



Ф. Ю. Левинсон-Лессинг (1909), впервые отметивший нахождение роговой обманки в пироксените г. Синей (Баранчинский массив), считал, что она образовалась магматическим путем. Он писал, что «амфибол и пироксен могут существовать и одновременно выделяться из магмы». Возможно, что часть роговой обманки пироксенита образовалась под влиянием габбро. В пользу этого говорит заметно более высокое содержание роговой обманки в пробах (№ 508, 771, 772, 758-А, 140 и др.), отобранных в пироксенитах близ контакта с пегматоидным габбро г. Синей. Содержание роговой обманки в этих пробах составляет 30—50% и более, тогда

Таблица 7  
Результаты химического анализа роговой обманки

Компоненты	Вес. % *	Свойства
SiO <sub>2</sub>	41,90	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0,015
TiO <sub>2</sub>	1,50	Ng 1,666
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,90	Np 1,647
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,76	Ng — Np 0,019
FeO	6,07	—2V 82°
MnO	0,09	cNg 20°
MgO	15,80	Уд. вес. 3,16
CaO	12,69	
Na <sub>2</sub> O	1,35	
K <sub>2</sub> O	0,89	
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,10	
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	1,58	
Сумма	100,63	

\* Анализы выполнены аналитиком В. Н. Архангельской.

как в пироксените центральной части массива ее содержание, как правило, <10%; во многих пробах из средней части массива она вообще не фиксировалась. Непосредственно же в зоне контакта пироксенитов с габбро на г. Синей и г. Голой наблюдаются в ряде мест типичные горнблендиты (проба № 111).

Содержание скандия в амфиболизированных разностях пироксенитов, а также в горнблендитах, образовавшихся за счет пироксенитов, фактически не отличается от его содержаний в неамфиболизированных пироксенитах. Это объясняется тем, что содержание скандия в роговой обманке близко к его содержанию в пироксене и находится обычно в пределах 0,01—0,02%. И хотя, благодаря своему более сложному составу (см. табл. 7), роговая обманка могла бы принять значительно больше скандия, нежели диопсид, содержащий Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, сильно превышающих содержания Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в диопсиде, в ней не наблюдается. Скорее всего при замещении пироксена роговая обманка унаследовала содержащийся в нем скандий. В собственно горнблендитах, развившихся за счет пироксенитов на контакте с габбро, содержание Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> также составляет ≤0,02%. Таким



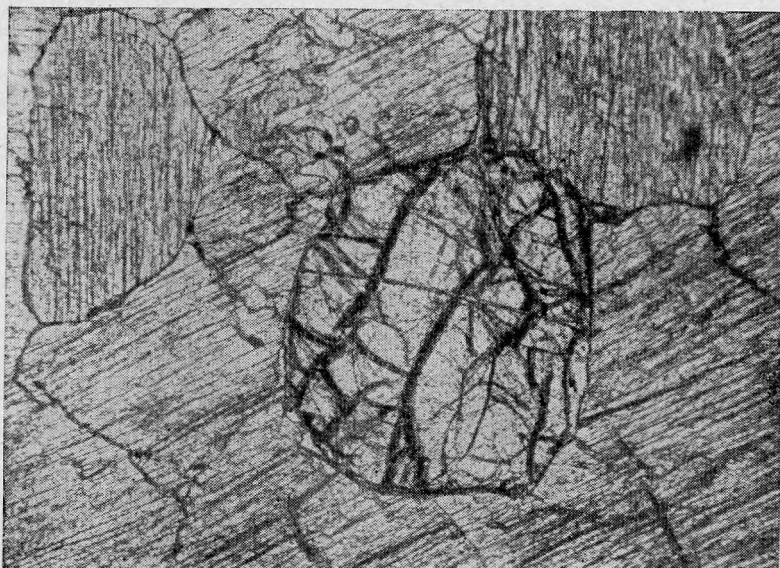


Рис. 2. Пироксенит. Баранчинский массив. Зерно оливина в среднезернистом пироксените.  $\times 17$ . Шл. 100

образом, наблюдения показали, что контактовый метаморфизм пироксенита под влиянием габбро, в результате которого образовалась роговая обманка, не изменил содержания скандия в породе.

