РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ЗАПИСКИ РОССИЙСКОГО МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА



№ 6 · 2023

Амфиболы Ловозерского щелочного массива (Кольский полуостров)	
Л. М. Лялина, Я. А. Пахомовский, Ю. А. Михайлова, Е. А. Селиванова	1
НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ	
Новые минералы. LXXVII	
В. Н. Смольянинова	45
МИНЕРАЛЫ И ПАРАГЕНЕЗИСЫ МИНЕРАЛОВ	
Хромит-ферри-ульвошпинелевая серия минералов щелочных пикрит-базитовых пород севера Сибирской платформы и их окситермобарометрия	
А. В. Округин	80
Минералы надгруппы алунита в слоистых колчеданных рудах месторождения Яман-Касы, Южный Урал: морфология, ассоциации и химический состав	
Н. П. Сафина, В. А. Котляров, И. А. Блинов	95
ИСТОРИЯ НАУКИ	
О бесконечном, естественно содержащемся в конечном	
Ю. Л. Войтеховский	111
ХРОНИКА	
О минералогии и геохимии ландшафта, современном минералообразовании и рациональном природопользовании как интеграции знаний о минералого-геохимических горнопромышленных геосистемах	
Г. А. Юргенсон	121



Ч. CLII, № 6, 2023

Ξ

Амфиболы Ловозерского щелочного массива (Кольский полуостров) Л. М. Лялина, Я. А. Пахомовский, Ю. А. Михайлова, Е. А. Селиванова	1
НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ	
Новые минералы. LXXVII	
В. Н. Смольянинова	45
МИНЕРАЛЫ И ПАРАГЕНЕЗИСЫ МИНЕРАЛОВ	
Хромит-ферри-ульвошпинелевая серия минералов щелочных пикрит-базитовых пород севера Сибирской платформы и их окситермобарометрия	
А. В. Округин	80
Минералы надгруппы алунита в слоистых колчеданных рудах месторождения Яман-Касы, Южный Урал: морфология, ассоциации и химический состав	
Н. П. Сафина, В. А. Котляров, И. А. Блинов	95
ИСТОРИЯ НАУКИ	
О бесконечном, естественно содержащемся в конечном Ю. Л. Войтеховский	111
ХРОНИКА	
О минералогии и геохимии ландшафта, современном минералообразовании и полотользовании как интеграции знаний	
о минералого-геохимических горнопромышленных геосистемах	
Г. А. Юргенсон	121

-

Ч. CLII, no. 6, 2023

Amphibole Supergroup Minerals in the Lovozero Alkaline Massif (Kola Peninsula) L. M. Lyalina, Ya. A. Pakhomoysky, J. A. Mikhailova, and E. A. Selivanova	1
NEW MINERALS	
New Minerals. LXXVII	
V. N. Smolyaninova	45
MINERALOGICAL CRYSTALLOGRAPHY	
Chromite-Ulvöshpinel Series of Minerals from Alkaline Picrite-Basic Rocks of the North Siberian Platform and Their Oxythermobarometry <i>A. V. Okrugin</i>	80
Minerals of the Supergroup of Alunite in Layered Ores of the Yaman-Kasy Sulfide Deposit, Southern Urals: Morphology, Assemblages, and Chemical Composition N. P. Safina, V. A. Kotlyarov, and I. A. Blinov	95
HISTORY OF THE SCIENCE	
On the Infinite Naturally Contained in the Finite	
Yu. L. Voytekhovsky	111
CHRONICLES	
About Mineralogy and Geochemistry of the Landscape, Contemporary Mineral-Forming and the Rational Environmental Management as an Integrated Knowledge on Mineralogical-Geochemical Mining Geosystems	
G. A. Yurgenson	121

-

АМФИБОЛЫ ЛОВОЗЕРСКОГО ЩЕЛОЧНОГО МАССИВА (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

© 2023 г. д. чл. Л. М. Лялина^{1,} *, д. чл. Я. А. Пахомовский¹, Ю. А. Михайлова¹, Е. А. Селиванова¹

¹Геологический институт, ФИЦ Кольский научный центр РАН, ул. Ферсмана, 14, Апатиты, Мурманская обл., 184209 Россия *e-mail: l.lyalina@ksc.ru

> Поступила в редакцию 03.05.2023 г. После доработки 05.06.2023 г. Принята к публикации 02.10.2023 г.

На основе анализа литературных данных и собственных исследований авторами установлен 21 минеральный вид надгруппы амфиболов в породах Ловозерского массива (Кольский п-ов). Из них одиннадцать относятся к натриевым амфиболам, четыре являются натрий-кальциевыми и шесть – кальциевыми. Натриевые амфиболы широко развиты как в щелочных породах различных комплексов Ловозерского массива – дифференцированного, эвдиалитового и пойкилитового, в пегматитах и гидротермальных жилах, так и в вулканогенно-осадочных образованиях трапповой формации, представленных ксенолитами кровли массива. Магнезиоарфведсонит является самым распространенным амфиболом, часто становясь породообразующим и главным среди темноцветных минералов. Натрий-кальциевые амфиболы характерны для пород пойкилитового комплекса и ксенолитов вулканогенно-осадочных образований. Кальциевые амфиболы установлены исключительно в ксенолитах пород трапповой формации, подвергшихся в различной степени метаморфическим и метасоматическим преобразованиям. Рассмотрены особенности морфологии, химического состава, изоморфных замещений, парагенетические ассоциации амфиболов Ловозерского массива, их приуроченность к различным типам и комплексам пород, оценена их распространенность.

Ключевые слова: натриевые амфиболы, натрий-кальциевые амфиболы, кальциевые амфиболы, щелочные породы, Ловозерский массив

DOI: 10.31857/S0869605523060023, EDN: GOAWJW

введение

Ловозерский массив, расположенный в западной части Кольского полуострова среди архейских гранито-гнейсов, является одним из крупнейших щелочных массивов мира. Он сложен разнообразными фельдшпатоидными сиенитами и фоидолитами (луявритами, фойяитами, ийолитами, уртитами и другими разновидностями пород), содержит многочисленные ксенолиты кровли и окружен ореолом фенитизации. Характерными акцессорными, а часто и породообразующими, минералами большинства пород массива являются амфиболы, представленные, как показано ниже, значительным числом минеральных видов.

Уже в первых работах по минералогии Ловозерского массива было отмечено широкое распространение щелочной роговой обманки в породах и пегматитах (Минералы ..., 1937 и ссылки в ней). Период 1950–1960-х годов можно считать наиболее активным в систематическом исследовании амфиболов, отразившемся в целом ряде публикаций как петрологической, так и чисто минералогической направленности, где описание минерала сопровождалось его химическим анализом. Именно эти материалы послужили для авторов предлагаемой работы отправной точкой сбора результатов аналитических исследований минералов надгруппы амфиболов из пород Ловозерского массива в единую базу данных, в которой каждый оригинальный химический состав минералов имеет собственный идентификационный номер, и свою историю заимствования в более поздние публикации, иногда и под другими названиями (табл. 1). Для ряда минералов определение до вида изменено нами в соответствии с действующей номенклатурой надгруппы амфиболов (Hawthorne et al., 2012).

В литературе по Ловозерскому массиву щелочные амфиболы указаны в качестве породообразующих минералов в альбититах (Бондарева и др., 1959), в амфиболовых луявритах (Волков и др., 1962), в сфен-амфиболовом ийолит-мельтейгите (Герасимовский, Поляков, 1962), а также в уртитах и фойяитах¹ (Герасимовский и др., 1966) (табл. 1). Исследователи отмечают, что значительно различающиеся по составу породы массива содержат близкие по химическому составу амфиболы, что указывает на тесную генетическую связь между этими породами (Волков, 1962).

Существенные отличия отмечались в химическом составе "обычного" породообразующего амфибола нефелиновых сиенитов от амфибола из альбитов г. Сэлсурт, выраженные в резком снижении соотношения окисного и закисного железа в составе последнего (Бондарева и др., 1959). Подобные амфиболы с высоким содержанием Fe_2O_3 описаны под названием "рибекит" в пегматитах гор Лепхе-Нельм и Кедыквырпахк (Семенов, Капитонова, 1964) (табл. 1). В этой работе помимо "рибекита" подробно охарактеризованы амфиболы под названиями "арфведсонит", "экерманнит", "магнезиорибекит" и "катофорит" из нефелин-сиенитовых пегматитов, а также рассмотрен типоморфизм состава амфиболов в различных парагенетических ассоциациях редкометальных минералов. Так, "арфведсонит", практически не содержащий кальция и магния, присутствует в высоконатриевой ассоциации с мурманитом, рамзаитом, уссингитом, эвдиалитом, нордитом в пегматитах гор Сенгисчорр, Пункаруайв и Карнасурт. Напротив, существенно кальциевый "катофорит" встречается в ассоциации с розенбушитом и ловенитом в пегматитах долины реки Муруай, генетически связанных с пойкилитовыми сиенитами.

Все сведения из перечисленных, а также некоторых других работ, в кратком виде обобщены в монографии Е.И. Семенова (1972). В целом нужно отметить, что попытки диагностировать амфиболы до минерального вида предпринимались, однако чаще при описании пород использовалось общее название "амфибол", без уточнения названия до видового.

В более поздних трудах по минералогии Ловозерского массива амфиболам уделено совсем немного внимания. Так, в монографии А.П. Хомякова (1990) перечислены пять минеральных видов группы амфиболов и даны два оригинальных анализа амфибола под названием "арфведсонит" из пегматитовой залежи Юбилейная на г. Карнасурт. В обзоре 2001 года (Пеков, 2001) указаны 12 минеральных видов из группы амфиболов, когда-либо упоминавшихся в публикациях по Ловозерскому массиву. Из них лишь для пяти видов (арфведсонита, магнезиоарфведсонита, фтормагнезиоарфведсонита, магнезиорибекита и магнезиоферрикатофорита) приведены данные по морфологии и химическому составу, а описание магнезиоарфведсонита дополнено одним оригинальным химическим анализом (табл. 1). Оставшиеся за рамками работы (Пеков, 2001) амфиболы следует ставить под сомнение, поскольку морфологических, оптических, физических и рентгенографических данных недостаточно для определения минерального вида: необходимы достоверные результаты определения химического

¹ Здесь и далее в статье названия пород и минералов приводятся в соответствии с литературным источником.

Таблица 1. Названия амфиболов в публикациях, посвященных Ловозерскому массиву, и в соот-ветствии с действующей номенклатурой Table 1. Names of amphibole species in publications on the Lovozero massif, and in accordance to their current nomenclature

БД*	Авторское название и первоисточник	Название амфибола в публикациях, заимствовав- ших анализ из первоисточника	Название по действу- ющей номенклатуре 2012 г. (Hawthorne et al., 2012)
1156	Арфведсонит (Власов и др., 1959) г. Кедыквырпахк	Арфведсонит (Буссен, Сахаров, 1972)	Ферроэкерманнит**
1116	Литийсодержащий амфибол (Бондарева и др., 1959) анализ № 1	Без названия (Волков и др., 1962), Мg-рибекит (Буссен, Сахаров, 1972)	Магнезиофторарф- ведсонит
1117	Арфведсонит (Власов и др., 1959) роговообманковый луяврит, г. Куамдеспахк	Породообразующий амфибол (Бондарева и др., 1959), арфведсонит(Буссен, Сахаров, 1972)	Калиймагнезиоарф- ведсонит
1118	Арфведсонит (Власов и др., 1959) уртиты, г. Нинчурт	Арфведсонит (Герасимовский и др., 1966)	Феррифторнибеит**
926	Щелочной породообразующий амфи- бол (Волков и др., 1962) луяврит амфиболовый	Безназвания (Буссен, Сахаров, 1972), арфведсонит (Пеков, 2001)	Феррофторэкерман- нит**
1125	Щелочной породообразующий амфи- бол (Волков и др., 1962) сфен-амфиболовый ийолит-мельтейгит	Без названия (Герасимовский, Поляков, 1962), без названия (Буссен, Сахаров, 1972)	Феррофторэкерман- нит**
927	Щелочной породообразующий амфи- бол (Волков и др., 1962) луяврит амфиболовый	Безназвания (Буссен, Сахаров, 1972), арфведсонит (Пеков, 2001)	Фторарфведсонит**
1119	Арфведсонит (Семенов, Капитонова, 1964) г. Аллуайв	Арфведсонит (Семенов, 1972), арфведсонит (Буссен, Сахаров, 1972)	Ferri-rootname 14***
1120	Арфведсонит (Семенов, Капитонова, 1964) г. Сенгисчорр	Арфведсонит (Семенов, 1972)	Арфведсонит
1121	Арфведсонит (Семенов, Капитонова, 1964) г. Куйвчорр		Экерманнит
935	Эккерманит (Семенов, Капитонова, 1964) г. Непха	Арфведсонит (Семенов, 1972), ферриэккерманит**** (Бус- сен, Сахаров, 1972), фтормагнезиоарфведсонит (Пеков, 2001)	Калиймагнезиоарф- ведсонит
1122	Рибекит (Семенов, Капитонова, 1964) пегматит, г. Кедыквырпахк	Мg-рибекит (Семенов, 1972)	Калиймагне- зиофтор- арфведсонит
1123	Рибекит (Семенов, Капитонова, 1964) гидротермалит, г. Непха	Мg-рибекит (Семенов, 1972)	Калиймагне- зиофторарфведсонит
1124	Рибекит (Семенов, Капитонова, 1964) альбитит, г. Флора	Магнезиоарфведсонит (Бус- сен, Сахаров, 1972)	Магнезиофторарф- ведсонит

БД*	Авторское название и первоисточник	Название амфибола в публикациях, заимствовав- ших анализ из первоисточника	Название по действу- ющей номенклатуре 2012 г. (Hawthorne et al., 2012)
933	Катафорит (Семенов, Капитонова, 1964) г. Сенгисчорр	Арфведсонит (Семенов, 1972), катафорит (Буссен, Сахаров, 1972), магнезиоферрикатофорит (Пеков, 2001)	Феррифторкатофо- рит
1154	Арфведсонит (Герасимовский и др., 1966) эвдиалитовый луяврит	Арфведсонит (Семенов, 1972), без названия (Буссен, Сахаров, 1972)	Магнезиофторарф- ведсонит
1155	Арфведсонит (Герасимовский и др., 1966) амфиболовый луяврит	Арфведсонит (Семенов, 1972), без названия (Буссен, Сахаров, 1972)	Фторрихтерит
932	Магнезиорибекит (Герасимовский и др., 1966) обр. № 1969	Арфведсонит (Семенов, 1972), магнезиорибекит (Буссен, Сахаров, 1972), магнезиорибекит(Пеков,2001)	Фторрихтерит
934	Арфведсонит (Герасимовский и др., 1966) фойяит	Арфведсонит (Семенов, 1972), без названия (Буссен, Сахаров, 1972), фтормагнезиоарфведсонит (Пеков, 2001)	Феррифторнибеит**
928	Арфведсонит (Семенов, 1972) г. Аллуайв	Арфведсонит (Пеков, 2001)	Арфведсонит
936	LiMnMg-рибекит (Семенов, 1972) г. Непха	Фтормагнезиоарфведсонит (Пеков, 2001)	Калиймагне- зиофторарфведсонит
1157	Без названия (Буссен, Сахаров, 1972) эвдиалитовый луяврит, г. Аллуайв, обр. № 2А		Магнезиофторарф- ведсонит
1158	Без названия (Буссен, Сахаров, 1972) сфеновый ийолит, обр. № 2207-К		Магнезиофторарф- ведсонит
929	Арфведсонит (Хомяков, 1990) г. Карнасурт	Магнезиоарфведсонит (Пеков, 2001)	Магнезиоарфведсо- нит
930	Арфведсонит (Хомяков, 1990) г. Аллуайв	Магнезиоарфведсонит (Пеков, 2001)	Рихтерит
931	Магнезиоарфведсонит (Пеков, 2001) альбитизированный мурманитовый лу- яврит, г. Флора		Магнезиоарфведсо- нит
1073	Калийарфведсонит (Pekov et al., 2004) пегматит, г. Кедыквырпахк		Калийарфведсонит

Таблица 1. Окончание

^{*} Номер анализа в базе данных. Все анализы приведены с указанными номерами БД в электронном приложении, файл Литер_данные.xlsx. Для единообразия расчета для всех анализов железо пересчитано на FeO. ** Неутвержденный (гипотетический) минеральный вид или промежуточный член серии твердых растворов. *** Ferri-rootname 14 – Na(NaMn)(Mg4Fe³⁺)(Si₇Al)O₂₂(OH)₂ – крайний член изоморфного ряда с Rootname 14 Na(NaMn)(Mg4Al)(Si₇Al)O₂₂(OH)₂ (Hawthorne et al., 2012). **** Ферриэкерманнит = магнезио-арфведсонит (см. Раздел "Магнезиоарфведсонит").

Таблица 2. Изменения названий и формул минеральных видов надгруппы амфиболов в номенклатурах разных лет

1978 r. (Leake, 1978)	1997 r. (Leake et al., 1997)	2012 r. (Hawthorne et al., 2012)
Магнезиоферрикатофорит NaCaNaMg ₄ Fe ³⁺ Si ₇ AlO ₂₂ (OH) ₂	Mагнезиокатофорит Na(CaNa)Mg ₄ (Al,Fe ³⁺)(Si ₇ AlO ₂₂)(OH) ₂	Феррикатофорит Na(NaCa)(Mg ₄ Fe ³⁺)(Si ₇ Al)O ₂₂ (OH) ₂
Marнезиоалюмокатофорит NaCaNaMg ₄ AlSi ₇ AlO ₂₂ (OH) ₂	Магнезиокатофорит Na(CaNa)Mg ₄ (Al,Fe ³⁺)(Si ₇ AlO ₂₂)(OH) ₂	Катофорит Na(NaCa)(Mg ₄ Al)(Si ₇ Al)O ₂₂ (OH) ₂
Феррикатофорит	Катофорит	Ферроферрикатофорит
NaCaNaF e_4^{2+} F e^{3+} Si ₇ AlO ₂₂ (OH) ₂	$Na(CaNa)Fe_4^{2+}(Al,Fe^{3+})(Si_7AlO_{22})(OH)_2$	$Na(NaCa)(Fe_4^{2+}Fe^{3+})(Si_7Al)O_{22}(OH)_2$

Table 2. Changes of names and formulas of amphibole supergroup mineral species in their nomenclatures of different periods

состава, исключающие также и возможное загрязнение примесями других фаз при проведении анализа.

По этим причинам и для относительно подробно описанных ранее амфиболов с приведенными химическими составами ситуация на сегодня требует уточнения. Это связано как со значительно продвинувшимися аналитическими возможностями, так и вследствие трижды за этот период произошедших изменений номенклатуры группы амфиболов (Leake, 1978; Leake et al., 1987; Hawthorne et al., 2012), что показано нами на примере натрий-кальциевых амфиболов в табл. 2.

В более поздних работах для решения петрологических задач химический состав амфиболов Ловозерского массива исследовался с помощью рентгеновского электронно-зондового микроанализа (Electron Probe Microanalysis, EPMA) (Зайцев, Сенин, 2008; Корчак и др., 2011; Mikhailova et al., 2019).

Предлагаемая работа является результатом детального изучения рассматриваемых минералов в Ловозерском массиве с его богатейшей и уникальной минералогией. Обзор амфиболов Ловозерского массива включает историю их изучения, описание видового разнообразия, минералогические характеристики (морфология, свойства, химический состав, включения, парагенетические ассоциации), распространенность в породах массива. Опубликованные в литературе и собственные результаты аналитических исследований амфиболов Ловозерского массива собраны нами в базу данных, в которой каждый образец (химический состав) имеет собственный уникальный номер Базы Данных (БД), и именно под этим номером приводится в описаниях, таблицах и на диаграммах. В данную работу включены все достоверно установленные минеральные виды группы амфиболов: (1) новые для Ловозерского массива, (2) известные ранее, но изменившие свое видовое название в рамках новой номенклатуры, (3) недостаточно изученные амфиболы. Предлагаемая работа имеет еще и кадастровую направленность, поскольку мы приводим устаревшие названия амфиболов в соответствие с действующей номенклатурой (табл. 1, электронное приложение, файл Литер данные.xlsx). Авторами установлено 14 минеральных видов надгруппы амфиболов, что в сумме с литературными данными составило 21 минеральный вид.

КРАТКАЯ ГЕОЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛОВОЗЕРСКОГО МАССИВА

Ловозерский щелочной массив представляет собой расслоенный лакколит с широкой "ножкой" (Герасимовский и др., 1966), имеющий в плане форму прямоугольника со скругленными углами площадью 650 км² (рис. 1). По геофизическим данным (Шаблинский, 1963), щелочные породы прослеживаются до глубины 7 км. Нижняя граница их распространения не установлена, контакты массива с вмещающими породами практически вертикальны. Возраст внедрения массива в архейские гранито-



Рис. 1. Расположение Ловозерского массива в пределах Кольского полуострова (вверху слева, спутниковый снимок, Landsat/Copernicus IBCAO) и геологическая схема массива по (Л.Г. Сапрыкина и др., 1977 г.), с упрощениями.

Fig. 1. Position of Lovozero massif in the Kola Peninsula (top left – satellite photograph) and geological scheme of the massif after (Saprykina et al., 1977), simplified.

