

Типоморфные особенности клинопироксенов в породах интрузий норильского типа

Крылов И.О.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, ikrylov46@gmail.com

Аннотация. Приведены обобщенные данные о химическом составе и типоморфных особенностях клинопироксенов различных горных пород в составе интрузий норильского типа, показаны результаты исследования клинопироксенов различных норильских дифференциатов методом Фурье-ИК-спектроскопии. Установлена закономерность изменения графиков ИК-спектра с изменением содержания компонентов-примесей в клинопироксенах.

Ключевые слова: Пироксены, Норильская металлогеническая провинция, Талнахский рудный узел, Норильский рудный узел, химический состав.

Typomorphic features of clinopyroxenes in rocks of the Norilsk type intrusions

Krylov I.O.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, ikrylov46@gmail.com

Abstract. Generalized data on the chemical composition and typomorphic features of clinopyroxenes of various rocks in the composition of Norilsk-type intrusions are presented, and the results of the study of clinopyroxenes of various Norilsk differentiates by Fourier-IR spectrometry are shown. The regularity of changes in the graphs of the IR spectrum with changes in the content of impurity components in clinopyroxenes is established.

Key words: Pyroxenes, Norilsk metallogenic province, Talnakh ore field, Norilsk ore field, chemical composition.

Введение

Пироксены – главные и наиболее распространенные феррические минералы в габбро-долеритах интрузий Норильского типа. Они представлены как ромбическими, так и моноклинными разновидностями. Наиболее широким распространением пользуются клинопироксены. Ортопироксены встречаются преимущественно в породах, обогащенных оливином (Годлевский, 1959).

В разрезах изотропных интрузий содержание минерала практически постоянно, а с увеличением степени дифференциации в магматических телах проявляется разная степень распределения пироксена (Рябов и др., 2001). В интрузиях норильского типа это проявляется наиболее отчетливо – максимум концентрации пироксена приходится на среднюю часть дифференцированной серии пород.

Клинопироксены из габбро-долеритов расслоенной серии представлены авгитом, а в основных пегматоидах – бронзитом и гиперстеном (Никулин и др., 2020).

Железистость клинопироксена возрастает от центра к периферии зерен. Для богатых оливином габбро-долеритов рудоносных интрузий, характерно появление зональных кристаллов клинопироксена различных цветов: от богатых хромом зеленых до обогащенных титаном бурых разновидностей (Золотухин и др., 1981). Повышение железистости клинопироксена происходит снизу – вверх по разрезу, в направлении от высокомагнезиальных дифференциатов к железистым. Это проявлено как в пространстве – от центра к периферии зональных кристаллов, так и во времени от ранних фаз к поздним. Общий диапазон колебания железистости клинопироксенов рудоносных интрузий составляет 40 ат. % (от 17 до 57 ат. %).

Состав клинопироксенов рудоносных дифференцированных интрузий в ряду пород от пикритовых к безоливиновым габбро-долеритам изменяется с уменьшением в их составе содержания Al_2O_3 , Cr_2O_3 , CaO , MgO и увеличением SiO_2 , TiO_2 , суммы $FeO+Fe_2O_3$ и Na_2O+K_2O (Золотухин и др., 1981). Зеленые клинопироксены пикритовых габбро-долеритов с высокой рудоносностью в сравнении с

безрудными характеризуются минимальной для клинопироксенов из траппов железистостью, наиболее высоким содержанием глинозема, хрома и кальция.

В 2020 году коллективом кафедры геологии геохимии и экономики полезных ископаемых (Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова), с целью изучения типоморфных особенностей породообразующих минералов, были проведены исследования, базирующиеся на более, чем 500 Фурье-ИК-спектров клинопироксенов с заверкой их химического состава методом рентгеноспектрального микроанализа. Были изучены клинопироксены из оливинсодержащих габбро-долеритов, оливиновых габбро-долеритов и пикритовых габбро-долеритов в скважинах: ОМ-4, ОМ-5, ОМ-20 и ОМ-24 (Хараелахская интрузия, северная часть), ПЛ-7, ПЛ-9, ПЛ-24, ПЛ-54, ПЛ-40, ПЛ-41, ПЛ-42, ОУГ- 2 (центральная часть Хараелахской интрузии), СФ-7, а также ЗФ-7 (западный фланг Хараелахской интрузии).