Оливин является распространенным минералом; он был обнаружен нами почти во всех просмотренных шлифах пироксенита. Оливин присутствует в пироксенитах Баранчинского массива и в других телах пироксенитов (г. Шихвальная и др.). Его содержание в пироксените Баранчинского массива, согласно пятидесяти четырем подсчетам на интеграционном столике, колеблется от 0,4 до 28,8%. Чаще количество оливина в пироксените составляет 15—20%. Оливин находится в породе в виде изометричных зерен или в виде выделений неправильной формы, ксеноморфных по отношению к пироксену. Размеры зерен оливина составляют 0,9—2,1 мм. Он почти не затронут серпентинизацией. Согласно оптическим константам оливин пироксенитов Баранчинского массива относится к форстериту с содержанием фаялитовой молекулы  $\sim 5-7\%$  ( $2V = +86^\circ$ ;  $N_g = 1,691$ ;  $N_p = 1,652$ ;  $N_g - N_p = 0,039$ ). Округлые зерна оливина располагаются, как правило, на стыке зерен пироксена (рис. 2). Только иногда оливин в виде неправильных выделений как бы «внедряется» в более крупные зерна пироксена. Изредка выделения оливина наблюдаются в амфиболе.

Все исследованные мономинеральные пробы оливина, отобранного из пироксенита Баранчинского массива, показали чрезвычайно низкое содержание скандия.

№ пробы	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	Гора
554	0,0003	Голая
556	0,0003	»
140	0,0003	Синяя
508	0,0005	»
515	0,0005	Толстая
517	0,0009	»

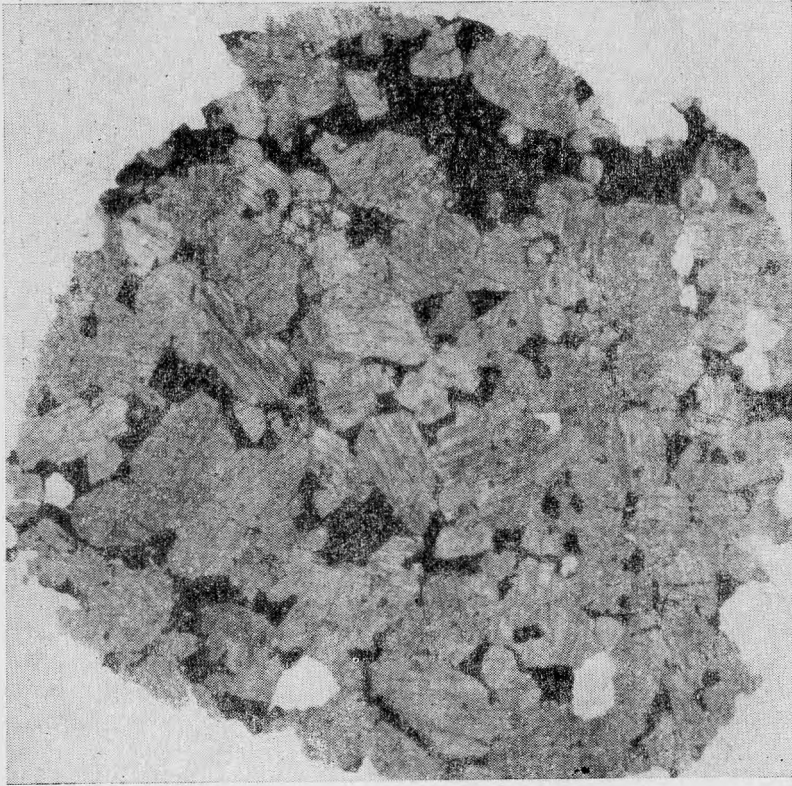


Рис. 3. Рудный пироксенит. Сидеронитовая структура. Баранчинский массив.  $\times 17$ . Шл. 757

И хотя в оливине, так же как в пироксене, содержится  $Mg^{2+}$  и  $Fe^{2+}$  в довольно заметных количествах, замещение их скандием ограничено благодаря более простому составу этого минерала, затрудняющему компенсацию заряда, необходимую при гетеровалентном замещении. Естественно, что оливиновые пироксениты содержат скандия несколько меньше, чем пироксениты, состоящие почти на 100% из пироксена (см. табл. 5). Поэтому и большая часть проб пироксенита, отобранных на Баранчинском массиве, содержит несколько меньше скандия по сравнению с пробами, взятыми на г. Малый Шихан и других массивах.