гнейсы и девонские вулканогенно-осадочные породы оценивается в 360–370 млн лет (Kramm, Kogarko, 1994; Wu et al., 2010; Mitchell et al., 2011).

Массив состоит из трех крупных комплексов интрузивных горных пород: эвдиалитового, дифференцированного и пойкилитового (рис. 1). Дифференцированный комплекс является самым крупным, на его долю приходится 77% общего объема щелочных пород (Герасимовский и др., 1966). Комплекс состоит из множества субгоризонтальных слоев (или ритмов). Каждый ритм представляет собой последовательность пород (сверху вниз): луяврит-фойяит-уртит или луяврит-фойяит. Луявриты – это мезо- или меланократовые нефелиновые сиениты трахитоидной структуры, обусловленной параллельной ориентировкой лейст калиевого полевого шпата. Фойяиты представляют собой лейкократовые нефелиновые сиениты трахитоидной или массивной структуры, а уртиты – практически мономинеральные нефелиновые породы. Переходы между разными породами внутри ритма постепенные, а границы ритмов – резкие, часто маркируемые пластовыми или линзовидными пегматитами.

Эвдиалитовый комплекс слагает верхнюю часть массива. Он прорывает и перекрывает дифференцированный комплекс и, по данным И.В. Буссен и А.С. Сахарова (1958), имеет форму этмолита. На долю эвдиалитового комплекса приходится около 18% общего объема щелочных пород массива (Герасимовский и др., 1966). Главными породами эвдиалитового комплекса являются луявриты, обогащенные минералами группы эвдиалита – так называемые эвдиалитовые луявриты. Среди них в подчиненном количестве присутствуют пластовые или линзовидные тела фойяитов, уртитов (редко), а также мелкозернистых и порфировидных нефелиновых сиенитов. Послед-

7

ние содержат крупные вкрапленники микроклин-пертита и/или нефелина в мелкозернистой основной массе.

Среди пород эвдиалитового и дифференцированного комплексов распространены линзовидные или неправильной формы тела неравномернозернистых и пойкилитовых фельдшпатоидных сиенитов. Эти породы относятся к пойкилитовому комплексу, составляющему около 5% общего объема массива. Главной морфологической особенностью пород пойкилитового комплекса является присутствие крупных (до 8 см длиной) кристаллов калиевого полевого шпата, насыщенных многочисленными мелкими включениями фельдшпатоидов — нефелина, содалита, вишневита. Пойкилитовые фельдшпатоидные сиениты постепенно, при снижении количества пойкилитового полевого шпата переходят в неравномернозернистые разновидности. С породами пойкилитового комплекса связаны практически все пегматиты и гидротермальные тела Ловозерского массива (Семенов, 1972).

В Ловозерском массиве, особенно в его северо-восточной части, широко распространены ксенолиты кровли. Неизмененные ксенолиты сложены вулканогенно-осадочными породами трапповой формации и представляют собой переслаивание (оливиновых) базальтов, базальтовых туфов, туффитов, кварцитов и песчаников. Под воздействием щелочных расплавов эти породы были фенитизированы и ороговикованы. Разнообразный состав исходных пород и разная интенсивность воздействия со стороны щелочных расплавов обусловили очень пестрый минеральный состав ксенолитов. Действительно, в непосредственной близости находятся ксенолиты, сложенные практически неизмененными вулканогенно-осадочными породами, фенитами и разнообразными по составу роговиками.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследованиях использована представительная коллекция образцов пород различных комплексов Ловозерского массива, собранная с 1995 по 2021 годы в ходе полевых работ сотрудниками Геологического института ФИЦ КНЦ РАН (г. Апатиты) – Ю.П. Меньшиковым, Г.Ю. Иванюком, В.Н. Яковенчуком, Ю.А. Михайловой и Я.А. Пахомовским, а также при опробовании керна скважин, пробуренных в 1989–1992 гг. Исследования минералов проводились в штуфных образцах (макроскопическое изучение, рентгеноструктурная диагностика) и в плоскополированных препаратах – комбинированных шлифах (оптические, электронно-микроскопические, электронно-зондовый методы).

Для макроскопических исследований были использованы стереомикроскопы Stemi (Carl Zeiss Microscopy, Германия) и Motic (Motic, Китай). Рентгеновская диагностика проводилась по порошковым рентгенограммам, полученным фотометодом на УРС-55 (Буревестник, Россия), камера РКУ 114.6 мм, 40 кВ, 15 мА, Fe-излучение.

Диагностика минералов по химическому составу, изучение ассоциаций минералов и их взаимоотношений выполнено на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) LEO-1450 (Carl Zeiss Microscopy, Германия), оснащенном рентгеновской энергодисперсионной системой AZtec с детектором ULTIM MAX 100 (OXFORD Instruments, Beликобритания). Химический состав минералов определялся на электронно-зондовом микроанализаторе CAMECA MS-46 (Франция) и при помощи системы AZtec. Результаты химического анализа минералов, указанные в таблицах как "EPMA" и "AZtec", получены при ускоряющем напряжении 22 и 20 кВ и токе электронного зонда 30 и 2.0 нА для рентгеновского микроанализатора и для электронного микроскопа, соответственно.

Все опубликованные ранее и собственные анализы рассчитывались по одному алгоритму, с использованием авторской электронной таблицы Excel (Locock, 2014). Электронная таблица позволяет, используя данные о химическом составе, классифицировать ромбические и моноклинные амфиболы в соответствии с действующей номенклатурой (Hawthorne et al., 2012). Таблица предоставляет возможности для оценки отношений $Fe^{3+}/\Sigma Fe$ и $Mn^{3+}/\Sigma Mn$ и содержания OH-групп. Различные схемы нормализации катионов могут выбираться автоматически или вручную. Для каждого анализа выходные данные включают группу, подгруппу, название минерального вида амфибола и его формулу. В данной работе основание для расчета подбиралось вручную с соблюдением условий наименьшего отклонения в заполнении позиций, наилучшей суммы анализа и соответствия теоретической формуле минерала.

Общая формула амфиболов может быть представлена в виде $A_{0-1}B_2C_5T_8O_{22}W_2$, где буквенные обозначения соответствуют разным группам катионов. Нормирование на сумму 13 катионов подразумевает расчет на сумму T + C = 13, при нормировании на суммы 15 и 16 катионов расчет выполнен на сумму T + C + B = 15 и T + C + B + A = 16 соответственно.

Обширная база данных химических составов амфиболов, включающая 620 анализов, была подвергнута критическому отбору результатов. Приняты следующие критерии надежности анализов: сумма анализа, с учетом рассчитанных значений FeO, Fe_2O_3 , MnO, Mn_2O_3 , H_2O^+ , должна находиться в интервале 98–101 мас. %; отклонения в заполнении катионных позиций не должны превышать 0.05 а.ф. (атомов на формулу). Все анализы, отвечающие принятым условиям, использованы для построения диаграмм и собраны в электронном приложениии https://disk.yandex.ru/d/caKmFAHzoitCjA. В статье приведены лишь наиболее представительные анализы.

В схемах изоморфных замещений и в подписях на диаграммах латинская буква в верхнем индексе слева от символа химического элемента обозначает группу элементов согласно стандартной формуле $A_{0-1}B_2C_5T_8O_{22}W_2$. Например, ^{*B*}Са — кальций в группе *B*. Если упоминается несколько элементов из одной группы, то они объединяются в скобки, например, ^{*C*}(MgFe³⁺) — магний и трехвалентное железо группы *C*. Валентность указана в верхнем индексе справа от символа элемента только для гетеровалентных элементов. В статье использованы символы-аббревиатуры минералов по (Warr, 2021).

НАТРИЕВЫЕ АМФИБОЛЫ

Магнезиоарфведсонит NaNa₂(Mg₄Fe³⁺)Si₈O₂₂(OH)₂

"Магнезиоарфведсонит" с формулой Na₂Ca_{0.5}Mg_{3.5}Fe³⁺_{1.5}Si_{7.5}Al_{0.5}O₂₂(OH)₂ был предложен в классификации щелочных амфиболов А. Мияширо (Miyashiro, 1957). Под этим названием, но уже с нынешней формулой конечного члена этот амфибол присутствовал во всех номенклатурах амфиболов (Leake, 1978; Leake et al., 1987; Hawthorne et al., 2012). Использование в названии минерала корневой части "арфведсонит" является одним из немногих исключений, сделанных для Mg- и Al-доминантных членов группы амфиболов. Строго, по принятым Международной минералогической ассоциацией (MMA) правилам, арфведсонит NaNa₂(Fe⁴⁺₄Fe³⁺)Si₈O₂₂(OH)₂ должен был бы

называться "ферроферриэкерманнит". Сохранение корневого названия "арфведсонит" обусловлено его прочно укоренившимся положением в петрологической литературе. Несмотря на выделение магнезиоарфведсонита как самостоятельного минерального вида еще в 1957 году, его полное описание с уточнением кристаллической структуры было представлено в Комиссию по новым минералам, номенклатуре и классификации (КНМНК, ММА) лишь в 2014 г. (Oberti et al., 2014).

По оценке И.В. Пекова (Пеков, 2001), в породах Ловозерского массива магнезиоарфведсонит является самым распространенным среди амфиболов и одним из главных темноцветных минералов в целом. Зачастую исследователи массива не делали

		Kor	мплекс	
Минерал	дифферен- цированный	эвдиалитовый	пойкилитовый	вулканогенно- осадочные породы
Магнезиоарф- ведсонит	— луяврит; — фойяит; — уртит	 эвдиалитовый луяврит; луяврит; порфировидный нефелиновый сиенит; уртит 	 фельдшпатоид- ный пойкилито- вый сиенит; неравномерно- зернистый нефе- линовый сиенит 	 арфведсонито-не- фелино-полевошпа- товый роговик; фенит; оливиновый ба- зальт
Арфведсонит	-	— луяврит	—	—
Магнезиофтор- арфведсонит	— уртит	— луяврит	-	 амфиболо-анорти- товый роговик
Калийарфведсо- нит	_	_	_	 фенитизированная вулканогенно-оса- дочная порода

Таблица 3.	Распространенности	ь Na-амфибо	лов в породах Ло	овозерского массива
Table 3. Abu	undance of sodium am	phiboles in ro	cks of the Lovoze	ro alkaline massif

различий между арфведсонитом и магнезиоарфведсонитом. Из опубликованных анализов "арфведсонита" Ловозерского массива анализ БД 929 (табл. 1) отвечает, в действительности, магнезиоарфведсониту. Под этим названием минерал был приведен в работе (Пеков, 2001). Некоторое время рибекит из работы (Семенов, Капитонова, 1964) (табл. 1, БД 1124) считался "магнезиоарфведсонитом" (Буссен, Сахаров, 1972), но в соответствии с действующей номенклатурой этот амфибол следует называть магнезиофторарфведсонитом.

По нашим данным, магнезиоарфведсонит достоверно присутствует во всех комплексах пород Ловозерского массива (табл. 3).

Характерные черты морфологии магнезиоарфведсонита в породах Ловозерского массива

В породах дифференцированного комплекса магнезиоарфведсонит обычен в виде гипидиоморфных кристаллов, содержащих многочисленные вростки идиоморфных индивидов эгирина (рис. 2, *a*). Реже магнезиоарфведсонит наблюдается в виде включений неправильной формы в эгирине. Еще одной, редкой формой нахождения магнезиоарфведсонита в уртитах дифференцированного комплекса являются ксеноморфные выделения совместно с кальсилитом, эльпасолитом, микроклин-пертитом и эгирином в интерстициях между кристаллами нефелина. В кристаллах магнезиоарфведсонита бывает проявлена химическая неоднородность, но вариации содержания элементов не выходят за границы минерального вида.

Явно доминирующей формой нахождения магнезиоарфведсонита в породах эвдиалитового комплекса являются ксеноморфные выделения в агрегатах призматических кристаллов эгирина, заполняющие интерстиции породообразующих минералов лейст калиевого полевого шпата, кристаллов нефелина, минералов группы эвдиалита (рис. 2, δ). Редко индивиды магнезиоарфведсонита в подобных агрегатах приобретают идиоморфные очертания (рис. 2, δ). Выделения амфибола могут проявлять химическую неоднородность, со смещением состава в отдельных участках до арфведсонита (рис. 2, δ). Иными, редко встречающимися формами нахождения магнезиоарфведсонита в породах эвдиалитового комплекса являются ксеноморфные зерна в основной массе породы, зерна или сростки с эгирином в агрегатах натролита, гипидиоморфные



Рис. 2. Морфология магнезиоарфведсонита в породах Ловозерского щелочного массива. а – гипидиоморфные кристаллы магнезиоафрведсонита с вростками эгирина; луяврит, дифференцированный комплекс, г. Аллуайв, обр. ЛВ-334; δ – ксеноморфные выделения магнезиоарфведсонита с участками арфведсонита в агрегате эгирина; луяврит, эвдиалитовый комплекс, г. Аллуайв, обр. ЛВ-224-3 (аналитик А.В. Базай); в гипидиоморфные и идиоморфные кристаллы магнезиоарфведсонита в агрегате эгирина и натролита; луяврит, эвдиалитовый комплекс, г. Аллуайв, обр. ЛВ-237-89 (аналитик А.В. Базай); *е* – пойкилитовый кристалл магнезиоарфведсонита; контакт луяврита с порфировидным нефелиновым сиенитом, эвдиалитовый комплекс, г. Аллуайв, обр. ЛВ-154/17; д – ксеноморфное выделение пертитоподобных срастаний магнезиоарфведсонита и пироксенов (диопсид, авгит) в кайме эгирина; фельдшпатоидный (вишневитовый) пойкилитовый сиенит, пойкилитовый комплекс, г. Пункаруайв, обр. ЛВ-427/1; е – пойкилитовое зерно магнезиоарфведсонита; неравномернозернистый нефелиновый сиенит, пойкилитовый комплекс, г. Сенгисчорр, обр. ЛВ-371/2; ж – кристалл и зерно магнезиоарфведсонита; фенит, г. Куамдеспахк, обр. ЛВ-160-31; з – пойкилитовые зерна магнезиоарфведсонита; амфиболо-нефелино-полевошпатовый роговик, г. Куйвчорр, обр. ЛВ-132. СЭМ, BSE (обратно-рассеянные электроны) изображения. Marf – магнезиоарфведсонит, Arf – арфведсонит, Kfs – калиевый полевой шпат, Nph – нефелин, Ntr – натролит, Eud – эвдиалит, Aeg – эгирин, Ab – альбит, Sdl – содалит, Aug – авгит, Di – диопсид, Vhn – вишневит, Ttn – титанит, Lop-Ce – лопарит-(Се), Brt – барит, Ilm – ильменит.

Fig. 2. Morphology of magnesioarfvedsonite in rocks of the Lovozero alkaline massif.

кристаллы пойкилитового строения с включениями нефелина, калиевого полевого шпата, минералов группы эвдиалита (рис. 2, *г*).

В породах пойкилитового комплекса магнезиоарфведсонит очень тесно пространственно и генетически связан с пироксенами — эгирином, диопсидом, авгитом, образуя с ними срастания различной морфологии. Наиболее часто встречаются агрегаты незакономерных (пертитоподобных) срастаний с различным соотношением минералов, каймы эгирина на ксеноморфных зернах амфибола (рис. 2, ∂) и включения магнезиоарфведсонита в эгирине. Также магнезиоарфведсонит установлен в виде пойкилитовых зерен с многочисленными включениями нефелина, титанита, лопарита-(Ce), фторапатита, альбита (рис. 2, e), вростками скелетных кристаллов ринкита-(Ce).

В ксенолитах вулканогенно-осадочных пород магнезиоарфведсонит обычно представлен ксеноморфными зернами, реже – идиоморфными призматическими кристаллами, в основной массе породы (рис. 2, *ж*). Крупные индивиды имеют, как правило, пойкилитовое строение за счет многочисленных включений нефелина, калиевого полевого шпата, гидроксилапатита (рис. 2, *з*). Магнезиоарфведсонит установлен также в виде включений неправильной формы в призматических и длиннопризматических кристаллах эгирина.

Химический состав магнезиоарфведсонита в породах Ловозерского массива

Химический состав магнезиоарфведсонита широко варьирует по содержанию как видообразующих, так и примесных элементов (электронное приложение, файл Na-Amp.xlsx, табл. 4). Наиболее выражены изоморфные замещения по следующим схемам:

$${}^{B}\mathrm{Na} + {}^{T}\mathrm{Si} \leftrightarrow {}^{B}\mathrm{Ca} + {}^{T}\mathrm{Al}$$
(1)

$$NaNa_2(Mg_4Fe^{3+})Si_8O_{22}(OH)_2 \leftrightarrow Na(NaCa)(Mg_4Fe^{3+})(Si_7Al)O_{22}(OH)_2$$

магнезиоарфведсонит $\leftrightarrow \phi$ еррикатофорит,

$$^{C}Mg \leftrightarrow ^{C}Fe^{2+}$$
 (2)

[Ловозерского массива	
Na-амфиболов из пород	ks of the Lovozero massif
:. %) минералов подгруппы	of sodium amphiboles in rocl
лимический состав (мас	nical composition (wt %)
блица 4. У	ble 4. Chei

Таблица 4. Хими Table 4. Chemical	ческий со compositio	craB (Mac. on (wt %) (%) минер of sodium ¿	алов подп amphiboles	руппы Na s in rocks o	-амфиболо of the Lovoz	ов из поро zero massif	д Ловозер	ского мас	сива			
							Минерал						
_				M	arf				Arf		Mfarf		Parf
					Комі	плексы пор	род Ловозе	рского мае	сива				
Компонент	ффит	еренциров	занный	ЭВДИАЛІ	итовый	пойкил	итовый	вулк осад.	эвдиал.	диффер.	эвдиал.	вулк осад.	вулк осад.
					H	омер анал	иза в базе д	цанных (Б,	ſſ				
	450	621	1138	867	871	96	1205	1098	956	418	852	196	980
SiO ₂	52.30	54.58	52.60	53.74	53.34	55.85	54.35	52.93	53.03	52.28	52.74	52.65	48.79
Ti0 ²	1.60	1.06	2.05	1.76	1.00	0.60	1.05	1.82	1.62	2.08	1.28	1.12	0.38
ZrO ₂	Ι	Ι	I	0.06	Ι		Ι	Ι	Ι	Ι	Ι	0.22	I
M_2O_3	1.55	0.73	1.54	1.17	0.74	0.76	1.15	1.75	0.95	1.35	1.00	1.40	1.16
V_2O_3	Ι	Ι	Ι	Ι	Ι	Ι	Ι	0.11	Ι	Ι	Ι	0.10	0.85
Fe ₂ O _{3 pacy}	9.56	8.19	8.11	4.73	7.28	6.52	6.71	5.75	6.49	6.76	8.16	5.00	6.83
FeO _{pacy}	9.64	6.53	12.30	12.72	12.92	6.44	10.31	12.11	16.39	13.18	8.77	10.06	24.97
MnÓ	1.45	1.18	1.47	1.32	2.30	0.98	3.32	0.51	1.60	1.59	1.37	1.94	0.64
NiO	Ι	Ι	I		Ι		Ι	Ι	Ι	I	Ι	Ι	0.38
ZnO	Ι	0.08	Ι	Ι	Ι	Ι	Ι	Ι	Ι	Ι	Ι	0.12	Ι
MgO	10.61	13.67	8.94	10.00	8.74	15.05	10.11	10.97	7.22	8.47	11.99	12.36	2.76
CaO	1.30	1.41	1.24	1.04	0.24	1.89	0.67	1.81	Ι	1.07	1.18	2.78	0.83
Na ₂ O	8.80	8.39	8.81	8.66	8.46	9.01	90.6	8.46	9.01	8.21	8.63	7.66	6.02
K ₂ O	1.56	1.50	1.62	1.74	2.12	1.49	1.88	1.32	1.67	1.66	1.61	1.61	4.29
$H_2O^+_{pacy}$	1.19	1.82	0.99	1.61	1.19	1.45	1.04	1.61	1.62	0.75	0.73	0.86	1.79
, Ľ	1.00	Ι	1.18	I	1.20	1.10	1.60	Ι	I	1.60	2.10	1.91	Ι
$-0=F_2$	0.42	0.00	0.50	0.00	0.51	0.46	0.67	0.00	0.00	0.67	0.88	0.80	0.00
Сумма	100.14	99.14	100.35	98.55	99.02	100.68	100.58	99.15	99.60	98.33	98.66	98.99	69.66
Формульн	ые коэфф	ициенты а	TOMOB, pac	считанны	е на указан	нной основ	зе, и их рас	нысаделени	ие в станда	ртной фор	Myre A_{0-1}	$B_2C_5T_8O_{22}$	W_2
;					н.	исло катис	OHOB			ę			
Основа расчета*	16	13	16	16	13	16	16	16	16	13	16	16	16
Si	7.74	7.95	7.84	8.05	8.04	7.97	8.00	7.86	8.03	7.95	7.85	7.83	7.80
AI	0.26	0.05	0.16		Ι	0.03	Ι	0.14	I	0.05	0.15	0.17	0.20
Cymma T	8.00	8.00	8.00	8.05	8.04	8.00	8.00	8.00	8.03	8.00	8.00	8.00	8.00