Методы исследования

Исследование проводилось на ИК-Фурье микроскопе Nicolet-380 с ИК-Фурье микроскопом Centaurus компании THERMO Scientific (США) и ИК-Фурье-спектрометре VERTEX 70 с модулем комбинационного рассеяния RAM II в диапазоне волновых чисел $650-4000\text{ см}^{-1}$ и $400-4000\text{ см}^{-1}$. Для разделения породообразующих минералов габбро-долеритов, применялся метод гравитационного разделения зерен минералов в тяжелых жидкостях. После получения трех различных по плотности фракций, производилась выборка исследуемых зерен под бинокляром. Кроме стандартных проб в виде порошка (аналитической пудры), в анализе участвовали плоскопараллельные пластины, толщиной 0.1-0.2 мм, с целью изучения зональности в составе минеральных зерен и объеме породы, а также в качестве дополнительной заверки полученных результатов. Несмотря на удобство, метод пластин требует больших затрат времени на изготовление пластин, по сравнению с временем анализа отдельных обломочных зерен. Также данный метод является неприменимым для анализа акцессорных минералов, в связи с их малым содержанием в породе и низкой вероятностью попадания в препарат.

Результаты

В результате работы выявлены закономерности в основных породообразующих минералах, в частности, типоморфные особенности клинопироксенов в различных дифференциатах Норильского рудного узла. На примере клинопироксенов из дифференциатов Хараелахской интрузии установлено, что в наиболее распространенным клинопироксеном является авгит с содержанием Са от 20 до 45 м. %. Вторым по распространению является пижонит (табл. 1).

Таблица 1. Процентная доля различных клинопироксенов в изученных образцах.

Table 1. Percentage of various clinopyroxenes in the studied samples.

Минерал	Количественное соотношение (в %)
Авгит	67
Пижонит	15
Диопсид	4
Геденбергит	2
Прочие	12

Согласно литературным данным, полосы поглощения в диапазоне $400-600\text{ см}^{-1}$ связаны с колебаниями Si-O и валентными колебаниями металл-кислород, полосы $880-670\text{ см}^{-1}$ и $1120-900\text{ см}^{-1}$ вызваны валентными и деформационными колебаниями в цепочках Si_2O_6 (Hamilton, 2000). Для авгита из изученных габбро-долеритов характерны идентификационные линии поглощения (табл. 2, рис. 1), почти полностью совпадающие с эталонными полосами поглощения из литературных данных, опубликованных ранее.

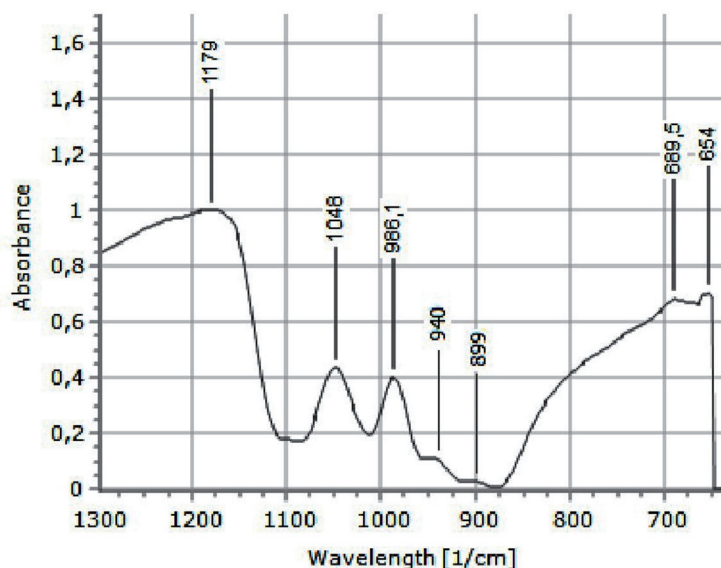


Рис. 1. Идентификационные линии поглощения эталонного авгита, обр. ЗФ-116-4 – пикритовый габбро-долерит (Никулин И.И. и др., 2020).