Титаномагнетит встречается во всех исследованных телах гипербазитов; его содержание колеблется от десятых долей процента до 30%. Наиболее распространенным является вкрапленный титаномагнетит. Кроме того, на Баранском и Билимбае встречаются жилообразные выделения титаномагнетита. Количество титаномагнетита в таких обособлениях достигает 70%. Титаномагнетит имеет, как правило, ксеноморфную форму по отношению к пироксену (рис. 3). Для пироксенитов с относительно большим содержанием титаномагнетита характерна сидеронитовая структура. Взаимоотношение титаномагнетита с силикатами указывает на более позднее его образование. Выполненные количественные спектральные анализы титаномагнетита из пироксенита Баранчинского массива показали, что содержание  $Sc_2O_3$  в нем не превышает десятитысячных долей процента:

№ пробы	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	Гора	№ пробы	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	Гора
554	0,0002	Голая	556	0,0003	Голая
140	0,0002	Синяя	515	0,0007	Толстая

Таким образом, содержание скандия в титаномагнетите составляет десятитысячные доли процента, хотя содержание FeO в минерале достигает примерно 30%. Вероятно, относительно простой состав минерала затрудняет вхождение Sc<sup>3+</sup> вместо Fe<sup>2+</sup>. Кроме того, ко времени выделения титаномагнетита главная масса скандия скорее всего уже была захвачена пироксеном. Низкие содержания Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в титаномагнетите приводят к тому, что разности пироксенита, богатые этим минералом, содержат меньше скандия, чем пироксениты, лишенные этого рудного минерала.

Так же мало скандия в ассоциирующих с титаномагнетитом шпинели ( $\leq 0,002\%$  Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Баранчинский массив, Билимбай) и апатите ( $\leq 0,0003\%$  Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Баронские горы).

Плагиоклазы, встречающиеся в пироксенитах приконтактных частей массивов (г. Шихвальная, Баранчинский), скандия не содержат. В некоторых пробах количество плагиоклаза достигает ~11%, что сказывается на суммарном содержании скандия в них, т. е. оно несколько ниже, чем в пробах, не содержащих плагиоклаза.

Помимо обычных пироксенитов, нами были исследованы пробы, отобранные из более позднего жильного мелкозернистого пироксенита (Баранчинский массив, г. Толстая). Мощность таких жил небольшая (~3—5 см), видимая протяженность ~5 м; контакты с вмещающими среднезернистыми пироксенитами четкие, прямолинейные. Содержание Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в мелкозернистом пироксените (М) ниже, чем в среднезернистом пироксените (С):

М	С
0,005% (проба 530)	0,010% (проба 531)
0,009% (проба 518)	0,013% (проба 517)

Вероятно, ко времени образования жил мелкозернистого пироксенита значительная часть скандия уже была захвачена пироксеном, слагающим основную массу интрузивной породы.

## ВЫВОДЫ

Исследование пироксенитов Тагило-Баранчинского массива габбро-пироксенит-дунитовой платиноносной формации Урала показало, что:

1. Пироксениты массива характеризуются повышенными содержаниями Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, колеблющимися в пределах 0,007—0,020%, и превышающими в 8—22 раза его кларк для пород земной коры. Пироксениты всех трех разновидностей имеют довольно близкие средние содержания Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,012% — 0,017%). Только самые небольшие пироксенитовые тела г. Шихвальной и Баронских гор показали минимальное среднее содержание Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, равное 0,009%.

2. Главным минерало-концентратором скандия является диопсид, содержание Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в котором составляет 0,012—0,020%. Диопсиды из наиболее распространенных среднезернистых пироксенитов, а также крупнозернистых пироксенитов и гигантозернистых шпировидных обособлений пироксенита содержат примерно одинаковые количества скандия.

3. Роговая обманка является другим важным концентратором скандия (0,01—0,02% Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Вероятно, главная масса роговой обманки образовалась за счет замещения диопсида и унаследовала содержащийся в нем скандий. Горнблендиты из контактовых зон пироксенита с габбро содер-

жат примерно столько же скандия, сколько неамфиболизированный пироксенит.