12

							Минерал						
				M	arf				Arf		Mfarf		Parf
					Komn	иексы пор	юд Ловозеј	рского мас	сива				
Компонент	эффиг	ренцирова	анный	эвдиали	итовый	пойкил	итовый	вулк осад.	эвдиал.	диффер.	эвдиал.	вулк осад.	вулк осад.
					Ĥ	омер анали	иза в базе д	анных (Б/	I)				
	450	621	1138	867	871	96	1205	1098	956	418	852	196	980
Ti	0.18	0.12	0.23	0.20	0.11	0.06	0.12	0.20	0.19	0.24	0.14	0.13	0.05
Zr	Ι	Ι	I	Ι	Ι	I	I		I	I	Ι	0.02	I
AI	0.01	0.07	0.11	0.21	0.13	0.10	0.20	0.17	0.17	0.19	0.03	0.08	0.01
>	Ι	Ι	Ι	I	I	I	I	0.01	I	I	I	0.01	0.11
Fe^{3+}	1.07	06.0	0.91	0.53	0.83	0.70	0.74	0.64	0.74	0.77	0.91	0.56	0.82
Ż	Ι	Ι	Ι	Ι	Ι	Ι	Ι	I	I	Ι	Ι	Ι	0.05
Zn	Ι	0.01	Ι	Ι	Ι	Ι	Ι	I	I	Ι	Ι	0.01	Ι
Mn^{2+}	0.18	0.15	0.19	0.17	0.29	0.12	0.41	0.04	0.20	0.21	0.16	0.20	Ι
Fe^{2+}	1.19	0.80	1.53	1.59	1.63	0.77	1.27	1.50	2.08	1.68	1.09	1.25	3.30
Mg	2.34	2.97	1.99	2.23	1.96	3.20	2.22	2.43	1.63	1.92	2.66	2.74	0.66
Cymma C	4.97	5.02	4.96	4.93	4.95	4.95	4.96	4.99	5.01	5.01	4.99	5.00	5.00
Mn^{2+}	Ι	Ι	Ι	Ι	Ι	Ι	I	0.03	I	Ι	0.01	0.04	0.09
Ca	0.21	0.22	0.20	0.17	0.04	0.29	0.11	0.29	I	0.17	0.19	0.44	0.14
Na	1.79	1.78	1.80	1.83	1.96	1.71	1.89	1.69	2.00	1.83	1.80	1.52	1.74
Cymma B	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.01	2.00	2.00	2.00	2.00	1.97
Na	0.73	0.59	0.74	0.68	0.51	0.78	0.69	0.75	0.65	0.59	0.69	0.69	0.13
K	0.30	0.28	0.31	0.33	0.41	0.27	0.35	0.25	0.32	0.32	0.31	0.31	0.87
Cymma A	1.03	0.87	1.05	1.01	0.92	1.05	1.04	1.00	0.97	0.91	2.00	2.00	2.00

Таблица 4. Продолжение

АМФИБОЛЫ ЛОВОЗЕРСКОГО ЩЕЛОЧНОГО МАССИВА

ончание
OK
a 4.
блиц

							Минерал						
				M	arf				Ъц		Mfarf		Parf
					Комп	лексы по	од Ловозе	рского мае	сива				
Компонент	эффит	зренциров.	анный	эвдиали	товый	пойкил	итовый	вулк осад.	эвдиал.	диффер.	эвдиал.	вулк осад.	вулк осад.
					H	омер анал	иза в базе д	анных (Б,	(F				
	450	621	1138	867	871	96	1205	1098	926	418	852	196	980
НО	1.18	1.77	0.98	1.60	1.20	1.38	1.02	1.59	1.63	0.76	0.72	0.85	1.91
Ч	0.47	I	0.56	Ι	0.57	0.50	0.75	Ι	Ι	0.77	0.99	0.90	I
0	0.36	0.23	0.46	0.40	0.23	0.13	0.23	0.41	0.37	0.48	0.29	0.25	60.0
Cymma W	2.01	2.00	2.00	2.00	2.00	2.01	2.00	2.00	2.00	2.01	2.00	2.00	2.00
Примечание. Магf	— магнезио	арфведсони	ит, Arf – ар	фведсонит,	Mfarf – ma	гнезиофтој	рарфведсон	ит, Parf – 1	салийарфво	едсонит. * Д	ля всех ана	лизов расч	ет к.ф. вы-

клонения в заполнении позиций, наилучшей суммы анализа и соответствия теоретической формуле минерала. Нормирование на 13 катионов подразумевает расчет на катионы *T* + *C*, при нормировании на 16 катионов расчет выполнен на сумму *T* + *C* + *B* + *A* = 16. См. электронное приложение, файл Na-Amp.xlsx. полнен по алгоритму (Locock, 2014) с использованием авторской электронной таблицы Excel. Отсутствие аналитических определений Н,О, FeO, Fe,O3, MnO, Mn₂O3 определило расчет формульных коэффициентов по катионам, число которых для нормирования (основа расчета) подбиралось с условием наименьшего от-Анализы:

450 — фойяит, г. Аллуайв. Обр. ЛВ-309. EPMA.

621 – луяврит, г. Сэлсурт. Обр. ЛВ-01-07. EPMA.

1138 – уртит, г. Карнасурт. Обр. ЛВ-III-4-4. AZtec.

867 — луяврит, г. Аллуайв. Обр. ЛВ-224-3. ЕРМА. Аналитик Базай А.В.

871 — уртит, г. Аллуайв. Обр. ЛВ-224/146. ЕРМА.

96 – неравномернозернистый нефелиновый сиенит, г. Сенгисчорр. Обр. ЛВ-371/1. ЕРМА.

1205 – фельдшпатоидный пойкилитовый сиенит, г. Пункаруайв. Обр. ЛВ-429. AZtec.

1098 — оливиновый базальт, г. Киткнюн. Обр. ЛВ-01-51В. ЕРМА.

956 – луяврит, г. Аллуайв. Обр. ЛВ-224-3. AZtec.

418 – уртит, г. Аллуайв. Обр. ЛВ-315/1. ЕРМА.

852 – луяврит, г. Аллуайв. Обр. ЛВ-169-120. ЕРМА.

196 – амфиболо-анортитовый роговик, г. Куйвчорр. Обр. ЛВ-121. AZtec.

980 – фенитизированная вулканогенно-осадочная порода, г. Куамдеспахк. Обр. ЛВ-152/4. AZtec.



Рис. 3. Корреляция элементов при изоморфных замещениях в магнезиоарфведсоните. *1* – магнезиоарфведсонит из пород дифференцированного комплекса, *2* – магнезиоарфведсонит из пород эвдиалитового комплекса, *3* – магнезиоарфведсонит из пород пойкилитового комплекса, *4* – магнезиоарфведсонит из ксенолитов вулканогенно-осадочных пород, *5* – магнезиофторарфведсонит из пород эвдиалитового комплекса, *6* – магнезиофторарфведсонит из пород дифференцированного комплекса, *7* – магнезиофторарфведсонит из ксенолитов вулканогенно-осадочных пород, *8* – калийарфведсонит из ксенолитов вулканогенно-осадочных пород, *8* – калийарфведсонит из ксенолитов вулканогенно-осадочных пород, *8* – калийарфведсонит из ксенолитов вулканогенно-осадочных пород, *8* – калийарфведсонит, Frct – феррорихтерит, Fwnc – ферривинчит.

Fig. 3. Correlation of elements in isomorphic replacements for magnesio-arfvedsonite.

$$NaNa_2(Mg_4Fe^{3+})Si_8O_{22}(OH)_2 \leftrightarrow NaNa_2(Fe_4^{2+}Fe^{3+})Si_8O_{22}(OH)_2$$

магнезиоарфведсонит \leftrightarrow арфведсонит,

$${}^{A}\mathrm{Na} + {}^{B}\mathrm{Na} \leftrightarrow {}^{A}\Box + {}^{B}\mathrm{Ca}$$
(3)

NaNa₂
$$(Mg_4Fe^{3+})Si_8O_{22}(OH)_2 \leftrightarrow \Box(NaCa)(Mg_4Fe^{3+})Si_8O_{22}(OH)_2$$

магнезиоарфведсонит \leftrightarrow ферривинчит.

Диаграммы, иллюстрирующие эти замещения (рис. 3, a-e), показывают почти полное перекрытие полей содержаний компонентов в магнезиоарфведсоните из разных комплексов пород.

Прослеживается также изоморфизм с экерманнитом и с конечными членами группы натрий-кальциевых амфиболов — винчитом, катофоритом, рихтеритом и феррорихтеритом (Hawthorne et al., 2012):

$$^{C}\mathrm{Fe}^{3+}\leftrightarrow^{C}\mathrm{Al}$$
 (4)

NaNa₂ $(Mg_4Fe^{3+})Si_8O_{22}(OH)_2 \leftrightarrow NaNa_2(Mg_4Al)Si_8O_{22}(OH)_2$ магнезиоарфведсонит \leftrightarrow экерманнит,

$${}^{B}\mathrm{Na} + {}^{C}\mathrm{Fe}^{3+} \leftrightarrow \left({}^{B}\mathrm{Ca} + {}^{C}\mathrm{Mg}\right) - \left({}^{B}\mathrm{Ca} + \mathrm{Fe}^{2+}\right)$$
(5)

 $NaNa_{2}(Mg_{4}Fe^{3+})Si_{8}O_{22}(OH)_{2} \leftrightarrow Na(NaCa)Mg_{5}Si_{8}O_{22}(OH)_{2} - Na(NaCa)Fe_{5}^{2+}Si_{8}O_{22}(OH)_{2}$

магнезиоарфведсонит ↔ рихтерит – феррорихтерит,

$${}^{A}\mathrm{Na} + {}^{B}\mathrm{Na} + {}^{C}\mathrm{Fe}^{3+} \leftrightarrow {}^{A}\Box + {}^{B}\mathrm{Ca} + {}^{C}\mathrm{Al}$$
(6)

$$NaNa_{2} (Mg_{4}Fe^{3+}) Si_{8}O_{22} (OH)_{2} \leftrightarrow \Box (NaCa) (Mg_{4}Al) Si_{8}O_{22} (OH)_{2}$$

магнезиоарфведсонит ↔ винчит,

$$^{b}Na + ^{c}Fe^{3+} + ^{\prime}Si \leftrightarrow ^{b}Ca + ^{c}Al + ^{\prime}Al$$
(7)

$$\operatorname{NaNa}_{2}\left(\operatorname{Mg}_{4}\operatorname{Fe}^{3+}\right)\operatorname{Si}_{8}\operatorname{O}_{22}\left(\operatorname{OH}\right)_{2}\leftrightarrow\operatorname{Na}\left(\operatorname{NaCa}\right)\left(\operatorname{Mg}_{4}\operatorname{Al}\right)\left(\operatorname{Si}_{7}\operatorname{Al}\right)\operatorname{O}_{22}\left(\operatorname{OH}\right)_{2}$$

магнезиоарфведсонит \leftrightarrow катофорит.

Корреляции по схемам (4)–(7) выражены заметно слабее (например, для схемы (5) на рис. 3, ϵ), а для некоторых очевидных замещений, например, магнезиоарфведсонит \leftrightarrow \leftrightarrow калиймагнезиоарфведсонит (Na \leftrightarrow K), корреляции почти нет. Последнее связано с отсутствием прямой "конкуренции" между натрием и калием в позиции *A*, иными словами калий может как замещать натрий, так и занимать вакантные позиции. Со-держание марганца, присутствующего в качестве постоянной изоморфной примеси, наиболее выдержано в составе магнезиоарфведсонита из дифференцированного и эв-диалитового комплексов, а в минерале из пойкилитовых и вулканогенно-осадочных пород существенно меняется. Содержание фтора также варьирует заметно, приближая в некоторых случаях состав к границе с таковым для магнезифтороарфведсонита.

Арфведсонит $NaNa_2(Fe_4^{2+}Fe^{3+})Si_8O_{22}(OH)_2$

Арфведсонит определяется доминирующим натрием в позиции A, двух- и трехвалентным железом в позиции C, OH-группами в позиции W стандартной формулы амфиболов $A_{0-1}B_2C_5T_8O_{22}W_2$. Его статус подтверждался во всех номенклатурах амфиболов (Leake, 1978; Leake et al., 1997; Hawthorne et al., 2012).

Как уже упомянуто, исследователи Ловозерского массива зачастую не делали различий между арфведсонитом и магнезиоарфведсонитом, но среди "ранних" анализов арфведсонитов есть не только магнезиоарфведсонит, но и экерманнит, магнезиофторарфведсонит, фторрихтерит и рихтерит (табл. 1, БД 1121, 1154, 1155, 930, соответственно), а также потенциально возможные амфиболы (табл. 1) – ферроэкерманнит (БД 1156), феррифторнибеит (БД 1118, 934), феррофторэкерманнит (БД 926, 1125), фторарфведсонит (БД 927), ferri-rootname (БД 1119).



Рис. 4. Морфология магнезиофторарфведсонита в породах Ловозерского щелочного массива. *a* – неоднородные кристаллы амфибола с магнезиофторарфведсонитом во внутренних зонах и магнезиоарфведсонитом во внешних; луяврит, эвдиалитовый комплекс, г. Аллуайв, обр. ЛВ-169-120; *б* – скопления зерен магнезиофторарфведсонита; амфиболо-нефелино-полевошпатовый роговик, г. Куйвчорр, обр. ЛВ-121. СЭМ, BSE (обратно-рассеянные электроны) изображения. Mfarf – магнезиофторарфведсонит, Marf – магнезиоарфведсонит, Kfs – калиевый полевой шпат, Nph – нефелин, Aeg – эгирин, Sdl – содалит. Fig. 4. Morphology of magnesio-fluoro-arfvedsonite in rocks of the Lovozero alkaline massif.

Интересно, как менялась во времени оценка распространенности арфведсонита в породах Ловозерского массива. В работе (Семенов, 1972) арфведсонит назван "главным амфиболом массива", но уже тогда было отмечено обогащение минерала магнием. И.В. Пеков отмечает, что ранее опубликованные анализы "арфведсонита" в большинстве своем относятся к магнезиоарфведсониту, "который, видимо, более распространен в Ловозере, чем собственно арфведсонит" (Пеков, 2001). Часть полученных нами анализов пересчитывается на арфведсонит, но прошел через сито отбора (см. раздел "Материалы и методы исследований") лишь один анализ амфибола из луяврита эвдиалитового комплекса г. Аллуайв. Поэтому на сегодня мы можем говорить о единственной достоверной нашей находке собственно арфведсонита в Ловозерском масиве (табл. 3).

Морфология и состав арфведсонита в породах Ловозерского массива

В луяврите эвдиалитового комплекса арфведсонит установлен в виде участков неправильной формы в краевой зоне ксеноморфных выделений магнезиоарфведсонита в агрегатах эгирина (рис. 2, δ). Высокое содержание магния в составе амфибола приближает его к границе с магнезиоарфведсонитом (табл. 4). Трехвалентное железо в позиции *С* замещается алюминием (подобно замещениям по схеме 4), смещая состав к экерманниту, а натрий в позиции *А* изоморфен с калием, образуя ряд арфведсонит калийарфведсонит.

Магнезиофторарфведсонит NaNa₂(Mg₄Fe³⁺)Si₈O₂₂F₂

Находка магезиофторарфведсонита, послужившая голотипным материалом для этого минерального вида, сделана в породах Ильмено-Вишневогорского щелочного комплекса (Ю. Урал) (Баженов и др., 2000). Этому минеральному виду отвечают многие из ранее опубликованных анализов амфиболов Ловозерского массива (табл. 1, БД 1116, 1124, 1154, 1157, 1158). Нами магнезиофторарфведсонит установлен в уртитах дифференцированного и луявритах эвдиалитового комплексов, а также в ксенолитах вулканогенно-осадочных пород (табл. 3).

Характерные черты морфологии магнезиофторарфведсонита в породах Ловозерского массива

В дифференцированном комплексе надежные находки магнезиофторарфведсонита представлены включениями в эгирине. В породах эвдиалитового комплекса магнезиофторарфведсонит совместно с магнезиоарфведсонитом образует выделения с разной степенью идиоморфизма — ксеноморфные зерна, идиоморфные призматические и длиннопризматические кристаллы (рис. 4, *a*).

Самой распространенной морфологией магнезиофторарфведсонита в ксенолитах вулканогенно-осадочных пород являются ксеноморфные зерна и их скопления (рис. 4, δ), а также гипидиоморфные кристаллы в основной массе породы.

Химический состав магнезиофторарфведсонита в породах Ловозерского массива

Наибольшие вариации в составе магнезиофторарфведсонита проявляют видообразующие элементы – железо и магний, а также примеси – кальций и алюминий (табл. 4, Приложение Na-Amp.xlsx). Для магнезиофторарфведсонита проявлены те же схемы изоморфных замещений катионов, что и для магнезиоарфведсонита (Раздел "Магнезиоарфведсонит", схемы 1–7, рис. 3).

Калийарфведсонит KNa₂(Fe₄²⁺ Fe³⁺)Si₈O₂₂(OH)₂

Калийарфведсонит, как справедливо указывают И.В. Пеков с соавторами (Pekov et al., 2004), можно назвать "старым новым минералом", поскольку данные об амфиболах, содержащих более 0.5 а. ф. (атомов на формулу) калия в позиции *A*, публиковались задолго до утверждения калийарфведсонита в качестве самостоятельного минерального вида в 2003 году. Интересно также то, что в публикации, представляющей новый амфибол — калийарфведсонит, охарактеризованы образцы сразу из трех знаменитых крупных щелочных комплексов — Илимаусак (Гренландия), Хибины и Ловозеро (Кольский полуостров, Россия).

Калийарфведсонит получил название согласно принятым КНМНК ММА правилам наименования амфиболов – "арфведсонит", в котором K > Na в позиции A. В остальном он полностью аналогичен арфведсониту: доминирующее двух- и трехвалентное железо в позиции C, OH-группы в позиции W стандартной формулы амфиболов $A_{0-1}B_2C_5T_8O_{22}W_2$.

В Ловозерском массиве калийарфведсонит был найден в пегматите Палитра на г. Кедыквырпахк (Pekov et al., 2004). В данной работе мы представляем минерал из ксенолита вулканогенно-осадочных пород на г. Куамдеспахк (табл. 3).

Морфология и химический состав калийарфведсонита в вулканогенно-осадочных породах Ловозерского массива

Минерал установлен в виде ксеноморфных зерен и идиоморфных кристаллов среди выделений виоларита $FeNi_2S_4$ в межзеренном пространстве породообразующих флогопита, рихтерита, феррикатофорита, нефелина и титанита (рис. 5).

В химическом составе калийарфведсонита можно отметить замещение $Fe^{2+} \leftarrow Mg$, смещающее состав в сторону калиймагнезиоарфведсонита, а также заметное количество примесного ванадия (табл. 4, электронное приложение, файл Na-Amp.xlsx). Последнее может быть связано со спецификой условий образований калийарфведсонита совместно с "рудными" минералами – виоларитом, бартонитом, ильменитом, из гид-



Рис. 5. Морфология калийарфведсонита в породах Ловозерского щелочного массива. *а*, *б* – идиоморфные призматические кристаллы, *в*, *г* – ксеноморфные зерна калийарфведсонита в ксенолите фенитизированной вулканогенно-осадочной породы, г. Куамдеспахк, обр. ЛВ-152/4. СЭМ, BSE (обратно-рассеянные электроны) изображения. Parf – калийарфведсонит, Vio – виоларит, Rct – рихтерит, Phl – флогопит, Mag – магнетит, Prv – перовскит, Btn – бартонит.

Fig. 5. Morphology of potassic-arfvedsonite in rocks of the Lovozero alkaline massif.

ротермальных растворов, отделившихся от щелочных пород и воздействовавших на ксенолиты пород трапповой формации. На гидротермальный генезис калийарфведсонита в ультраагпаитовых комплексах (Ловозеро, Илимаусак), в отличие от его образования на ранней пегматитовой стадии в богатом калием комплексе Хибин указывали И.В. Пеков с соавторами (Pekov et al., 2004).

Калийарфведсонит из вулканогенно-осадочных пород характеризуется более высоким содержанием калия, железа, и отсутствием фтора по сравнению с таковым для минерала из пегматита Палитра (Pekov et al., 2004), что еще больше приближает его к идеальной формуле конечного члена (табл. 4).