Fig. 1. Identification absorption lines of reference augite, sample ZF-116-4 – picrite gabbro-dolerite (Nikulin I.I. et al., 2020).

Таблица 2. Сравнение интерференционных линий поглощения (ИЛП) авгитов с эталонными ИЛП клинопироксенов по Hamilton, 2000 (см⁻¹).

Table 2. Comparison of interference absorption lines (ILL) of augites with reference ILL of clinopyroxenes according to Hamilton, 2000 (cm⁻¹).

Номер пробы	Wo En/En+Fs	ИЛП-1 1120-1077 (1102)	ИЛП-2 961-937 (955)	ИЛП-3 970-875 (915)	ИЛП-4 (-)	ИЛП 5 (-)	ИЛП-6 (-)	ИЛП-7 560-505- 543	ИЛП-8 489-464 (477)
ПР 7.1.3.8	42.2/0.7	1071	969	911*	871	675	636	513	477
210.1.3.2	38.4/0.8	1070	968	915	866	674*	631	511	472
210.2.3.3	35.7/0.8	1068	970	918	873	673	637	507	473
210.3.3.5	33.9/0.8	1070	966	919	871	675	639	510	473
210.3.3.5	33.5/0.8	1071	970	916*	873	674	638	51	480
210.3.3.6	29.8/0.7	1073	970	921	874	673	635	512	480
210.2.3.4	29.4/0.8	1074	973	915	875	673	635	512	477
210.3.3.1	24.8/0.8	1072	969	917	872	674	635	510	476
Среднее	33.1/0.7	1073	970	918	873	674	635	511	476

*Среднее значение рассчитано по всей выборке. * – нечеткие пики.

При волновых числах свыше 1100 см⁻¹, в ИК спектрах отмечается пик 3400 см⁻¹. По данным предыдущих исследователей (Yang, Xia, Zhang, 2015), этот пик зависит от температуры кристаллизации минерала, так как связан с колебанием ОН-групп. В изученных авгитах данный пик находится в диапазоне 3450-3440, что указывает на высокую температуру образования авгитов (рис. 2).

Статистическое обобщение полученных по спектрам данных позволяет выявить зависимость графика ИК-спектра от примесей. В исследуемых образцах отмечается большее содержание магния по отношению к железу. Все изученные авгиты имели повышенные содержания магния по сравнению с железом, значимых изменений ИЛП авгитов с увеличением содержания кальция не наблюдалось.

Пижониты имеют характерные линии поглощения, отличающиеся от остальных членов группы клинопироксенов. Пижонит имеет ИЛП в промежутке от 1100 до 1000 см⁻¹, с большими допусками.