4. Минералами-носителями скандия являются оливин, титаномагнетит и акцессорные — шпинель, апатит. Во всех этих минералах содержание скандия  $\leq 0,002\%$  и обычно составляет десятитысячные доли процента. Низкие содержания скандия в этих минералах зависят от их состава, структуры, а также времени их выделения. Титаномагнетит, выделившийся явно после пироксена, содержит в 30 раз меньше скандия.

5. Колебания содержания скандия в пироксенитах массива зависят только от их минерального состава. Породы, богатые титаномагнетитом или оливином, беднее скандием, чем породы, состоящие преимущественно из диопсида. Содержание скандия в пироксените, в котором диопсида  $>90\%$ , как правило,  $\sim 0,018 - 0,020\%$ .

6. Содержание скандия в более поздних мелкозернистых пироксенитах из жил, пересекающих обычные среднезернистые пироксениты, заметно ниже, чем во вмещающих породах и составляет  $\sim 0,007\%$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

- Белопольский М. П., Гумбар К. К., Попов Н. П. Фотоколориметрический метод определения скандия в алюмосиликатах и золах углей.— Информ. сб. ВСЕГЕИ, 1961, № 51.
- Борисенко Л. Ф. О распределении скандия в изверженных породах на примере некоторых массивов Советского Союза.— Геохимия, 1959, № 7.
- Борисенко Л. Ф. Малые элементы и вопросы генезиса гипербазитов Нижнетагильского массива.— Геохимия, 1961, № 12.
- Борисенко Л. Ф., Родионов Д. А. Распределение скандия в интрузивных породах.— Геохимия, 1961, № 9.
- Борисенко Л. Ф., Журавлев Л. Г., Сосновская Л. И. О коррелятивной связи среднего содержания скандия и некоторых породообразующих элементов в интрузивных породах.— Докл. АН 1961, 138, № 1.
- Воробьева О. А., Самойлова Н. В., Свешникова Е. В. Габбро-пироксенит-дунитовый пояс Среднего Урала.— Труды ИГЕМ АН СССР, вып. 65, 1962.
- Гольдшмидт В. М. Сборник статей по геохимии редких элементов. ГОНТИ, НКТП, М.— Л., 1938.
- Заваридский А. Н. Некоторые основные вопросы геологии Урала.— Изв. АН СССР, серия геол., № 3, 1941.
- Левинсон-Лессинг Ф. Ю. О новом месторождении платины на Урале (в Синих горах ок. Баранчи).— Изв. СПб. Политехнич. ин-та, 11, 1909, стр. 427—458.
- Овчинников Л. Н. К вопросу определения абсолютного возраста рудных месторождений Урала.— Геохимия, 1958, № 6.
- Черкасов Ю. А. Применение «фокального экранирования» при измерениях показателей преломления иммерсионным методом. В кн.: «Современные методы минералогического исследования горных пород, руд и минералов». Госгеолтехиздат, 1957.
- Штейнберг Д. С., Малахов И. А. Путеводитель Тагил-Кушвинской экскурсии. Свердловск, 1961.
- Eberhard G. Über die weite verbreitung des Scandium auf der Erde. Bd. 1—2, Berlin, 1908.
- Goldschmidt V. M. Drei Vorträge über Geochimie. Geol. fören. in Stockholm förhandl, 1934, 56, 3.
- Kvalheim A., Strock W. Spectrochemical determination of scandium in silicate rocks.— Spectrochim. acta, 1939, 1, hft. 3.
- Nilson L. F. Über Scandium, ein neues Erdmetall, Ber. Dtsch. chem. Ges., 1879, 12.
- Nockolds S. R., Mitchell R. L. The geochemistry of some coledonium plutonic.— Trans. Roy. Soc. Edinburgh, 1948, 61, № 2.
- Noddack J. u. W. Die Häufigkeit der chemischen Elemente.— Naturwissenschaften, 1930, 18.
- Sahama Th. G. Spurenelemente der Gesteine im südlichen finnisch Lapland.— Bull. Comm. geol. de Finlande, 1945, № 135.