Не подтвержденные нашими исследованиями натриевые амфиболы

В данной работе нами упомянуты ранее опубликованные химические составы, которые согласно действующей номенклатуре (Hawthorne et al., 2012) отвечают калиймагнезиоарфведсониту, калиймагнезиофторарфведсониту и экерманниту (табл. 1, электронное приложение, файл Литер_данные.xlsx). Эти анализы выполнены методами мокрой химии, что, с учетом описанных особенностей амфиболов, а именно внут-

Минерал	Пойкилитовый комплекс	Ксенолиты вулканогенно-осадочных пород
Феррикатофорит	 неравномернозернистый нефелиновый сиенит; 	 базальтовый туф; метасоматически измененная вулкано- генно-осадочная порода; фенитизированная вулканогенно-оса- дочная порода;
Феррифторкатофорит	_	— фенитизированный базальтовый туф;
Рихтерит	_	— базальтовый туф; — фенитизированный базальт; — фенит
Фторрихтерит	 пойкилитовый фельд- шпатоидный сиенит 	_

Таблица 5	 5. Pacnpoc 	траненность	ь Na-Ca-амо	фиболов в	з породах J	Товозерского	массива
Table 5. A	bundance	of sodium-ca	lcium amphi	iboles in ro	ocks of the	Lovozero mass	sif

рифазовой (химической) и фазовой (включения других минералов) неоднородности индивидов, требует подтверждения их корректности. Необходимость такого подтверждения, тем не менее, не опровергает эти результаты, поэтому данные виды включены в кадастровую таблицу амфиболов Ловозерского массива (табл. 9, см. раздел "Обсуждение результатов"). Составы, формально отвечающие калиймагнезиоарфведсониту и экерманниту, были получены и нами, но эти анализы имеют существенные отклонения от принятых критериев достоверности данных (см. раздел "Материалы и методы исследования"). Амфибола, соответствующих калиймагнезиофторарфведсониту, нами установлено не было.

Кроме того, шесть ранее опубликованных анализов отвечают гипотетическим, не утвержденным IMA видам: "фторарфведсониту", "ферроэкерманниту", "феррофторэкерманниту" и "феррифторнибеиту" (табл. 1, электронное приложение, файл Литер_данные.xlsx), которые мы также включили в кадастровую таблицу (табл. 9, см. раздел "Обсуждение результатов").

Рис. 6. Морфология феррикатофорита и феррифторкатофорита в породах Ловозерского шелочного массива. *а*, δ – ксеноморфные выделения феррикаторита в агрегатах темноцветных минералов, заполняющих интерстиции лейст альбитизированного КПШ; неравномернозернистый нефелиновый сиенит, пойкилитовый комплекс, г. Аллуайв, обр. ЛВ-157/92; *в* – идиоморфные кристаллы феррикатофорита в агрегате темноцветных минералов; неравномернозернистый нефелиновый сиенит, пойкилитовый комплекс, г. Аллуайв, обр. ЛВ-180/75; *г* – гипидиоморфный кристалл феррикатофорита; ксенолит метасоматически измененной вулканогенно-осадочной породы, г. Куамдеспахк, обр. ЛВ-137/61 (аналитик А.В. Базай); *д* – участки феррикатофорита в диопсиде; фенитизированная вулканогенно-осадочная порода, г. Куйвчорр, обр. ЛВ-125; *е* – феррифторкатофорит в ксенолите базальтового туфа, г. Куйвчорр, обр. ЛВ-183/2. СЭМ, BSE (обратнорассеянные электроны) изображения. Fktp – феррикатофорит, Fflktp – феррифторкатофорит, Kfs – калиевый полевой шпат, Nph – нефелин, Phl – флогопит, Ntr – натролит, Eud – эвдиалит, Aeg – эгирин, Ab – альбит, Fap – фторапатит, Sdl – содалит, Aeg-Aug – эгирин-авгит, Di – диопсид, Vhn – вишневит, Ttn – титанит, Lop-Ce – лопарит-(Ce), Fs – ферросилит, Ilm – ильменит, Zrn – циркон, Mag – магнетит, Zeo – минералы группы цеолитов, Руh – пирротин.

Fig. 6. Morphology of ferri-katophorite and ferri-fluoro-katophorite in rocks of the Lovozero alkaline massif.



НАТРИЙ-КАЛЬЦИЕВЫЕ АМФИБОЛЫ

В Ловозерском массиве установлены следующие натрий-кальциевые амфиболы: феррикатофорит, феррифторкатофорит, рихтерит и фторрихтерит (табл. 5). Амфиболы рассматриваемой группы обнаружены в породах пойкилитового комплекса и метасоматически измененных вулканогенно-осадочных породах, сохранившихся в виде ксенолитов кровли массива.

Феррикатофорит Na(NaCa)(Mg₄Fe³⁺)(Si₇Al)O₂₂(OH)₂

Согласно действующим правилам выделения минеральных видов в группе амфиболов, феррикатофорит определяется по доминированию Na в позиции *A*, Mg среди двухвалентных катионов и Fe³⁺ среди трехвалентных катионов в группе *C*, (OH)-групп в позиции *W* стандартной формулы $A_{0-1}B_2C_5T_8O_{22}W_2$ (Hawthorne et al., 2012). В номенклатурах 1978 (Leake, 1978) и 1997 (Leake et al., 1997) годов минерал именовался "магнезиоферрикатофоритом" и "магнезиокатофоритом" соответственно (табл. 2), что привело к путанице. Среди ранее опубликованных данных по амфиболам Ловозерского массива химических составов, отвечающих современной формуле феррикатофорита, нет (табл. 1). Однако в составе пород пойкилитового комплекса амфибол под таким названием на основе результатов электронно-зондового анализа указан в ассоциации при описании петрогенезиса эвдиалитового комплекса г. Аллуайв (Mikhailova et al., 2019).

Авторами установлено довольно много проявлений феррикатофорита, но в ограниченном круге пород (табл. 5).

Характерные черты морфологии феррикатофорита в породах Ловозерского массива

В породах пойкилитового комплекса феррикатофорит обычен в составе зернистых агрегатов совместно с флогопитом, эгирином, титанитом, ильменитом, лопаритом-(Ce), которые заполняют интерстиции крупных лейст пертитового полевого шпата (рис. 6, a, δ). В подобных агрегатах феррикатофорит, как правило, представлен ксеноморфными зернами, реже его кристаллы приобретают идиоморфные ограничения (рис. 6, s). Наблюдался феррикатофорит также в виде отдельных ксеноморфных зерен с включениями титанита и фторапатита. Подобные зерна бывают с каймами эгирина или флогопита. Также зерна феррикатофорита пойкилитового строения (включения титанита, фторапатита, ильменита) окружают ксеноморфные зерна титанита и ильменита.

В ксенолитах вулканогенно-осадочных пород для феррикатофорита характерны ксеноморфные зерна и гипидиоморфные кристаллы в основной массе породы (рис. 6, ϵ). Индивиды могут иметь пойкилитовое строение (включения эгирин-авгита, нефелина) и проявлять неоднородность химического состава вплоть до участков, соответствующих рихтериту. Феррикатофорит в виде участков неправильной формы установлен и в диопсиде (рис. 6, d).

Химический состав феррикатофорита в породах Ловозерского массива

Химический состав феррикатофорита (табл. 6) варьирует за счет изоморфных замещений, связывающих феррикатофорит как с членами собственной группы (ферроферрикатофорит, феррокатофорит), так и с кальциевыми (магнезиоферригорнблендит, эденит, магнезиогастингсит) и натриевыми амфиболами (арфведсонит, магнезиоарфведсонит, гипотетический "ферринибеит") (электронное приложение, файл Na-Ca-Amp.xlsx).

Наиболее сильные корреляции имеют схемы изоморфизма, приведенные ниже и на соответствующих диаграммах рис. 7:

$${}^{A}\mathrm{Na} + {}^{B}\mathrm{Na} \leftrightarrow {}^{A}\Box + {}^{B}\mathrm{Ca}$$

$$\tag{8}$$

$$Na(NaCa)(Mg_4Fe^{3+})(Si_7Al)O_{22}(OH)_2 \leftrightarrow \Box Ca_2(Mg_4Fe^{3+})(Si_7Al)O_{22}(OH)_2$$

$${}^{B}\mathrm{Na} + {}^{T}\mathrm{Si} \leftrightarrow {}^{B}\mathrm{Ca} + {}^{T}\mathrm{Al}$$
(9)

$$\begin{split} \text{NaNa}_2 \left(\text{Mg}_4\text{Fe}^{3^+}\right) &\text{Si}_8\text{O}_{22} \left(\text{OH}\right)_2 \leftrightarrow \text{Na} \left(\text{NaCa}\right) \left(\text{Mg}_4\text{Fe}^{3^+}\right) \left(\text{Si}_7\text{Al}\right) \text{O}_{22} \left(\text{OH}\right)_2 \leftrightarrow \\ & \leftrightarrow \text{NaCa}_2 \left(\text{Mg}_4\text{Fe}^{3^+}\right) \left(\text{Si}_6\text{Al}_2\right) \text{O}_{22} \left(\text{OH}\right)_2 \end{split}$$

магнезиоарфведсонит \leftrightarrow феррикатофорит \leftrightarrow магнезиогастингсит,

]	Минера	Л				
			Fk	tp			Ffktp		Rct		Flrct
Компо			k	Комплек	сы поро	од Ловоз	зерского	массив	a		L
нент	пойки- лит.		ву	лкоса,	д.		вулк осад.	ву	лкоса,	д.	пойки- лит.
				Номе	р анали	за в базо	е данных	к (БД)			
	1143	169	357	429	1203	1204	142	168	370	569	52
SiO ₂	49.25	49.96	47.54	50.86	48.71	48.35	50.12	52.94	51.86	53.13	54.83
TiO ₂	1.68	0.92	2.23	0.88	2.14	2.20	1.10	0.43	1.15	0.63	0.51
ZrO ₂	_	-	0.51	-	-	-	-	-	_	-	-
Al_2O_3	3.78	4.45	4.14	3.02	5.87	5.96	4.68	2.29	2.41	1.30	1.31
V_2O_3	_	0.08	-	-	-	-	_	-	-	-	_
Cr ₂ O ₃	_	0.11	_	0.10	0.04	0.03	_	_	_	_	_
Fe ₂ O _{3 pacч}	9.23	4.92	8.25	9.33	5.13	5.16	5.97	1.54	1.91	3.92	2.28
FeO _{pacч}	11.40	7.37	12.84	4.67	4.21	4.34	5.88	8.96	10.75	6.90	7.35
MnO	1.21	0.32	1.76	0.68	0.20	0.17	0.35	0.37	1.62	1.41	0.95
ZnO	_	-	0.15	-	-	-	-	-	-	_	_
MgO	9.61	15.13	8.48	15.19	16.87	16.69	15.69	16.61	13.68	16.14	16.08
CaO	3.60	7.11	4.40	5.40	9.49	9.60	6.83	5.93	5.88	4.97	3.78
Na ₂ O	7.41	5.97	6.78	6.08	4.64	4.53	6.62	6.74	6.14	6.84	7.51
K ₂ O	1.52	0.54	1.44	1.29	0.67	0.66	0.59	0.50	1.41	1.47	1.70
$H_2O_{pacy}^+$	1.31	1.13	1.53	2.02	1.24	1.22	0.73	1.12	1.29	1.00	0.91
F	0.66	1.50	—	_	0.74	0.74	2.30	1.78	1.00	2.00	2.20
$-O=F_2$	0.28	0.63	0.00	0.00	0.31	0.31	0.97	0.75	0.42	0.84	0.93
Сумма	100.38	98.88	100.05	99.52	99.64	99.34	99.89	98.46	98.68	98.87	98.48

Таблица 6. Химический состав (мас. %) минералов подгруппы Na-Ca-амфиболов из пород Ловозерского массива

Table 6.	Chemica	l composition	(wt %) oi	f sodium-ca	lcium amp	hibe	oles in 1	rocks	s of tl	he l	Lovozero massi	f
----------	---------	---------------	-------	------	-------------	-----------	------	-----------	-------	---------	------	----------------	---

Формульные коэффициенты атомов, рассчитанные на указанной основе, и их распределение в стандартной формуле $A_{0-1}B_2C_5T_8O_{22}W_2$ число катионов

Основа расчета*	16	13	16	13	13	13	16	16	16	16	16
Si	7.37	7.32	7.23	7.38	7.04	7.02	7.26	7.72	7.70	7.76	7.97
Al	0.63	0.68	0.74	0.52	0.96	0.98	0.74	0.28	0.30	0.22	0.03
Ti	_	_	0.03	0.10	-	_	_	-	_	0.02	_
Сумма Т	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Ti	0.19	0.10	0.23	-	0.23	0.24	0.12	0.05	0.13	0.05	0.06
Zr	_	_	0.04	-	-	_	_	-	_	-	_
Al	0.03	0.09	_	_	0.04	0.04	0.06	0.11	0.12	—	0.19

]	Минера	л				
			Fk	tp			Ffktp		Rct		Flrct
Vouro			k	Комплек	сы поро	од Лово	зерского	массив	a		
нент	пойки- лит.		ву	лкоса	д.		вулк осад.	ву	лкоса	ц.	пойки- лит.
				Номе	р анали	за в баз	е данных	(БД)			
	1143	169	357	429	1203	1204	142	168	370	569	52
V	_	0.01	_	_	_	_	_	_	_	_	_
Cr	_	0.01	_	0.01	0.01	_	_	_	_	_	_
Fe ³⁺	1.04	0.54	0.94	1.01	0.56	0.56	0.65	0.17	0.21	0.43	0.25
Zn	_	-	0.02	-	-	_	_	-	_	_	-
Mn^{2+}	0.15	0.04	0.22	0.08	0.02	0.02	0.04	_	0.17	0.16	0.12
Fe ²⁺	1.43	0.90	1.63	0.57	0.51	0.53	0.71	1.06	1.34	0.84	0.89
Mg	2.14	3.30	1.92	3.29	3.63	3.61	3.39	3.61	3.03	3.51	3.48
Сумма С	4.98	4.99	5.00	4.96	5.00	5.00	4.97	5.00	5.00	4.99	4.99
Mn^{2+}	_	-	0.01	-	-	_	_	0.05	0.03	0.01	_
Fe ²⁺	_	-	-	-	-	_	_	0.03	-	_	_
Ca	0.58	1.12	0.72	0.84	1.47	1.49	1.06	0.93	0.94	0.78	0.59
Na	1.42	0.88	1.28	1.16	0.53	0.51	0.94	1.00	1.04	1.21	1.41
Сумма В	2.00	2.00	2.01	2.00	2.00	2.00	2.00	2.01	2.01	2.00	2.00
Na	0.73	0.81	0.72	0.55	0.77	0.77	0.92	0.91	0.73	0.73	0.71
Κ	0.29	0.10	0.28	0.24	0.12	0.12	0.11	0.09	0.27	0.27	0.32
Сумма А	1.02	0.91	1.00	0.79	0.89	0.89	1.03	1.00	1.00	1.00	1.03
ОН	1.31	1.10	1.55	1.96	1.20	1.18	0.71	1.09	1.27	0.98	0.88
F	0.31	0.70	-	-	0.34	0.34	1.05	0.82	0.47	0.92	1.01
0	0.38	0.20	0.45	0.04	0.47	0.48	0.24	0.09	0.26	0.10	0.11
Сумма W	2.00	2.00	2.00	2.00	2.01	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00

Таблица 6. Окончание

Примечание. Fktp – феррикатофорит, Ffktp – феррифторкатофорит, Rct – рихтерит, Frct – фторрихтерит. * Для всех анализов расчет к.ф. выполнен по алгоритму (Locock, 2014). См. электронное приложение, файл Na-Ca-Amp.xlsx.

Анализы:

1143 — неравномернозернистый нефелиновый сиенит, г. Аллуайв. Обр. ЛВ-157/92. AZtec.

169 - ксенолит базальтового туфа, Тройная долина, г. Куйвчорр. Обр. ЛВ-183/2. AZtec.

357 – ксенолит метасоматически измененной вулканогенно-осадочной породы, г. Куамдеспахк. Обр. ЛВ-137/61. AZtec.

429 – ксенолит базальтового туфа, г. Куйвчорр. Обр. ЛВ-180Б. ЕРМА.

1203, 1204 – фенитизированная вулканогенно-осадочная порода, г. Куйвчорр. Обр. ЛВ-125. AZtec.

142 – фенитизированный базальтовый туф, Тройная долина, г. Куйвчорр. Обр. ЛВ-183/2. ЕРМА.

168 – ксенолит базальтового туфа, Тройная долина, г. Куйвчорр. Обр. ЛВ-183/2. AZtec.

370 — фенитизированный базальт, г. Куамдеспахк. Обр. ЛВ-137/9. ЕРМА.

569 — фенит, г. Сенгисчорр. Обр. ЛВ-184А. ЕРМА.

52 – пойкилитовый вишневитовый сиенит, г. Сенгисчорр. Обр. ЛВ-381. ЕРМА.



Рис. 7. Корреляция элементов при изоморфных замещениях в феррикатофорите и феррифторкатофорите. *I* – феррикатофорит из пород пойкилитового комплекса, *2* – феррикатофорит из ксенолитов вулканогенно-осадочных пород, *3* – феррифторкатофорит из ксенолитов вулканогенно-осадочных пород. Mfhbl – магнезиоферригорнблендит. Mhst – магнезиогастингсит, Foktp – феррокатофорит, Marf – магнезиоарфведсонит.

Fig. 7. Correlation of elements involved in isomorphic substutution for the ferri-katophorite and ferri-fluoro-katophorite.

$${}^{C}\left(4Mg + Fe^{3+}\right) \leftrightarrow {}^{C}\left(4Fe^{2+} + Al\right)$$
(10)

Na (NaCa)
$$(Mg_4Fe^{3+})(Si_7Al)O_{22}(OH)_2$$
 ↔ Na (NaCa) $(Fe_4^{2+}Al)(Si_7Al)O_{22}(OH)_2$
феррикатофорит ↔ феррокатофорит.

Интересно, что первая часть схемы (9) реализуется также для составов магнезиоарфведсонита (см. схему (1) в разделе "Натриевые амфиболы"), и также с высоким коэффициентом корреляции. Таким образом, она является сквозной для минеральных видов из всех трех подгрупп амфиболов, обнаруженных в Ловозерском массиве, причем два из этих трех видов относятся к распространенным.



Рис. 8. Морфология рихтерита и фторрихтерита в породах Ловозерского щелочного массива. *a* – гипидиоморфные кристаллы рихтерита и их сростки; фенит, г. Куйвчорр, обр. ЛВ-184А. *б* – участки рихтерита в неоднородных зернах феррикатофорита; ксенолит базальтового туфа, г. Куйвчорр, обр. ЛВ-183/2. *в* – кристаллы фторрихтерита, *г* – включения и кайма фторрихтерита на кристалле диопсида; пойкилитовый вишневитовый сиенит, пойкилитовый комплекс, г. Сенгисчорр, обр. ЛВ-381. СЭМ, BSE (обратно-рассеянные электроны) изображения. Rct – рихтерит, Flrct – фторрихтерит, Fktp – феррикатофорит, Nph – нефелин, Ntr – натролит, Ab – альбит, Fap – фторапатит, Göz – гетценит, Sdl – содалит, Di – диопсид, Vhn – вишневит, Ttn – титанит, Руh – пирротин.

Fig. 8. Morphology of richterite and fluoro-richterite in rocks of the Lovozero alkaline massif.

Феррифторкатофорит Na(NaCa)(Mg₄Fe³⁺)(Si₇Al)O₂₂F₂

Феррифторкатофорит был выделен как новый минеральный вид в 2015 г. Р. Оберти с соавторами (Hålenius et al., 2016). Название минерала дано в соответствии с утвержденной ММА схемой наименования амфиболов (Hawthorne et al., 2012). Детальное описание находки феррифторкатофорита из жильных/дайковых тел, внедрившихся в амфиболиты и мраморы комплекса Гламорган (Glamorgan), Онтарио, Канада, приведено в работе (Oberti et al., 2019). Месторождение в Онтарио оставалось, по сути, единственным достоверным местонахождением феррифторкатофорита.

В Ловозерском массиве феррифторкатофорит установлен нами в ксенолитах вулканогенно-осадочных пород (табл. 5).

Морфология и состав феррифторкатофорита в ксенолитах вулканогенно-осадочных пород Ловозерского массива

Феррифторкатофорит совместно с флогопитом образует тонкозернистые (10–15 мкм) агрегаты в основной массе породы. Более крупнозернистые выделения амфибола слагают прожилки. В виде мелких (10–15 мкм) ксеноморфных включений, тоже с флогопитом, феррифторкатофорит присутствует в пойкилитовых зернах титанита. Описанные формы нахождения феррифторкатофорита показаны на рис. 6, *е.* Химический состав феррифтор-катофорита находится в пределах вариаций состава феррикатофорита по всем определявшимся элементам, кроме, конечно, фтора (табл. 6, электронное приложение, файл Na-Ca-Amp.xlsx). Фигуративная точка феррифторкатофорита при изоморфных замещениях (рис. 7, электронное приложение, файл Na-Ca-Amp.xlsx).

Рихтерит Na(NaCa)Mg₅Si₈O₂₂(OH)₂

В отличие от феррикатофорита, рихтерит сохранял свое название и формулу в номенклатурах разных лет. В Ловозерском массиве рихтерит (по данным электроннозондового анализа) указывался в составе оторочек вокруг реликтов авгита в неравномернозернистых/пойкилитовых фельдшпатоидных сиенитах (Mikhailova et al., 2019), а также как один из минералов, образующихся при фенитизации и ороговиковании ксенолитов оливиновых базальтов (Корчак и др., 2011). Нами рихтерит установлен в ксенолитах вулканогенно-осадочных пород (табл. 5).

Морфология и состав рихтерита в ксенолитах вулканогенно-осадочных пород Ловозерского массива

Рихтерит в вулканогенно-осадочных породах представлен ксеноморфными зернами, гипидиоморфными кристаллами и их сростками (рис. 8, a). Также он установлен в виде участков неправильной формы в неоднородных индивидах феррикатофорита (рис. 8, δ).