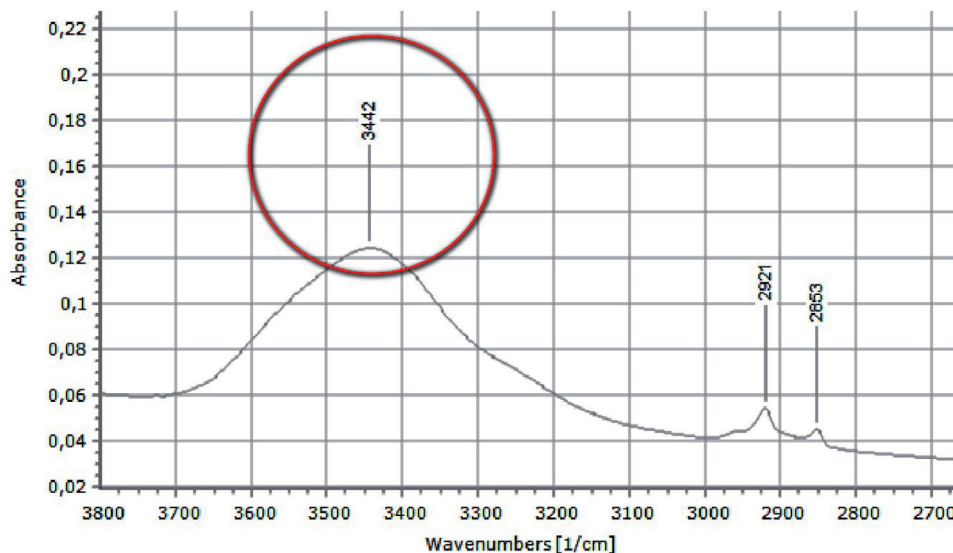


Рис. 2. Пик 3442 в структуре авгита. Fig. 2. Peak 3442 in the augite structure.

ми от образца к образцу. ИЛП-3 находится в районе $950\text{--}940\text{ см}^{-1}$ со следующим за ним ИЛП-4 в диапазоне $875\text{--}887\text{ см}^{-1}$

Диопсиды и геденбергиты в выборке были представлены крайне незначительным количеством образцов для того, чтобы делать на их основе далеко идущие выводы. Имеющиеся данные позволяют утверждать, что диопсиды с небольшим допуском имеют все ИЛП авгитов за исключением ИЛП-5, в то время как геденбергиты не имеют ИЛП-2,3 и 4: они представлены единственным пиком в районе $1100\text{--}1080\text{ см}^{-1}$.

ИК-спектры клинопироксенов в кристаллах и пластинках имеют ряд определенных отличий. Почти все ИЛП в пластинах совпадают с ИЛП в порошках, со сдвигом до $+30\text{ см}^{-1}$.

Изучение примесей и особенностей химического состава пироксенов Хараелахской интрузии возможно при обширном исследовании ИК-спектров с микрозондовым и структурным исследованием образцов пород, из которых производился отбор. В этом случае с крайне высокой вероятностью возможно установление корреляций между содержанием примесей в породообразующих минералах и рудоносностью.

Литература

1. Геология Норильской металлогенической провинции (под ред. И.И. Никулина) ПАО «ГМК «Норильский никель». М. Изд-во: МАКС Пресс. 2020. 524 с.
2. Золотарёв А.А., Аплонов В.С. Особенности химического состава плагиоклазов в горных породах Талнахского рудного узла (северо-запад Сибирской платформы) // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2014. Вып. 3. С. 25–31.
3. Золотухин В.В., Рябов В.В., Васильев Ю.Р., Шатков В.А. Петрология Талнахской рудоносной дифференцированной трапповой интрузии. Новосибирск. Изд-во: Наука. 1975. 436 с.
4. Налдретт А.Дж. Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометаллических руд. Спб. Изд-во: СПбГУ. 2003. 487 с.
5. Рябов В.В., Шевко А.Я., Гора М.П. Магматические образования Норильского района. Петрология траппов. Новосибирск. Изд-во: Нонпарель. 2001. Т. 1. 408 с.
6. Никулин И.И., Радько В.А., Самсонов А.А., Вильданов Д.И., Коршунов Д.М., Крылов И.О. (под общ. ред. В.И. Старостина). Топоминералогическое картирование интрузий Норильского района по данным инфракрасной спектроскопии: Методическое пособие. М. Изд-во: ВНИИ-геосистем. 2020. 108 с.
7. Yang Xia, Zhang High quantum-yield luminescent MoS_2 quantum dots with variable light emission created via direct ultrasonic exfoliation of MoS_2 nanosheets // RSC Advances. 2015. 115 P. <https://doi.org/10.1039/C5RA19201C>.