В составе рихтерита существенно варьируют содержания титана, алюминия, железа, калия и фтора (табл. 6, электронное приложение, файл Na-Ca-Amp.xlsx), что вполне закономерно, поскольку образование минерала происходило в различных обстановках — за счет разного исходного материала вулканогенно-осадочных пород, а также различной интенсивности воздействия метасоматизирующих растворов.

Магний в рихтерите замещается железом:

$$^{C}5Mg \leftrightarrow ^{C}5Fe^{2+}$$
 (11)

$$Na(NaCa)Mg_{5}Si_{8}O_{22}(OH)_{2} \leftrightarrow Na(NaCa)Fe_{5}^{2+}Si_{8}O_{22}(OH)_{2}$$

рихтерит \leftrightarrow феррорихтерит,

в некоторых случаях высока доля C Fe³⁺ за счет изоморфизма в сторону магнезиоарфведсонита и феррикатофорита:

$${}^{B}Ca + {}^{C}Mg \leftrightarrow {}^{B}Na + {}^{C}Fe^{3+}$$
(12)

$$Na(NaCa)Mg_{5}Si_{8}O_{22}(OH)_{2} \leftrightarrow NaNa_{2}(Mg_{4}Fe^{3+})Si_{8}O_{22}(OH)_{2}$$

рихтерит ↔ магнезиоарфведсонит,

$$^{C}Mg + ^{T}Si \leftrightarrow ^{C}Fe^{3+} + ^{T}Al$$
 (13)

Na (NaCa) Mg₅Si₈O₂₂ (OH)₂ ↔ Na (NaCa) $(Mg_4Fe^{3+})(Si_7Al)O_{22}(OH)_2$ рихтерит ↔ феррикатофорит.

Минерал	Вулканогенно-осадочные породы
Актинолит	 метакварцит; слабо фенитизированная вулканогенно-осадочная порода; метаморфизованная вулканогенно-осадочная порода; базальт; метабазальт; измененный оливиновый базальт; оливиновый базальт; оливиновый метабазальт
Эденит	— ультраосновная порода/фениты; — базальт; — оливиновый базальт; — вулканогенно-осадочная порода
Паргасит	— фенит
Гастингсит	 фенитизированный аннито-анортоклазовый роговик
Магнезиогастингсит	 фенитизированный аннито-анортоклазовый роговик
Магнезиоферри-горн- блендит	 метабазальт; оливиновый метабазальт; туффит; базальт; измененный оливиновый базальт; контакт осадочных горных пород с гравеллитом; слабофенитизированная вулканогенно-осадочная порода

Таблица 7. Распространенность Са-амфиболов в породах Ловозерского массива **Table 7.** Abundance of calcium amphiboles in rocks of the Lovozero massif

Содержание калия варьирует значительно, смещая составы к калийрихтериту:

A
Na $\leftrightarrow ^{A}$ K (14)

 $Na \left(NaCa\right) Mg_{5}Si_{8}O_{22} \left(OH\right)_{2} \leftrightarrow K \left(NaCa\right) Mg_{5}Si_{8}O_{22} \left(OH\right)_{2}$

рихтерит \leftrightarrow калийрихтерит.

Фторрихтерит Na(NaCa) $Mg_5Si_8O_{22}F_2$

Фторрихтерит, открытый в Ильмено-Вишневогорском щелочном комплексе Урала (Баженов и др., 1993), остается довольно редким амфиболом. По составу фторрихтерит сходен с рихтеритом, отличаясь доминированием фтора в анионной группе *W* стандартной формулы амфиболов.

В Ловозерском массиве фторрихтериту соответствуют два из опубликованных ранее анализов амфиболов (Герасимовский и др., 1966; табл. 1, БД 1155, 932). Нами фторрихтерит установлен в пойкилитовом фельдшпатоидном сиените пойкилитового комплекса (табл. 5), что расширяет круг пород Ловозерского массива, содержащих рассматриваемый минерал: амфиболовый луяврит (Герасимовский и др., 1966) и пойкилитовый сиенит (наши данные).

Морфология и состав фторрихтерита в породах пойкилитового комплекса Ловозерского массива

Фторрихтерит представлен скоплениями гипидиоморфных и идиоморфных кристаллов, интерстиции в которых заполнены нефелином и титанитом, а также более крупными ксеноморфными индивидами с многочисленными вростками титанита (рис. 8, e). Фторрихтерит установлен также в виде включений в краевой зоне и внешней каймы крупного кристалла диопсида (рис. 8, e).

Для фторрихтерита характерно довольно высокое содержание железа, входящего при изовалентных (схема (15)) и гетеровалентных (схема (16)) замещениях, а также калия, заполняющего практически треть позиции *А* (табл. 6, электронное приложение, файл Na-Ca-Amp.xlsx):

$$^{C}Mg \leftrightarrow ^{C}Fe^{2+}$$
 (15)

$$Na(NaCa)Mg_{5}Si_{8}O_{22}F_{2} \leftrightarrow Na(NaCa)Fe_{5}^{2+}Si_{8}O_{22}F_{2}$$

фторрихтерит \leftrightarrow феррофторрихтерит" (гипотетический),

$${}^{B}Ca + {}^{C}Mg \leftrightarrow {}^{B}Na + {}^{C}Fe^{3+}$$
(16)

Na (NaCa) Mg₅Si₈O₂₂F₂
$$\leftrightarrow$$
 NaNa₂ (Mg₄Fe³⁺)Si₈O₂₂F₂
фторрихтерит \leftrightarrow магнезиофторарфведсонит,

A
Na \leftrightarrow A K (17)

$$Na(NaCa)Mg_{5}Si_{8}O_{22}F_{2} \leftrightarrow K(NaCa)Mg_{5}Si_{8}O_{22}F_{2}$$

фторрихтерит ↔ калийфторрихтерит.

Для ловозерского фторрихтерита наблюдается пониженное содержание кальция в соответствии со схемой изоморфизма (16), вплотную приближая состав к границе с магнезиофторарфведсонитом. Содержание другого видообразующего элемента, кремния, напротив, высокое, демонстрирует почти полное заполнение тетраэдрической позиции с крайне незначительным вхождением в нее алюминия (табл. 6).

КАЛЬЦИЕВЫЕ АМФИБОЛЫ

Актинолит \Box Ca₂(Mg_{4.5-2.5}Fe²⁺_{0.5-2.5})Si₈O₂₂(OH)₂

Актинолит является промежуточным членом ряда тремолит $\Box Ca_2 Mg_5 Si_8 O_{22} (OH)_2 -$

ферроактинолит $\Box Ca_2Fe_5^{2+}Si_8O_{22}(OH)_2$, но традиционно сохраняется в номенклатурах амфиболов в силу своей петрологической значимости и укоренившегося положения в геологической литературе. Согласно действующей номенклатуре амфиболов (Hawthorne et al., 2012), химические составы актинолита находятся в интервале от $\Box Ca_2Mg_{<4.5}Fe_{>0.5}^{2+}Si_8O_{22}(OH)_2$ до $\Box Ca_2Mg_{2.5}Fe_{2.5}^{2+}Si_8O_{22}(OH)_2$.

Присутствие актинолита, по данным электронно-зондового анализа, в ксенолитах пород трапповой формации в Ловозерском массиве указано в работе (Корчак и др., 2011). Нами актинолит также установлен исключительно в ксенолитах вулканогенноосадочных пород (табл. 7).

Характерные черты морфологии актинолита в породах Ловозерского массива

Актинолит обычен в виде ксеноморфных зерен и гипидиоморфных кристаллов, часто находящихся в тесной пространственной связи с флогопитом, диопсидом, эгирином, магнезиоферригорнблендитом (рис. 9, *a*). Индивиды актинолита могут содержать многочисленные включения альбита, ильменита, диопсида, вплоть до появления пойкилитового строения (рис. 9, δ). В неоднородных выделениях амфибола химические анализы центральных частей варьируют в пределах составов актинолита, а краевые зоны близки к границе с ферропаргаситом (рис. 9, δ). Помимо самостоятельных индивидов актинолит установлен в виде участков неправильной формы в неоднородных зернах эденита, во внешних зонах кристаллов диопсида, образуя на последнем и



Рис. 9. Морфология актинолита, эденита и паргасита в породах Ловозерского массива. a – гипидиоморфные кристаллы актинолита и его ксеноморфные зерна в диопсиде; метакварцит, г. Киткньюн, обр. ЛВ-01-51 II; δ – ксеноморфные зерна актинолита с внутрифазовой (химической) и фазовой (включения альбита в зонах пойкилитового строения) неоднородностью, обрастающие каймами амфибола близкого к ферропаргаситу; метаморфизованная вулканогенно-осадочная порода, г. Страшемспахк, обр. ЛВ-01-55; e – актинолит в псевдоморфозах по форстериту, измененный оливиновый базальт, г. Сэлсурт, обр. ЛВ-01-5; e – тонкозернистый агрегат эденита (темно-серый) и энстатита (светло-серый); базальт, г. Куамдеспахк, обр. ЛВ-137/5; ∂ , e – кайма эденита вокруг флогопит-магнетит-ильменитового агрегата, ж – ильменит-эденитовый симплектит в кайме эденита; оливиновый базальт, г. Сэлсурт, обр. ЛВ-01-28; s – кесноморфные зерна паргасита и агрегаты с диопсидом вокруг крупных зерен магнетит-ильменитового распада; фенит, г. Сэлсурт, обр. ЛВ-01-1Б. СЭМ, ВSE (обратно-рассеянные электроны) изображения. Асt – актинолит, Ed – эденит, Prg – паргасит, Di – диопсид, En – энстатит, Fo – форстерит, Ab – альбит, Phl – флогопит, Aeg – эгирин, Ilm –

ильменит, Mag – магнетит, Qz – кварц, Атр – амфибол, близкий к ферропаргаситу.

Fig. 9. Morphology of actinolite, edenite and pargasite in rocks of the Lovozero massif.

каймы обрастания. Очень тонкими срастаниями актинолита с флогопитом и магнезиоферригонблендитом образованы внешние каймы псевдоморфоз замещения форстерита (рис. 9, в).

Химический состав актинолита в породах Ловозерского массива

Химический состав актинолита из пород Ловозерского массива почти полностью перекрывает теоретический интервал содержания определяющих вид элементов: ${}^{C}\text{Fe}^{2+} = 0.66-1.86$ а. ф., ${}^{C}\text{Mg} = 2.64-4.18$ а. ф. (электронное приложение, файл Ca-Amp.xlsx). Наибольший изоморфизм актинолита проявлен в сторону "роговых обма-



Рис. 10. Корреляция элементов при многокомпонентном изоморфизме в актинолите. Mhbl – магнезиогорнблендит, Ffhbl – ферроферригорнблендит, Mhbl – магнезиогорнблендит, Fhbl – феррогорнблендит. **Fig. 10.** Correlation of elements in isomorphic replacements for actinolite.

Таблица 8. Химический состав (мас. %) минералов подгруппы Са-амфиболов из ксенолитов вулканогенно-осадочных пород Ловозерского массива

Table 8.	Chemical	composition	(wt %) o	f calcium	amphibole	s from	xenoliths c	of volca	noclasti	c rocks	s in
Lovozer	o alkaline	massif									

						Ν	Іинерал						
Компо-		Act			E	Ed		Prg	Hst	Mhst		Mfhbl	
нент				H	Номер	анализ	а в базе	данны	х (БД)				
	210	267	1075	115	128	238	262	117	332	333	281	534	1174
SiO ₂	54.42	51.47	56.06	46.05	53.09	51.96	48.79	38.97	39.78	40.60	52.40	51.79	49.86
TiO ₂	0.11	0.23	0.08	2.00	1.55	1.87	1.16	0.65	2.37	0.85	0.65	0.85	0.28
Al ₂ O ₃	1.79	3.95	1.73	6.16	3.36	4.59	6.46	20.15	10.74	11.03	3.61	4.18	5.47
V ₂ O ₃	0.08	-	-	-	-	-	-	0.09	-	-	—	—	-
Cr ₂ O ₃	—	-	_	0.14	0.05	-	0.11	—	—	—	—	—	—
$Fe_2O_{3 pac4}$	3.08	1.41	-	1.63	0.00	-	0.28	—	5.98	4.83	5.10	7.46	6.75
FeO _{pacч}	7.83	15.01	6.21	13.33	4.91	3.97	13.61	8.22	13.35	13.38	2.85	—	4.93
Mn_2O_{3pac4}	—	—	—	-	—	—	—	—	—	—	—	0.28	—
MnO	0.15	0.24	0.23	0.13	0.09	0.09	0.13	0.13	2.16	1.91	0.18	—	0.17
NiO	—	—	0.17	-	—	0.07	—	—	—	—	—	—	0.06
MgO	17.31	11.97	19.98	15.22	21.07	22.27	14.50	—	7.36	8.82	18.53	19.87	16.20
CaO	11.68	11.88	11.50	11.09	11.37	11.13	11.45	12.30	11.07	11.38	11.65	11.37	11.27
Na ₂ O	1.15	0.44	1.23	2.87	2.45	2.84	2.09	2.81	2.68	2.58	0.72	1.65	1.43
K ₂ O	0.11	0.28	0.06	0.30	0.15	0.05	0.21	0.93	1.23	1.37	0.41	0.04	0.30
$H_2O_{pacy}^+$	2.09	1.98	2.12	1.91	1.78	1.73	1.80	1.88	1.16	1.41	1.95	2.06	2.01
F	—	-	_	-	0.00	-	—	-	0.45	0.71	—	—	—
$-O=F_2$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.30	0.00	0.00	0.00
Сумма	99.80	98.86	99.37	100.83	99.87	100.57	100.59	98.25	98.14	98.57	98.05	99.55	98.73

Формульные коэффициенты атомов, рассчитанные на указанной основе, и их распределение в стандартной формуле $A_{0-1}B_2C_5T_8O_{22}W_2$

						числ	о катио	нов					
Основа расчета*	13	13	15	15	16	16	15	16	13	13	15	15	13
Si	7.73	7.61	7.86	6.77	7.46	7.25	7.11	5.76	6.25	6.30	7.48	7.26	7.20
Al	0.27	0.39	0.14	1.07	0.54	0.75	0.89	2.24	1.75	1.70	0.52	0.69	0.80
Ti	-	—	-	0.16	_	-	-	_	_	_	—	0.05	-
Сумма Т	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Ti	0.01	0.03	0.01	0.06	0.16	0.20	0.13	0.07	0.28	0.10	0.07	0.04	0.03
Al	0.03	0.30	0.14	_	0.02	0.01	0.22	1.26	0.24	0.31	0.09	_	0.13
V	0.01	_	_	_	_	_	_	0.01	_	_	_	_	_
Cr	—	_	_	0.02	0.01	_	0.01	_	_	_	_	_	_
Mn^{3+}	—	_	_	_	—	_	_	_	—	_	—	0.03	_
Fe ³⁺	0.33	0.16	-	0.18	_	_	0.03	_	0.71	0.56	0.55	0.79	0.73
Ni	-	—	0.02	-	_	0.01	-	_	_	_	—	-	0.01
Mn^{2+}	0.02	0.03	—	_	_	—	—	_	0.29	0.25	_	_	0.02

						Ν	Іинерал						
Компо-		Act			E	Ed		Prg	Hst	Mhst		Mfhbl	
нент				ł	Номер	анализ	а в базе	данны	х (БД)				
	210	267	1075	115	128	238	262	117	332	333	281	534	1174
Fe ²⁺	0.93	1.86	0.66	1.41	0.39	0.16	1.46	0.98	1.76	1.74	0.34	-	0.60
Mg	3.67	2.64	4.18	3.34	4.42	4.63	3.15	2.67	1.73	2.04	3.95	4.15	3.49
Сумма С	5.00	5.02	5.01	5.01	5.00	5.01	5.00	4.99	5.01	5.00	5.00	5.01	5.01
Mn ²⁺	_	_	0.03	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	_	_	0.02	-	_
Fe ²⁺	_	_	0.07	0.24	0.18	0.31	0.20	0.03	_	_	-	-	_
Ca	1.78	1.88	1.73	1.75	1.71	1.66	1.79	1.95	1.87	1.89	1.78	1.71	1.74
Na	0.22	0.12	0.17	_	0.09	0.02	_	0.01	0.14	0.11	0.20	0.29	0.26
Сумма В	2.00	2.00	2.00	2.01	1.99	2.00	2.01	2.01	2.01	2.00	2.00	2.00	2.00
Na	0.10	0.01	0.16	0.82	0.58	0.75	0.59	0.80	0.68	0.67	_	0.16	0.14
К	0.02	0.05	0.01	0.06	0.03	0.01	0.04	0.18	0.25	0.27	0.08	0.01	0.06
Сумма А	0.12	0.06	0.17	0.88	0.61	0.76	0.63	0.98	0.93	0.94	0.08	0.17	0.20
ОН	1.98	1.95	1.98	1.88	1.67	1.61	1.75	1.86	1.22	1.45	1.86	1.93	1.94
F	_	_	_	_	_	_	_	_	0.22	0.35	_	_	_
0	0.02	0.05	0.02	0.13	0.33	0.39	0.25	0.14	0.56	0.20	0.14	0.07	0.06
Сумма W	2.00	2.00	2.00	2.01	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00

Таблица 8. Окончание

Примечание. Аст – актинолит, Ed – эденит, Prg – паргасит, Hst – гастингсит, Mhst – магнезиогастингсит, Mfhbl – магнезиоферригорнблендит. * Для всех анализов расчет к.ф. выполнен по алгоритму (Locock, 2014). См. электронное приложение, файл Ca-Amp.xlsx.

Анализы:

210 — базальт, г. Куамдеспахк. Обр. ЛВ-137/5. AZtec.

267 — метаморфизованная вулканогенно-осадочная порода, г. Страшемпахк. Обр. ЛВ-01-35. ЕРМА.

1075 — оливиновый базальт, г. Киткнюн. Обр. ЛВ-01-52а. ЕРМА.

115 - базальт, г. Куамдеспахк. Обр. ЛВ-137/5. ЕРМА.

128 - фенитизированная ультраосновная порода, г. Сэлсурт. Обр. ЛВ-01-24. ЕРМА.

238 - оливиновый базальт, г. Сэлсурт. Обр. ЛВ-01-28. ЕРМА.

262 – вулканогенно-осадочная порода, г. Пялкимпорр. Обр. ЛВ-01-32-1. ЕРМА.

117 – фенит, г. Сэлсурт. Обр. ЛВ-01-1Б. ЕРМА.

332, 333 — фенитизированный аннито-анортоклазовый роговик, г. Куйвчорр. Обр. ЛВ-117. AZtec.

281 — измененный оливиновый базальт, г. Сэлсурт. Обр. ЛВ-01-5. AZtec.

534 – туффит, г. Нинчурт. Обр. ЛВ-00-22А-1. ЕРМА.

1174 – оливиновый метабазальт, г. Пялкимпорр. Обр. ЛВ-01-32-2. ЕРМА.

нок" — промежуточных членов рядов магнезиоферригорнблендит—ферроферригорнблендит (схема (18)) и магнезиогорнблендит—феррогорнблендит (схема (19)):

$${}^{C}\left(MgFe^{2+}\right) + {}^{T}Si \leftrightarrow {}^{C}Fe^{3+} + {}^{T}Al$$
(18)

$$\Box Ca_{2} \left(Mg_{4.5-2.5}Fe_{0.5-2.5}^{2+} \right) Si_{8}O_{22} (OH)_{2} \leftrightarrow \Box Ca_{2} \left(Mg_{4}Fe^{3+} \right) (Si_{7}Al)O_{22} (OH)_{2} - \Box Ca_{2} \left(Fe_{4}^{2+}Fe^{3+} \right) (Si_{7}Al)O_{22} (OH)_{2}$$

актинолит ↔ магнезиоферригорнблендит – ферроферригорнблендит,

$$C(MgFe^{2+}) + {}^{T}Si \leftrightarrow {}^{C}Al + {}^{T}Al$$
 (19)
Минеральный вид/ Mineral species	Распростра- ненность	Комплексы и породы	Объекты или привязка	Источник (первые данные)			
Группа натриевых амфиболов							
Магнезиоарфведсо- нит/Magnesio-arfved- sonite	Породообразу- ющий минерал	Все породы и пегмати- ты	Повсеместно	Хомяков, 1990; наши данные			
Калийарфведсо- нит/Potassic-arfved- sonite	Две находки	Пегматит	г. Кедыквыр- пахк	Pekov et al., 2004			
		Ксенолиты вулкано- генно-осадочных по- род	г. Куамдес- пахк	Наши данные			
Marнезиофторарфвед- сонит/Magnesio-fluo- ro-arfvedsonite	Одна находка	Альбититы	г. Сэлсурт	Бондарева и др., 1959			
	Часто встреча- ющийся	Уртит, фойяит, амфи- боловый и эвдиалито- вый луяврит	Не указан	Герасимовский и др., 1966			
	Часто встреча- ющийся	Уртит (дифференциро- ванный комплекс), лу- яврит (эвдиалитовый комплекс), ксенолиты вулканогенно-осадоч- ных пород	Более трех проявлений	Наши данные			
Калиймагнезиоарф- ведсонит/Potassic-mag- nesio-arfvedsonite	Одна находка	Роговообманковые лу- явриты	г. Куамдес- пахк	Власов и др., 1959			
Калиймагнезиофто- рарфведсонит/ Potassic-magnesio-fluo- ro-arfvedsonite	Одна находка	Пегматит	г. Лепхе- Нельм	Семенов, Ка- питонова, 1964			
Арфведсо- нит/Arfvedsonite	Редкий	Пегматоидный фойяит луяврит, эвдиалитовый комплекс	г. Сенгисчорр г. Аллуайв	Семенов, Ка- питонова, 1964; наши данные			
Фторарфведсонит (гипотетический вид)/Fluoro-arfved- sonite	Одна находка	Амфиболовый луяврит	г. Паргуайв	Волков и др., 1962			
Экерманнит/ Eckermannite	Одна находка	Пегматит?	г. Куйвчорр	Семенов, Ка- питонова, 1964			
Ферроэкерманнит (гипотетический вид)/Ferro-eckerman- nite	Одна находка	Пегматит	г. Кедыквыр- пахк	Власов и др., 1959			
Феррофторэкерман- нит (гипотетический вид)/Ferro-fluoro-eck- ermannite	(?)	Дифференцированный комплекс	Более трех проявлений	Волков и др., 1962			
Феррифторнибеит (гипотетический вид)/Ferri-fluoro-ny- bøite	Одна находка	Уртит	г. Нинчурт	Власов и др., 1959			

Таблица 9. Кадастр амфиболов Ловозерского массива Table 9. Cadastre of amphibole group minerals in the Lovozero alkaline massif

Минеральный вид/ Mineral species	Распростра- ненность	Комплексы и породы	Объекты или привязка	Источник (первые данные)			
Группа натрий-кальциевых амфиболов							
Феррикатофо- рит/Ferri-katophorite	Широко рас- пространен	Ксенолиты вулкано- генно-осадочных по- род, пойкилитовый комплекс	Более трех проявлений	Наши данные			
Феррифторкатофо- рит/Ferri-fluoro-kato- phorite	Редкие находки	Пегматит	г. Сенгисчорр	Семенов, Ка- питонова, 1964			
		Фенитизированный ба- зальтовый туф	г. Куйвчорр	Наши данные			
Рихтерит/Richterite	Редкие находки	Пегматит	г. Аллуайв	Хомяков, 1986			
	Часто встреча- ющийся	Ксенолиты вулканоген- но-осадочных пород	г. Куйвчорр	Наши данные			
Фторрихтерит/ Fluoro-richterite	Редкие находки	Амфиболовый луяврит	Не указан	Герасимовский и др., 1966			
		Пойкилитовый вишне- витовый сиенит	г. Сенгисчорр	Наши данные			
Группа кальциевых амфиболов							
Актинолит/Actinolite	Часто встреча- ющийся	Ксенолиты вулканоген- но-осадочных пород	Более трех проявлений	Наши данные			
Эденит/Edenite	Часто встреча- ющийся	Ксенолиты вулканоген- но-осадочных пород	Более трех проявлений	Наши данные			
Паргасит/Pargasite	Одна находка	Ксенолиты вулканоген- но-осадочных пород	г. Сэлсурт	Наши данные			
Гастингсит/Hastingsite	Одна находка	Ксенолиты вулканоген- но-осадочных пород	г. Куйвчорр	Наши данные			
Marнезиогастинг- сит/Magnesio-hasting- site	Одна находка	Ксенолиты вулканоген- но-осадочных пород	г. Куйвчорр	Наши данные			
Marнезиоферригорнб- лендит/Magnesio-ferri- hornblende	Часто встреча- ющийся	Ксенолиты вулканоген- но-осадочных пород	Более трех проявлений	Наши данные			

Таблица 9. Окончание

$$\Box Ca_{2} \left(Mg_{4.5-2.5}Fe_{0.5-2.5}^{2+} \right) Si_{8}O_{22} (OH)_{2} \leftrightarrow \Box Ca_{2} \left(Mg_{4}Al \right) \left(Si_{7}Al \right)O_{22} \left(OH \right)_{2} - \Box Ca_{2} \left(Fe_{4}^{2+}Al \right) \left(Si_{7}Al \right)O_{22} \left(OH \right)_{2}$$

актинолит ↔ магнезиогорнблендит – феррогорнблендит.

При таком многокомпонентном изоморфизме двухвалентные магний и железо группы *C* замещаются на трехвалентные — железо и алюминий, с одновременным замещением кремния на алюминий в тетраэдрической позиции *T*:

$$^{C}(MgFe^{2+}) + ^{T}Si \leftrightarrow ^{C}(Fe^{3+}Al) + ^{T}Al.$$
 (20)

Корреляция между компонентами, соответствующая схеме (20), показана на рис. 10.

Из других особенностей состава актинолита можно отметить вхождение железа в группу катионов B (табл. 8, электронное приложение, файл Ca-Amp.xlsx), возможно связанное с изоморфизмом в сторону магний-железо-марганцевых амфиболов.

Эденит NaCa₂Mg₅(Si₇Al)O₂₂(OH)₂

Эденит определяется доминированием Na в группе *A*, Mg в группе *C*, OH-группами в анионной позиции *W*. Статус минерала сохранялся во всех номенклатурах амфиболов (Leake, 1978; Leake et al., 1987; Hawthorne et al., 2012). Установлено, что соединение, отвечающее идеальному составу эденита, неустойчиво, и в природных образцах эденит стабилизируется примесями железа и фтора. Видимо, именно поэтому близкие к "чистому" эдениту минеральные фазы в природе не встречены, и, более того, их не удается синтезировать (Oberti et al., 2006).

В Ловозерском массиве эденит (по данным электронно-зондового анализа) указан среди амфиболов, развивающихся по диопсиду в измененных вулканогенно-осадочных породах трапповой формации (Корчак и др., 2011). Нами минерал также установлен в ксенолитах вулканогенно-осадочных пород (табл. 7).

Характерные черты морфологии эденита в породах Ловозерского массива

Эденит, наряду с флогопитом, минералами группы каолинита—серпентина, клинохлором, магнетитом, является характерным продуктом замещения форстерита в ксенолитах вулканогенно-осадочных пород. В этих породах ксеноморфные зерна эденита входят в состав тонкозернистых агрегатов, состоящих также из энстатита, магнезиогастингсита, флогопита, диопсида (рис. 9, ϵ). Такие агрегаты заполняют интерстиции крупных индивидов диопсида, магнетита, ильменит-эденитовых симплектитов. Эденит также образует каймы вокруг своих симплектитовых срастаний с ильменитом, а также вокруг флогопит-ильменит-магнетитовых гнезд (рис. 9, $d-\omega$).

Химический состав эденита в породах Ловозерского массива

Химический состав эденита характеризуется значительными колебаниями содержаний таких видообразующих элементов, как натрий, магний и алюминий (табл. 8, электронное приложение, файл Ca-Amp.xlsx). В некоторых образцах (табл. 8, БД 128) количество алюминия в тетраэдрической позиции T имеет предельно низкие значения ^TAl = 0.54 a. ф., отражая существенные изоморфные замещения по схеме (21), приводящие состав к границе эденита с тремолитом:

$${}^{A}\mathrm{Na} + {}^{T}\mathrm{Al} \leftrightarrow {}^{A}\Box + {}^{T}\mathrm{Si}$$

$$(21)$$

$$NaCa_2Mg_5(Si_7Al)O_{22}(OH)_2 \leftrightarrow \Box Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$$

эденит \leftrightarrow тремолит.

В других случаях высокое содержание алюминия (табл. 8, БД 262) приводит к вхождению этого элемента в позицию *С* и смещению состава к магнезиогорнблендиту:

^ANa + ^CMg
$$\leftrightarrow$$
 ^A \Box + ^CAl (22)
NaCa₂Mg₅(Si₇Al)O₂₂(OH)₂ \leftrightarrow \Box Ca₂(Mg₄Al)(Si₇Al)O₂₂(OH)₂
эденит \leftrightarrow магнезиогорнблендит.

Широкий изовалентный изоморфизм происходит между магнием и железом в группе *C*:

$$^{C}5Mg \leftrightarrow ^{C}5Fe^{2+}$$
 (23)

$$NaCa_2Mg_5(Si_7Al)O_{22}(OH)_2 \leftrightarrow NaCa_2Fe_5^{2+}(Si_7Al)O_{22}(OH)_2$$

эденит \leftrightarrow ферроэденит.

При этом, содержание видообразующего кальция заметно выдержано для проанализированных образцов эденита (табл. 8, электронное приложение, файл Ca-Amp.xlsx).



Рис. 11. Морфология гастингсита, магнезиогастингсита и магнезиоферригорнблендита в породах Ловозерского массива. *а*, *б* – ксеноморфные зерна гастингсита и магнезиогастингсита; фенитизированный аннитоанортоклазовый роговик, г. Куйвчорр, обр. ЛВ-117; *в* – магнезиоферригорнблендит, обрастающий реликты диопсида; базальт, г. Куамдеспахк, обр. ЛВ-137/4; *г* – гипидиоморфный кристалл магнезиоферригорнблендита; метабазальт, г. Куйвчорр, обр. ЛВ-131. СЭМ, ВSE (обратно-рассеянные электроны) изображения. Hst – гастингсит, Mhst – магнезиогастингсит, Hd – геденбергит, Kfs – калиевый полевой шпат, Mfhbl – магнезиоферригорнблендит, Di – диопсид, En – энстатит, Ab – альбит, Phl – флогопит, Fap – фторапатит, IIm – ильменит.

Fig. 11. Morphology of hastingsite, magnesio-hastingsite and magnesio-ferri-hornblendite in rocks of the Lovozero massif.

Паргасит NaCa₂(Mg₄Al)(Si₆Al₂)O₂₂(OH)₂

Для паргасита доминирующими являются: катионы Na в группе A, Mg среди двухвалентных и Al среди трехвалентных в группе C, OH-групп в W. Этот минеральный вид присутствует во всех номенклатурах амфиболов без изменений (Leake, 1978; Leake et al., 1987; Hawthorne et al., 2012).

Подобно описанному выше актинолиту, паргасит упоминался в работе (Корчак и др., 2011) и установлен только в ксенолитах вулканогенно-осадочных пород трапповой формации (табл. 7).

Характерные черты морфологии и химический состав паргасита в породах Ловозерского массива

Надежно диагностированный паргасит наблюдался в виде ксеноморфных зерен, образующих совместно с диопсидом, альбитом, титанитом, флогопитом и другими

минералами тонкозернистые агрегаты. Подобные агрегаты слагают участки неправильной формы или образуют концентрически-зональные структуры вокруг крупных зерен магнетита с ламеллями ильменита (рис. 9, 3).

В составе парагасита (табл. 8) отметим примесь железа — проявление изовалентного изоморфизма с ферропаргаситом:

$$^{C}4Mg \leftrightarrow ^{C}4Fe^{2+}$$
 (24)

$$NaCa_{2} (Mg_{4}Al) (Si_{6}Al_{2}) O_{22} (OH)_{2} \leftrightarrow NaCa_{2} (Fe_{4}^{2+}Al) (Si_{6}Al_{2}) O_{22} (OH)_{2}$$

паргасит \leftrightarrow ферропаргасит,

а также высокое содержание алюминия, связанное с изоморфизмом в сторону саданагаита:

$$^{C}Mg + ^{T}Si \leftrightarrow ^{C}Al + ^{T}Al$$
 (25)

 $\operatorname{NaCa}_{2}(\operatorname{Mg}_{4}\operatorname{Al})(\operatorname{Si}_{6}\operatorname{Al}_{2})\operatorname{O}_{22}(\operatorname{OH})_{2} \leftrightarrow \operatorname{NaCa}_{2}(\operatorname{Mg}_{3}\operatorname{Al}_{2})(\operatorname{Si}_{5}\operatorname{Al}_{3})\operatorname{O}_{22}(\operatorname{OH})_{2}$ паргасит \leftrightarrow саданагаит.

Гастингсит NaCa₂($Fe_4^{2+}Fe^{3+}$)(Si₆Al₂)O₂₂(OH)₂

Этот минеральный вид присутствует во всех номенклатурах амфиболов без изменений (Leake, 1978; Leake et al., 1987; Hawthorne et al., 2012) и определяется по доминированию натрия в группе A, железа среди двух- и трехвалентных катионов группы C, ОН-групп среди анионов W.

Сведений о более ранних находках гастингсита в породах Ловозерского массива нет.

Морфология и химический состав гастингсита в породах Ловозерского массива

Гастингсит — редкий амфибол, единичная, надежно диагностированная находка которого связана с фенитизированным аннито-анортоклазовым роговиком в ксенолитах вулканогенно-осадочных пород (табл. 7).

Представлен мелкими ксеноморфными зернами и гипидиоморфными кристаллами, а также их скоплениями совместно с геденбергитом, магнезиогастингситом, паргаситом, аннитом, флогопитом, флюоритом, диопсидом, фторапатитом, фторбритолитом-(Се), калиевым полевым шпатом и альбитом, образующими концентрическизональные агрегаты в тонкозернистой основной массе породы (рис. 11, *a*, *б*).

В составе гастингсита отметим крайне незначительное преобладание двухвалентного железа над магнием в группе *C*, позволившее отнести минерал к собственно гастингситу, находящемуся на границе с магнезиогастингститом (табл. 8, электронное приложение, файл Ca-Amp.xlsx). Высокие содержания калия и марганца в изученных в одном образце гастингсите и, забегая вперед, магнезиогастингсите, отражают геохимическую специфику данной породы, а не общую закономерность для этих минералов из Ловозерского массива (табл. 8, БД 332, 333).

Магнезиогастингсит $NaCa_2(Mg_4Fe^{3+})(Si_6Al_2)O_{22}(OH)_2$

Магнезиогастингсит — магниевый аналог гастингсита, присутствует во всех номенклатурах амфиболов (Leake, 1978; Leake et al., 1987; Hawthorne et al., 2012). В отличие от гастингсита сведения о наличии магнезиогастингсита в породах трапповой формации приведены в работе (Корчак и др., 2011).

Нами магнезиогастингсит установлен в той же породе, что и описанный выше гастингсит. Эти минералы неразличимы в образцах и препаратах (рис. 11, a, δ), точная диагностика возможна только по данным химического состава (табл. 8).



Рис. 12. Корреляция элементов при гетеровалентном изоморфизме в магнезиоферригорнблендите. Fwnc – ферривинчит.

Fig. 12. Correlation of elements in heterovalent isomorphic replacements for magnesio-ferri-hornblendite.

Магнезиоферригорнблендит □Са₂(Mg₄Fe³⁺)(Si₇Al)O₂₂(OH)₂

Магнезиоферригорнблендит как самостоятельный минеральный вид утвержден КНМНК ММА в 2022 г. Он найден в префектуре Бёртала (Börtala Autonomous Prefecture), Китай (Zhang et al., 2022), и именно это место указано как его "Туре Locality". Однако амфибол, химический состав которого отвечает магнезиоферригорнблендиту, был изучен ранее в метасоматитах доломитового карьера Отамо (Otamo), Финляндия (Zarubina et al., 2016). Название минерала полностью отражает доминирующие катионы для этой "роговой обманки": магний – среди двухвалентных, и железо – среди трехвалентных в группе *C*, ОН-группы – среди анионов группы *W*.

В Ловозерском массиве магнезиоферригорнблендит, как и другие кальциевые амфиболы, установлен только в ксенолитах вулканогенно-осадочных пород (табл. 7). Минерал представлен ксеноморфными зернами и гипидоморфными кристаллами, часто находящимися в тесной пространственной и, вероятно, генетической связи с диопсидом и флогопитом (рис. 11, *в*, *е*). Индивиды магнезиоферригорнблендита могут содержать включения энстатита, ильменита, флогопита, альбита, в краевых зонах вростки актинолита. Магнезиоферригорнблендит совместно с актинолитом и флогопитом образует внешние каймы в пседоморфозах по форстериту (рис. 9, *в*).

В составе магнезиоферригорнблендита существенно варьируют содержания как видообразующих, так и примесных элементов (табл. 8, электронное приложение, файл Ca-Amp.xlsx). Наиболее четко выражены схемы гетеровалентного (схема (26), рис. 12) изоморфизма с ферривинчитом и изовалентного с ферроферригорнблендитом (схема (27)).

$${}^{B}Ca + {}^{T}Al \leftrightarrow {}^{B}Na + {}^{T}Si$$
(26)

$$\Box Ca_2 (Mg_4Fe^{3+}) (Si_7Al) O_{22} (OH)_2 \leftrightarrow \Box (NaCa) (Mg_4Fe^{3+}) Si_8O_{22} (OH)_2$$

магнезиоферригорнблендит \leftrightarrow ферривинчит.

$$\Box Ca_2 (Mg_4Fe^{3+})(Si_7Al)O_{22} (OH)_2 \leftrightarrow \Box (NaCa) (Fe_4^{2+}Fe^{3+})Si_8O_{22} (OH)_2$$

магнезиоферригорнблендит \leftrightarrow ферроферригорнблендит.

Таким образом, изоморфные замещения в магнезиоферригорнблендите связывают его как с собственно кальциевыми, так и с натрий-кальциевыми минеральными видами.

Общим для этой подгруппы амфиболов, по сравнению с другими подгруппами, является предельно низкое содержание фтора.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты исследований в рамках настоящей работы вместе с данными из литературных источников позволили установить 21 минеральный вид из надгруппы амфиболов в породах Ловозерского массива. Из них 11 относятся к подгруппе натриевых амфиболов, 4 — кальций-натриевых и 6 — кальциевых. Результаты объединены в табл. 9.

Амфиболы натриевой подгруппы закономерно являются самыми распространенными в породах Ловозерского массива. Авторами надежно диагностированы четыре минеральных вида: магнезиоарфведсонит, магнезиофторарфведсонит, арфведсонит и калийарфведсонит. Магнезиоарфведсонит по частоте встречаемости и разнообразию пород значительно превосходит остальные виды. Весьма ограниченный круг натриевых амфиболов – 4 из 21 официально утвержденных минеральных вида этой группы, при резком доминировании одного из них – магнезиоарфведсонита, отражает специфику геохимии пород и условий их кристаллизации. Морфология, внутреннее строение и взаимоотношения с минералами ассоциации указывают на полигенеративность магнезиоарфведсонита в щелочных породах, вслед за эгирином, с которым амфибол находится в тесной пространственной и генетической связи. Для калийарфведсонита из ксенолитов вулканогенно-осадочных пород предполагается образование под воздействием щелочных растворов, отделившихся от кристаллизующихся пород массива. Гидротермальное происхождение указано для калийарфведсонита из пегматита (Pekov et al., 2004). В химическом составе натриевых амфиболов проявлены широкие вариации содержания видообразующих и примесных элементов. Изоморфные замещения связывают составы изученных видов как с другими натриевыми, так и с натрий-кальциевыми амфиболами. Последнее особенно выражено для амфиболов из ксенолитов вулканогенно-осадочных пород.

Амфиболы Na-Ca группы имеют закономерно меньшее распространение в породах Ловозерского массива, по сравнению с представителями натриевой группы. Они установлены только в породах пойкилитового комплекса и в ксенолитах вулканогенноосадочных пород трапповой формации. Из группы наиболее часто в породах массива встречаются феррикатофорит и рихтерит. Развитие амфиболов в виде пойкилокристаллов, содержащих включения всех породообразующих минералов, каймы амфиболов вокруг индивидов пироксенов, идиоморфные кристаллы в агрегатах цеолитов, альбита, — все эти морфологические черты указывают на позднее образование Na-Ca амфиболов. Не исключено полистадийное образование этих амфиболов, на что указывают различные формы нахождения минерала в одной и той же породе, как например, рихтерита и фторрихтерита (рис. 8).

Для Na-Ca амфиболов характерна тесная пространственная связь с пироксенами. При этом временные соотношения между ними различны. По отношению к диопсиду, эгирин-авгиту амфиболы проявляют себя как более поздние по времени кристаллизации (рис. 6). По отношению к эгирину, напротив, Na-Ca амфиболы являются более ранними. В химическом составе Na-Ca амфиболов проявляются разнообразные схемы изоморфных замещений, приводящие к существенным вариациям содержанием элементов. Изоморфизм происходит как между минералами данной группы, так и с минералами группы натриевых и группы кальциевых амфиболов. Примечательно, что среди рассмотренной группы амфиболов уже два минерала "перешли границу" OH/F – доминирующих видов: феррикатофорит и рихтерит. Это связано с заметным накоплением фтора в среде минералообразования при формировании пород пойкилитового комплекса, которые рассматриваются в качестве "предпегматитовых" образований (Mikhailova et al., 2021).

Шесть амфиболов кальциевой группы установлены в Ловозерском массиве в ксенолитах вулканогенно-осадочных пород трапповой формации: актинолит, эденит, паргасит, гастингсит, магнезиогастингсит и магнезиоферригорнблендит. Их присутствие в вулканогенно-осадочных породах вполне закономерно и связано с более известковистой обстановкой минералообразующей среды. Морфологические особенности: ксеноморфные индивиды, пойкилитовое строение, развитие в виде каймы на индивидах других минералов, присутствие в псевдоморфозах по ранним минералам, указывают на кристаллизацию минералов в стесненных условиях, существовавших в ходе метасоматических изменений ксенолитов вулканогенно-осадочных пород.

Разнообразие минеральных видов, а также различные широкие схемы изоморфных замещений, как между минералами внутри группы, так и в сторону Na-Ca амфиболов, указывают на локальность и специфичность обстановок кристаллизации кальциевых амфиболов, что обусловлено как изменчивостью исходного субстрата вулканогенноосадочных пород, так и вариациями воздействовавших на него метасоматирующих растворов и физико-химическими условиями преобразований.

Характерной особенностью амфиболов Ловозерского массива является то, что химические составы практически всех видов (за исключением калийарфведсонита) существенно смещены от конечных членов, вплоть до пограничных составов, например, гастингсит и магнезиогастингсит.

На результаты пересчетов химических анализов амфиболов в части отнесения к тому или иному минеральному виду влияют следующие факторы: (1) близкие или, по крайней мере, сопоставимые содержания видообразующих компонентов; (2) наличие примесей, влияющих на расчет формульных коэффициентов элементов, например, титана; (3) неполнота данных электронно-зондовых анализов: отсутствие определения двух- и трехвалентных катионов, содержания H_2O . Соответственно, отнесение амфибола к определенному минеральному виду обладает некоторой вариативностью. Мы в своей работе постарались максимально строго провести отбор аналитических данных, корректно выполнить пересчет и разделение амфиболов на виды. Не исключая возможности иной интерпретации химических составов, авторы постарались показать все разнообразие минералов этой группы по имеющимся на данный момент результатам.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках темы НИР АААА-А19-119100290149-1 (электронно-микроскопические исследования, создание базы данных) и проекта РНФ № 21-47-09010 (рентгеноструктурные исследования).

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность В.Н. Яковенчуку за предоставленные образцы пород, А.В. Базай за выполнение электронно-зондовых и электронно-микроскопических исследова-

ний некоторых образцов, Д.А. Филинскому и М.Ю. Глазуновой за помощь в подготовке материалов для исследований и публикации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Баженов А.Г., Недосекова И.Л., Петерсен Э.У. Фторрихтерит Na₂Ca (Mg,Fe)₅[Si₈O₂₂](F,OH)₂ новый минеральный вид в группе амфиболов // ЗВМО. 1993. № 3. С. 98-102.

Баженов А.Г., Недосекова И.Л., Кринова Т.В., Миронов А.Б., Хворов П.В. Фтормагнезиоарф-ведсонит NaNa₂(Mg,Fe²⁺)₄Fe³⁺[Si₈O₂₂](F,OH)₂ – новый минеральный вид в группе амфибо-лов (щелочной комплекс Ильменских-Вишневых гор, Южный Урал) // ЗВМО. **2000**. № 6. C. 28-35.

Бондарева А.М., Рогачев Д.Л., Сахаров А.С. Литийсодержащий амфибол из контактной зоны Ловозерского массива // ЗВМО. 1959. № 6. С. 710-712.

Буссен И.В., Сахаров А.С. Петрология Ловозерского щелочного массива. Л.: Наука, 1972. 296 c.

Буссен И.В., Сахаров А.С. Строение Ловозерского щелочного массива // ЗВМО. 1958. № 1. C. 101-106.

Власов К.А., Кузьменко М.В., Еськова Е.М. Ловозерский щелочной массив: породы, пегматиты, минералогия, геохимия и генезис. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 623 с.

Волков В.П., Поляков А.И., Караханова М.И. Особенности химизма породообразующих минералов дифференцированного комплекса Ловозерского щелочного массива // Геохимия. **1962**. № 6. C. 482–489.

Герасимовский В.И., Поляков А.И. Сфен-амфиболовый ийолит-мельтейгит из Ловозерского массива // ДАН СССР. 1962. Т. 143. № 5. С. 1179–1181.

Герасимовский В.И., Волков В.П., Когарко Л.Н., Поляков А.И., Сапрыкина Т.В., Балашов Ю.А. Геохимия Ловозерского щелочного массива. ГЕОХИ АН СССР. М.: Наука, 1966. 392 с.

Зайцев В.А., Сенин В.Г. Состав темноцветных минералов из порфировидных луявритов г. Паргуайв (Ловозерский массив). "Геохимия магматических пород" // Материалы XXV Всероссийского семинара с участием стран СНГ. Школа "Щелочной магматизм Земли". СПб-M., 2008. C. 56–57.

Корчак Ю.А., Меньшиков Ю.П., Пахомовский Я.А., Яковенчук В.Н., Иванюк Г.Ю. Трапповая формация Кольского полуострова // Петрология. 2011. Т. 19. № 1. С. 89-103.

Минералы Хибинских и Ловозерских тундр / Ред. Ферсман А.Е., Смольянинов Н.А., Бонштедт Э.М. М.-Л.: Издательство Академии наук СССР, 1937. 563 с.

Номенклатура амфиболов: доклад Подкомитета по амфиболам Комиссии по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации (КНМНМ MMA) // 3BMO. 1997. № 6. C. 82–102.

Пеков И.В. Ловозерский массив: история исследования, пегматиты, минералы. М.: Творческое объединение "Земля" Ассоциации Экост, 2001. 464 с.

Семенов Е.И., Капитонова Т.А. Амфиболы и пироксены щелочных пегматитов Ловозерского массива / Минералогия и генетические особенности щелочных массивов. М.: 1964. С. 3–14.

Семенов Е.И. Минералогия Ловозерского щелочного массива. М.: Наука, 1972. 307 с. Хомяков А.П. Минералогия ультраагпаитовых щелочных пород. М.: Наука, 1990. 196 с.

Шаблинский Г.Н. К вопросу о глубинном строении Хибинского и Ловозерского плутонов // Труды Ленинградского общества естествоиспытателей. 1963. Т. 74. № 1. С. 41-43.

Amphibole Supergroup Minerals in the Lovozero Alkaline Massif (Kola Peninsula)

L. M. Lyalina^a, *, Ya. A. Pakhomovsky^a, J. A. Mikhailova^a, and E. A. Selivanova^a

^aGeological Institute, Federal Research Centre Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences, 14 Fersman Street, Apatity, 184209 Russia *e-mail: l.lvalina@ksc.ru

On the base of published data and results of original researches, there were revealed 21 mineral species of the amphibole supergroup minerals in the Lovozero alkaline massif (Kola peninsula, Russia). Among them, 11 species belong to sodium amphiboles, 4 species are sodium-calcium amphiboles and 6 species – calcium ones. Sodium amphiboles are widely present in alkaline rocks of all complexes in the Lovozero massif – lavered, eudialyte, and poikilitic complexes, in pegmatites and hydrothermal veins, as well as in roof xenoliths of volcanoclastic rocks of the trap formation. Magnesio-arfvedsonite is the most widespread sodium amphibole, often it is the rock-forming and the main melanocratic mineral. Sodium-calcium amphiboles are found in the poikilitic complex and in xenoliths of volcanoclastic rocks. Calcium amphiboles occur only in xenoliths of volcanoclastic rocks altered metamorphically or metasomatically in different degree. There are analyzed morphology, chemical composition, isomorphic replacements and paragenetic associations of amphiboles in the Lovozero massif, their belonging to different types and complexes of rocks, and their abundance. The critical review of previously published data on amphiboles in the Lovozero massif is given according to the present nomenclature of the amphibole supergroup minerals.

Keywords: sodium amphiboles, sodium-calcium amphiboles, calcium amphiboles, alkaline rocks, Lovozero massif

REFERENCES

Bazhenov A.G., Nedosekova I.L., Petersen E.U. Ftorrichterite Na₂Ca (Mg,Fe)₅[Si₈O₂₂](F,OH)₂ – a new mineral species in the amphibole group. Zapiski RMO (Proc. Russian Miner. Soc.). **1993**. N 3. P. 98–102 (in Russian).

Bazhenov A.G., Nedosekova I.L., Krinova T.V., Mironov A.B., Khvorov P.V. Fluormagnesioarfvedsonite $NaNa_2(Mg, Fe^{2+})_4Fe^{3+}[Si_8O_{22}](F,OH)_2 - a$ new mineral species of the amphibole group (Il'meny-Vishnevye mountains alkaline massif, the South Urals). Zapiski RMO (Proc. Russian Miner. Soc.). **2000**. N 6. P. 28–35 (in Russian).

Bondareva A.M., Rogachev D.L., Sakharov A.S. Lithium-bearing amphibole from the contact zone of the Lovozero massif. Zapiski VMO (Proc. Russian Miner. Soc.). 1959. N 6. P. 710–712 (in Russian).

Bussen I.V., Sakharov A.S. The structure of the Lovozero alkaline massif. Zapiski VMO (Proc. Russian Miner. Soc.). **1958**. N 1. P. 101–106 (in Russian).

Bussen I.V., Sakharov A.S. Pertrology of the Lovozero alkaline massif. Leningrad: Nauka, 1972, 296 p. (in Russian).

Gerasimovsky V.I., Polyakov A.I. Sphene-amphibole ijolite-melteigite from Lovozero massif. Doklady Earth Sci. 1962. Vol. 143. P. 1179–1181 (in Russian).

Gerasimovsky V.I., Volkov V.P., Kogarko L.N., Polyakov A.I., Saprykina T.V., Balashov Yu.A. Geochemistry of the Lovozero alkaline massif. GEOCHE Academy of Sciences of the USSR. Moscow: Nauka, **1966**. 392 p. (*in Russian*).

Hålenius U., Hatert F., Pasero M., Mills S.J. IMA Commission on New Minerals, Nomenclature and Classification (CNMNC). Newsletter 29. New minerals and nomenclature modifications approved in 2015 and 2016. *Mineral. Mag.* **2016**. Vol. 80. N 1. P. 199–205.

Hawthorne F.C., Oberti R., Harlow G.E., Maresch W.V., Martin R.F., Schumacher J.C., Welch M.D. Nomenclature of the amphibole supergroup. Amer. Miner. 2012. Vol. 97. P. 2031–2048.

Khomyakov A.P. Mineralogy of Hyperagpaitic Alkaline Rocks. Moscow: Nauka, **1990**. 196 p. (*in Russian*).

Kramm U., Kogarko L.N. Nd and Sr isotope signatures of the Khibina and Lovozero Agpaitic Centres, Kola Alkaline Province, Russia. *Lithos.* **1994**. Vol. 32. N 3–4. P. 225–242.

Korchak Y.A., Men'shikov Y.P., Pakhomovskii Y.A., Yakovenchuk V.N., Ivanyuk G.Y. Trap Formation of the Kola Peninsula. Petrology. 2011. Vol. 19. N 1. P. 87–101.

Leake B.E. Nomenclature of amphiboles. Canad. Miner. 1978. Vol. 16. P. 501-520.

Leake B.E., Woolley A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J.A., Maresch W.V., Nickel E.H., Rock N.M.S., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N., Ungaretti L., Whittaker E.J.W., Guo Y. Nomenclature of amphiboles: Report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. Canad. Miner. **1997**. Vol. 35. P. 219–246.

Locock A.J. An Excel spreadsheet to classify chemical analyses of amphiboles following the IMA 2012 recommendations. *Computers & Geosciences.* **2014**. Vol. 62. P. 1–11.

Mikhailova J.A., Ivanyuk G.Yu., Kalashnikov A.A., Pakhomovsky Ya.A., Bazai A.V., Yakovenchuk V.N. Petrogenesis of the Eudialyte Complex of the Lovozero Alkaline Massif (Kola Peninsula, Russia). *Minerals.* **2019.** Vol. 9. N 10. P. 581.

Minerals of the Khibiny and Lovozero. Ed. by Fersman A.E., Smol'yaninov N.A., Bonshtedt E.M. Moscow-Leningrad: Academy of Science USSR Press. **1937**. 563 p. (*in Russian*).

Mitchell R.H., Wu F.Y., Yang Y.H. In Situ U-Pb, Sr and Nd isotopic analysis of loparite by LA-(MC)-ICP-MS. Chemical Geology. 2011. Vol. 280. N 1–2. P. 191–199. *Miyashiro A*. The chemistry, optics, and genesis of the alkali-amphiboles. Journal of Faculty of Science, University of Tokyo, Section II. **1957**. N 11. P. 57–83.

Nomenclature of amphiboles: Report of the subcommittee on amphiboles of the Commission on new minerals and mineral names of the International Mineralogical Association (CNMMN). *Zapiski VMO (Proc. Russian Miner. Soc.).* **1997.** N 6. P. 82–102 (*in Russian*).

Oberti R., Camara F., Della Ventura G., Iezzi G., Benimoff A.I. Parvo-mangano-edenite, parvo-manganotremolite, and the solid solution between Ca and Mn^{2+} at the M4 site in amphiboles. *Amer. Miner.* **2006**. Vol. 91. N 4. P. 526–532.

Oberti R., Boiocchi M., Hawthorne F.C., Ball N.A., Harlow G.E. Magnesio-arfvedsonite, IMA 2013-137. CNMNC Newsletter N 20, June 2014, P. 553. Miner. Mag. 2014. Vol. 78. P. 549–558.

Oberti R., Boiocchi M., Hawthorne F.C., Ball N.A., Martin R.F. Ferri-fluoro-katophorite from Bear Lake diggings, Bancroft area, Ontario, Canada: a new species of amphibole, ideally Na(NaCa)(Mg₄Fe³⁺)(Si₇Al)O₂₂F₂. *Miner. Mag.* **2019**. Vol. 83. N 3. P. 413–417.

Pekov I.V. Lovozero Massif: History, Pegmatites, Minerals. Moscow: Ocean Pictures Ltd., 2000. 484 p. Pekov I.V., Chukanov N.V., Lebedeva Yu.S., Pushcharovsky D.Yu., Ferraris G., Gula A., Zadov A.E.,

Novakova A.A., Petersen O.V. Potassicarfvedsonite, $KNa_2Fe_4^{2+}Fe^{3+}Si_8O_{22}(OH)_2$, a K-dominant amphibole of the arfvedsonite series from agapaitic pegmatites – Mineral data, structure refinement and disorder in the A site, *N. Jb. Miner. Mh.* **2004**. N 12, P. 555–574.

Semenov E.I., Kapitonova T.A. Amphiboles and pyroxenes from alkaline pegmatite of the Lovozero massif. In: *Mineralogy and genetic features of alkaline massifs*. Moscow, **1964**. P. 3–14 (*in Russian*).

Semenov E.I. Mineralogy the Lovozero massif. Moscow: Nauka, 1972. 307 p. (in Russian).

Shablinsky G.N. On the deep structure of Khibiny and Lovozero intrusions. In: Materials of the Leningrad Society of Natural Scientists. **1963**. Vol. 74. N 1. P. 41–43 (in Russian).

Vlasov K.A., Kuzmenko M.V., Eskova E.M. The Lovozero alkaline massif: rocks, pegmatite, mineralogy, geochemistry and genesis. Moscow: Academy of Science USSR Press, **1959**. 623 p. (*in Russian*).

Volkov V.P., Polyakov A.I., Karakhanova M.I. Features of chemistry of rock-forming minerals of the Layered complex of the Lovozero alkaline massif. *Geochem. Int.* **1962**. N 6. P. 482–489 (*in Russian*).

Warr L.N. IMA–CNMNC approved mineral symbols. *Miner. Mag.* **2021**. Vol. 85. Issue 3. P. 291–320.

Wu F.Y., Yang Y.H., Marks M.A.W., Liu Z.C., Zhou Q., Ge W.C., Yang J.S., Zhao Z.F., Mitchell R.H., Markl G. In Situ U-Pb, Sr, Nd and Hf isotopic analysis of eudialyte by LA-(MC)-ICP-MS. *Chemical Geology.* **2010**. Vol. 273. Issue 1–2. P. 8–34.

Zaitsev V.A., Senin V.G. The composition of mafic minerals from porphyritic luyavrites from mt. Parguaiv (Lovozero massif). Geochemistry of magmatic rocks. Proceedings of XXV Russian with the participation of the CIS countries Workshop "Geochemistry of alkaline rocks". Saint Petersburg–Moscow. **2008**. P. 56–57 (*in Russian*).

Zhang Y., Gu X., Li T., Fan G., Zhang Y., Wang J. Magnesio-ferri-hornblende. In: CNMNC Newsletter 66. Eur. J. Miner. 2022. P. 34.

Zarubina E.S., Aksenov S.M., Chukanov N.V., Rastsvetaeva R.K. Crystal Structure of Magnesio-Ferri-Hornblendite \Box Ca₂(Mg₄Fe³⁺)[(Si₇Al)O₂₂](OH)₂ as a Potentially New Mineral of the Amphibole Supergroup. Doklady Chemistry. **2016**. Vol. 470. P. 245–251.

= новые минералы =

НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ. LXXVII

© 2023 г. Д. чл. В. Н. Смольянинова*

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Старомонетный пер., 35, Москва, 119017 Россия *e-mail: smolvernik@yandex.ru

> Поступила в редакцию 22.06.2023 г. После доработки 22.06.2023 г. Принята к публикации 02.10.2023 г.

Представлен обзор новых минералов, опубликованных в 2022 г. Для каждого минерала приведены кристаллохимическая формула, параметры кристаллической структуры, главные физические свойства, химический состав, место находки, этимология названия, ссылка на первую публикацию о нем. Всего в обзоре приводятся данные для 106 минералов, утвержденных ММА. Кроме того, приводятся ссылки на публикации, посвященные вопросам классификации и номенклатуры минералов, уточнения состава и структуры уже известных минеральных видов.

Ключевые слова: новые минералы **DOI:** 10.31857/S0869605523060059, **EDN:** GOPCBJ

ИНТЕРМЕТАЛЛИДЫ

1. Румонит (rumoiite) – AuSn₂. Ромб.с. *Pbca. a* = 6.9088, *b* = 7.0135, *c* = 11.7979 Å. *Z* = 8. Сетевидные образования до ~4 мкм. Цв. серебристо-белый. Черта серая. Бл. метал. Хрупкий. Тв. 2.5. Плотн. 10.1 (выч.). В отр. св. белый. Плеохроизм очень слабый от белого до слегка голубовато-белого. Анизотропия сильная до умеренной от голубого до коричневато-желтого. *R* на воздухе (%): 75.6 при 470 нм, 78.1 при 546, 78.7 при 589, 78.7 при 650 нм. Хим. (SEM EDS, средн. из 10 опр.): Ag 0.08, Sn 52.42, Sb 2.12, Au 42.84, Pb 1.04, Bi 0.65, сумма 99.15. Рентгенограмма (интенс. л.): 4.543(42)(111), 3.775(34)(112), 3.098(100)(210), 2.949(69)(004), 2.711(37)(104), 2.243(39)(204), 2.128(46)(115), 1.757(51)(314). В россыпях р. Сёсамбецу, пров. Румои, о-в Хоккайдо (Япония) с сам. золотом, сесамбецуитом, юанцянитом, ауростибитом и анюйитом. Назван по месту находки. *Nishio-Hamane D., Saito K. J.* Miner. Petrol. Sci. 2021. Vol. 116. N 5. P. 263–271.

2. Сёсамбецуит (shosanbetsuite) – Ag₃Sn. Ромб.с. *Рттп. a* = 5.986, *b* = 4.779, *c* = 5.156 Å. Z = 2. Выделения до 4 мкм. В отр. св. белый. Плеохроизм и анизотропия слабые от белых до слегка голубовато-белых оттенков. *R* на воздухе (%): 50.3 при 470 нм, 57.2 при 546, 59.8 при 589, 63.0 при 650 нм. Хим. (SEM EDS, средн. из 10 опр.): Ag 53.92, Sn 23.45, Sb 0.19, Au 21.44, Pb 0.62, Bi 0.46, сумма 100.08. Рентгенограмма (интенс. л.): 2.592(11)(201), 2.576(8)(002), 2.388(29)(020), 2.275(100)(211), 2.267(78)(012), 1.757(70)(221), 1.356(68)(231,032). В россыпях р. Сёсамбецу, пров. Румои, о-в Хоккайдо (Япония) с сам. золотом, румоитом, юанцянитом, ауростибитом и анюйитом. Назван по месту находки. *Nishio-Hamane D., Saito K. J.* Miner. Petr. Sci. 2021. Vol. 116. N 5. P. 263–271.

3. Служеникинит (sluzhenikinite) – $Pd_{15}(Sb_{7-x}Sn_x)$, 3 ≤ x ≤ 4. ПГМ. Монокл.с. $P2_1/m$. a = 7.5558, b = 29.2967, c = 7.5713 Å, β = 119.931°. Z = 4. Эвгедральные удлиненные пластинчатые кристаллы до 100–150 × 10–50 мкм. В отр. св. бледно-коричневый со слабым двуотражением, малозаметным плеохроизмом и слабой анизотропией в соломенно-желтых до синих тонах. R_1 и R_2 на воздухе (%): 46.2 и 46.5 при 470 нм, 52.1 и 52.2 при 546, 54.7 и 55.1 при 589, 57.8 и 59.0 при 650 нм. Хим. (м.з., WDS, средн. из 13 опр.): Pd 65.06, Sn 15.6, Sb 19.58, сумма 100.24. Рентгенограмма (интенс. л.): 2.3169(65)(1.10.1, $\overline{1}$.10.2), 2.3151(100)($\overline{2}$.10.1), 2.3084(29)(290, $\overline{2}$ 92), 2.1872(89)(003), 2.1827(74)(300, $\overline{3}$ 03), 2.1783(15)(1.11.1), 2.1766(25) ($\overline{1}$.11.2), 1.5899(16)(2.10.2, $\overline{2}$.10.4)1.4648(19)(0.20.0). В пегматоидных галенит-халькопиритовых массивных рудах шахты Октябрьская, рудник Октябрьский, Норильск (Россия) с Аи-Ад сплавами, инсизваитом, стибиопентландитом, масловитом, соболевскитом, сперрилитом, галенитом, халькопиритом, кубанитом и пентландитом. Назван в честь русского минералога Сергея Федоровича Служеникина (Sergey Fedorovich Sluzhenikin, b. 1943). *Уутагаlova A., Welch M.D., Laufek F., Kozlov V.V., Stanley C.J., Plášil J.* Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 4. P. 577–585.

БОРИДЫ

4. Цзинсуйит (jingsuiite) – TiB₂. Гекс.с. *P6/mmm. a* = 3.04, *b* = 3.04, *c* = 3.22 Å, α = 90°, β = 90°, γ = 120°. *Z* = 1. Отдельные зерна до 50 мкм, или в агрегатах интерметаллидов. Предположительно непрозрачный черного цвета. Хим. (EELS): В 61.87, С 1.53, Тi 36.62, сумма 100.02. Рентгенограмма (интенс. л., *d, I*): 3.218(21), 2.615(60), 2.029(100), 1.609(9), 1.510(20), 1.370(11), 1.211(12), 1.101(11). В хромититовом рудном теле офиолитового комплекса Луобуса, Тибет (Китай) с фазами твердого раствора осборнит – хамрабаевит и дельталюмитом. Не исключена техногенная природа минерала. *Xiong F, Xu X, Magnaioli E., Gemmi M., Wirth R., Grew E.S., Robinson P.T.* Amer. Miner. 2022. Vol. 107. N 1. P. 43–53. https://www.mindat.org/min-54032.html

ФОСФИДЫ

5. Николанит (nickolayite) — FeMoP. Ромб.с. *Рпта. a* = 5.9519, *b* = 3.7070, *c* = 6.8465 Å. Z = 4. Неправильные зерна до 80 мкм. Цв. светло-серый до серовато-белого. Бл. метал. Пластинчатый. Микротв. 538. Плотн. 7.819 (выч.). В отр. св. белый. R_{max} и R_{min} на воздухе (%): 48.5 и 46.5 при 470 нм, 50.5 и 48.5 при 546, 51.8 и 49.9 при 589, 53.9 и 52.0 при 650 нм. Хим. (м.з., средн. из 4 опр.): Fe 32.21, Мо 47.06, Ni 3.69, Co 0.13, P 17.45, сумма 100.54. Рентгенограмма (интенс. л., *d*,*I*): 3.238(21), 2.298(100), 2.226(9), 2.181(89), 2.113(26), 1.997(14), 1.838(18), 1.388(13). В пирометаморфических породах формации Хатрурим (Иордания) с баритом, тридимитом, хромитом, гематитом, пирротином, фторапатитом, титанитом и повеллитом. Назван в честь немецкого минералога и коллекционера Дитера Николаи (Dieter Nickolay, b. 1941). *Murashko M.N., Britvin S.N., Vapnik Y.N., Polekhovsky Yu.S., Shilovskikh V.V., Zaitsev A.N., Vereshchagin O.S.* Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 5. P. 749–757. https://www.mindat.org/min-53366.html

6. Орищинит (orishchinite) – (Ni,Fe,Mo)₂P. Ni аналог аллабогданита. Ромб.с. *Pnma.* a = 5.8020, b = 3.5933, c = 6.7558 Å. Z = 4. Неправильное зерно-кристалл до 0.2 мм. Хрупкий. Тв. 5–6. Плотн. 7.500 (выч.). В отр. св. желтовато-белый без видимого двуотражения и анизотропии. R_{max} и R_{min} на воздухе (%): 48.1 и 47.5 при 470 нм, 50.6 и 49.4 при 546, 52.1 и 50.8 при 589, 54.4 и 52.9 при 650 нм. Хим. (м.з., средн. из 7 опр.): Fe 22.38, Co 0.47, Ni 38.49, Mo 18.80, P 19.46, сумма 99.60. Рентгенограмма (интенс. л.): 2.265(100)(112), 2.142(55)(211), 2.201(16)(202), 2.100(35)(103), 1.909(21)(013), 1.811(19)(113), 1.796(31)(020). В пирометаморфических породах комплекса Даба-Сивак, формация Хатрурим (Зап. Иордан) с мурашкоитом и аллабогданитом в пироксен-плагиоклазовой матрице. Назван в честь русского и украинского кристаллохимика Степана Васильовича Орищина (Stepan Vasil'ovich Orishchin, 1955–2021). *Britvin S.N., Murashko M.N., Vapnik Y., Zaitsev A.N., Shilovskikh V.V., Krzhizhanovskaya M.G., Gorelova L.A., Vereshchagin O.S., Vasilev E.* Miner. Petrol. 2022. Vol. 116. N 5. P. 369–378.

7. Назаровит (паzarovite) – Ni₁₂P₅. Тетр.с. *I4/m. a* = 8.640, *c* = 5.071 Å. *Z* = 2. Характеристики приводятся для голотипа. Микронного размера платинч. прорастания с трансиорданитом. Плотн. 7.54 (выч.). Хим. (м.з., средн. из 7 опр.): Ni 81.87, P 18.16, сумма 100.03. Рентгенограмма (интенс. л.): 4.374(5)(101), 2.503(5)(301), 2.341(54)(112), 2.160(13)(400), 2.040(15)(330), 1.931(40)(420), 1.860(100)(312). В фосфидных комплексах пирометаморфической формации Хатрирум, пустыня Негев (Израиль) (голотип) и в метеорите Марьялахти, Карелия (Россия) (котип). Назван в честь русского минералога и петролога Михаила Александровича Назарова (Michail Alexandrovich Nazarov, 1949–2016). Britvin S.N., Murashko M.N., Krzhhizhanovskaya M.G., Vereshchagin O.S., Vapnik Y, Shilovskikh V.V., Lozhkin M.S., Obolonskaya E.V. Amer. Miner. 2022. Vol. 107. N 10. p. 1946–1951.

СУЛЬФИДЫ, СУЛЬФОСОЛИ, СЕЛЕНИДЫ

8. Радваницеит (radvaniceite) – GeS₂. Монокл.с. *Pc. a* = 6.883, *b* = 22.501, *c* = 6.8081 Å, β = 120.365°. *Z* = 12. Агрегаты до 5 мм, напоминающие клочки ваты, состоящие из игольчатых кристаллов толщиной до 1–5 мкм и длиной до 3 мм; неправильные зерна до 10–50 мкм, их агрегаты. Полупрозрачный. Цв. белый до желтовато-серого. Черта белая. Эластичный до гибкого. Плотн. 3.05 и 2.99 (выч. по эмпир. и идеальной ф-лам). *n* > 1.8. В отр. св. светло-серый. Анизотропия отчетливая. R_{max} и R_{min} на воздухе (%): 18.8 и 15.4 при 470 нм, 20.4 и 16.1 при 546, 20.8 и 16.4 при 589, 20.9 и 16.9 при 650 нм. Хим. (м.з., WDS, средн. из 12 опр.): Ge 51.84, Pb 0.18, Sn 0.21, Bi 0.66, Sb 0.12, As 0.12, S 45.65, Se 1.74, сумма 100.52. Рентгенограмма (интенс. л.): 5.7395(100)(111, 110), 5.2067(16)(021), 3.3650(33)(111, 112), 2.8417(33)(022), 2.8236(16)(170, 171), 2.8134(20)(080), 2.6257(19)(240, 242). В горящих отвалах заброшенной угольной шахты Катержина, Радванице, Богемия (Чехия) с минералами твердых растворов Bi–Sb, стангерситом, герценбергитом и гринокитом. Назван по месту находки. *Sejkora J., Žáček V., Škoda R., Laufek F., Dolniček Z.* Minerals. 2022. Vol. 12. N 2. paper 222.

9. Парадиморфит (paradimorfite) – β -As₄S₃. Высокотемпературный полиморф As₄S₃. Ромб.с. *Рпта. a* = 9.1577, *b* = 8.0332, *c* = 10.2005 Å. *Z* = 4. Призмат. кристаллы. Простые формы: {110}, {101}, {111}, {100}, {010}, {001} (дан чертеж). Прозрачный и полупрозрачный. Бл. алмазн. Цв. оранжево-желтый. Черта шафраново-желтая. Хрупкий. Тв. 1–2. Микротв. 70. Плотн. 3.510 (изм.), 3.500 (изм.). Двуосный(+). *n* > 1.9. Дисперсия слабая, *r* > *v*. Плеохроизм едва заметный. Дан рамановский спектр. Хим. (м.з., WDS, средн. из 6 опр.): As 75.38, S 24.36, Se 0.06, сумма 99.80. Рентгенограмма (интенс. л.): 6.299(48)(011), 5.186(100)(111), 4.174(31)(201), 3.133(34)(022), 3.116(58)(212), 2.980(41)(122), 1.846(27)(413), 1.808(23)(134). В вулканическом кратере Сольфатара ди Поццуоли (Италия) (голотип) с реальгаром, нашатырем, масканьитом и руссоитом, в кратере Везувия (Италия) (котип) с ангидритом и сассолином. Назван по аналогии с низкотемпературным полиморфом диморфита. *Сатроstrini I., Castellano C., Demartin F., Rocchetti I., Russo M.* Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 3. P. 500–506.

10. Золенскиит (zolenskyite) – FeCr₂S₄. Монокл.с. *C2/m. a* = 12.84, *b* = 3.44, *c* = 5.94 Å, β = 117°. *Z* = 2. Эвгедральные до субгедральных отдельные кристаллы до 10–20 мкм. Непрозрачный. Физ. и опт. св-ва не определены из-за малого размера зерен. Хим. (м.з., средн. из 4 опр.): S 43.85, Cr 35.53, Fe 18.94, Mn 0.68, Ca 0.13, сумма 99.13. Рентгенограмма (интенс. л.): 5.7203(31)(200), 5.2508(52)($\overline{2}$ 01), 2.9768(47)($\overline{1}$ 11), 2.6459(92)(111), 2.6254(46)($\overline{4}$ 02), 2.5543(31)(310), 2.0702(39)(202), 2.0575(100)($\overline{5}$ 11), 2.0502(45)($\overline{6}$ 02), 1.7200(47)(020), 1.7160(78)($\overline{3}$ 13). В метеорите Индарх, Нагорный Карабах (Азербай-джан) с троилитом, клиноэнстатитом и тридимитом. Назван в честь американского

космохимика и минералога Михаила Е. Золенского (Michael E. Zolensky, b. 1955). *Ma C., Rubin A.E.* Amer. Miner. 2022. Vol. 107. N 6. P. 1030–1033.

11. Тамураит (tamuraite) – $Ir_5Fe_{10}S_{16}$. Триг. $R\overline{3}m. a = 7.073(1), c = 34.277(8). Z = 3.$ Зерна до 20 мкм. Непрозрачный. Бл. метал. Плотн. 6.30 (выч.). В отр. св. серый до коричневато-серого. Двуотражение отсутствует или очень слабое. Плеохроизм очень слабый от сероватых до светло-коричневатых оттенков. Анизотропия слабая (от серых до светло-желтых тонов). Хим. (м.з., WDS, средн. из 6 опр.): Ir 29.30, Rh 9.57, Pt 1.85, Ru 0.05, Os 0.06, Fe 13.09, Ni 12.18, Cu 6.30, Co 0.06, S 27.23, сумма 99.69. Рентгенограмма (интенс. л.): 5.7740(45.1)(10 $\overline{2}$), 3.0106(100)(2 $\overline{1}$ 6), 2.9963(50)(1.0.10), 2.7994(55.5)(205), 2.4948(37.9)(208), 1.7699(71)(4 $\overline{2}$ 0), 1.7583(64.7)(2.0.16). В Сисимской россыпной зоне, Лысанский дунит-перидотитово-габбровый комплекс, Красноярский край (Россия) с пентландитом, фазами твердого раствора лаурит – эрлихманит и осьмием. Назван в честь американского ученого Нобумити Тамура (Nobumichi Tamura, b. 1966). *Barkov A.Y., Tolstykh N.D., Martin R.F., McDonald A.M.* Minerals. 2021. Vol. 11. N 5. paper 545. https://doi.org/10.3390/min11050545

12. Пирадокетосит (ругаdoketosite) – Ag₃SbS₃. Монокл.с. $P_{1/n}$. a = 13.7510, b = 6.9350, c = 19.555 Å, $\beta = 94.807^{\circ}$. Z = 12. Игольчатые кристаллы со штриховкой параллельной удлинению до 25 × 200 мкм. Цв. и черта оранжевые. Полупрозрачный. Бл. алмаз. Хрупкий. Плотн. 5.809 (выч.). В отр. св. слегка голубовато-серый с обильными оранжевыми внутренними рефлексами. Двуотражение слабое. R_1 и R_2 на воздухе (%): 32.8 и 32.9 при 470 нм, 30.2 и 30.7 при 546, 29.0 и 29.6 при 589, 27.5 и 28.4 при 650 нм. Хим. (м.з., WDS, средн. из 6 опр.): Ag 59.81, Sb 22.63, S 17.78, сумма 100.22. Рентгенограмма (интенс. л.): 3.198(слаб.)(122), 3.193(слаб.)(313), 2.999(сильн.)(411), 2.959(сильн.)(57), 2.832(слаб.)(116). В доломит–барит–кварцевых жилах на м-нии Монте-Арсиччио, Апуанские Альпы (Италия) с пираргиритом, тетраэдритом-(Hg), валентинитом и возможно пиростильпнитом. Название от греческих слов " $\pi \upsilon \rho$ " (огонь) и " $\alpha \delta \delta \kappa \eta \tau \circ \varsigma$ " (непредвиденный) отражает загадочную природу минерала, а таже удивление от находки нового полиформа Ag₃SbS₃. *Biagioni C., Bindi L., Moëlo Y., Stanley C.J., Zaccarini F.* Amer. Miner. 2022, Vol. 107. N 10. P. 1901–1909.

13. Гунгерит (gungerite) — $TlAs_5Sb_4S_{13}$. Ромб.с. *Pbcn. a* = 20.1958, *b* = 11.5258, *c* = = 20.1430 Å. Z = 8. Тонкозернистые агрегаты до 0.5–0.2 см. Полупрозрачный. Цв. ярко-оранжевый. Черта оранжевая. Бл. жирн. Сп. совершенная по {010}. Микротв. 86 (тв. 2–2.5). Плотн. 4.173 (выч.). В отр. св. желтовато-белый, но на контакте со стибнитом светло-серый со слабым голубоватым оттенком. Двуотражение очень слабое. Отчетливо анизотропный, но анизотропия замаскирована внутренними ярко-оранжевыми рефлексами. R₁ и R₂ на воздухе (%): 29.8 и 27.0 при 470 нм, 27.4 и 26.1 при 546, 25.9 и 24.5 при 589, 23.9 и 22.4 при 650 нм. Дан рамановский спектр. Хим. (м.з., WDS, средн. из 19 опр.): Tl 13.68, As 26.77, Sb 30.97, S 28.02, сумма 99.44. Рентгенограмма (интенс. л.): 5.755(100)(020), 3.705(6)(131), 3.030(10)(424), 2.901(10)(620), 2.878(14)(040), 2.850(5)(041), 2.821(10)(141). На Воронцовском золорудном м-нии, Северный Урал (Россия) с кальцитом, доломитом, аурипигментом, пиритом, реальгаром, стибнитом, баритом, кварцем и др. Назван в честь русского горного инженера, знатока Северного Урала Юрия Владимировича Гунгера (Gunger Yuri Vladimirovich, b. 1961). Kasatkin A.V., Plášil J., Makovicky E., Chukanov N.V., Škoda R., Agakhanov A.A., Tsyganko M.V. Amer. Miner. 2022. Vol. 107. N 6. P. 1164–1173.

14. Походящинит (pokhodyashinite) – CuTlSb₂(Sb_{1-x}Tl_x)AsS_{7-x}. Монокл.с. *C2/m. a* = 23.431, *b* = 3.996, *c* = 14.070 Å, β = 110.23°. *Z* = 4. Редкие ангедральные зерна до 0.1 × × 0.05 мм в кальцитовой матрице. Черный, черта черная. Непрозрачный. Бл. метал. Хрупкий. Изл. неровн. Сп. несовершенная, возможно по {100}. Микротв. 55 (тв. 2). Плотн. 5.169 (выч.). В отр. св. серовато-белый. Двуотражение отчетливое. Анизотро-

пия сильная — от темно-коричневато-серого до светло-голубовато-серого. R_{max} и R_{min} на воздухе (%): 34.6 и 28.9 при 470 нм, 33.4 и 27.6 при 546, 32.4 и 26.7 при 589, 31.1 и 26.1 при 650 нм. Хим. (м.з., WDS, средн. из 6 опр.): Cu 4.59, Ag 3.79, Tl 27.88, Pb 0.42, As 7.63, Sb 32.95, S 21.89, сумма 99.15. Рентгенограмма (интенс. л.): 3.834(66)($\overline{111}$), 3.671(68)(203), 3.474(36)($\overline{112}$), 3.466(67)($\overline{603}$), 2.996(100)($\overline{113}$), 2.846(46)($\overline{113}$), 2.748(72)(800). На Воронцовском золоторудном м-нии, Сев. Урал (Россия) с кальцитом, аурипигментом, пиритом, реальгаром и в меньшей степени баритом, клинохлором, фторапатитом, гармотомом, пренитом, сам. Аи и сульфосолями. Назван в честь русского купца, фабриканта, владельца и основателя в районе многих шахт и плавильных заводов Максима Михайловича Походяшина (Maxim Mikhailovitch Pokhodyashin, 1708–1780). *Kasatkin A.V., Plášil J., Makovicky E., Škoda R., Agakhanov A.A., Tsyganko M.V.* J. Geosci. 2022, Vol. 67. N 1. P. 41–51.

15. Теннантит-(Cu) [tennantite-(Cu)] – $Cu_{12}As_4S_{13}$ – гр. тетраэдрита. Куб.с. $I\overline{4}3m. a = 10.1710$ Å. Z = 2. Вместе с энаргитом, халькопиритом и винсьеннитом образует амебовидные пятна до 80 мкм. Цв. черный, черта черная. Бл. метал. Тв. предположительно 3.5–4. Хрупкий. Изл. раков. Плотн. 4.656 (выч.). В отр. св. изотропный. Серый с голубоватым оттенком. R на воздухе (%): 29.1 при 470 нм, 28.4 при 546, 27.4 при 589, 25.0 при 650 нм. Хим. (м.з., средн. из 10 опр.): Cu 49.32, Fe 2.20, Zn 0.09, Sn 0.03, As 19.45, Sb 1.94, Te 0.02, S 27.75, сумма 100.80. Рентгенограмма (интенс. л.): 2.936(100)(222), 2.543(18)(400), 1.857(8)(521), 1.798(43)(440), 1.533(21)(622). На эпитермальном м-нии Лайо, пров. Кастилья, деп. Арекипа (Перу). Назван по составу и за сходство с минералами гр. теннантита. *Biagioni C., Sejkora J., Moëlo Y., Marcoux E., Mauro D., Dolniček Z.* Miner. Mag. 2022, Vol. 86. N 2. P. 331–339.

16. Теннантит-(Cd) [tennantite-(Cd)] – Cu₆(Cu₄Cd₂)As₄S₁₃ – гр. теннантита. Куб.с. $I\overline{4}3m. a = 10.3088$ Å. Z = 2. Ангедральные зерна до 1 × 1 мм. Черный. Черта красновато-коричневая. Бл. метал. Тв. предположительно 3.5–4. Хрупкий. Изл. раков. Плотн. 4.724 (выч.). В отр. св. изотропный. Внутренние рефлексы редкие с коричневато-красным оттенком. *R* на воздухе (%): 30.0 при 470 нм, 30.1 при 546, 28.2 при 589, 25.8 при 650 нм. Хим. (м.з., средн. из 11 опр.): Cu 40.56, Ag 0.05, Fe 0.04, Zn 1.91, Cd 11.32, Hg 0.04, As 19.04, S 26.78, сумма 99.74. Рентгенограмма (интенс. л.): 4.206(7)(211), 2.973(100)(222), 2.574(12)(400), 1.8212(27)(440), 1.5531(8)(622). В образце из рудного района Беренгела, Ла-Пас (Боливия) с баритом, монтмориллонитом и вторичными сульфатами (олдриджеитом, нидермайритом и воудоуриситом). Назван по составу и за сходство с минералами гр. теннантита. *Biagioni C., Kasatkin A., Sejkora J., Nestola F., Škoda R.* Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 5. P. 834–840.

17. Стибиоголдфилдит (stibiogoldfieldite) — $Cu_{12}(Sb_2Te_2)S_{13}$ — гр. тетраэдрита. Куб.с. *I*43*m. a* = 10.3466 Å. *Z* = 2. Ангедральные зерна до 0.6 мм. Цв. темно-серый. Черта серая. Бл. метал. Тв. предположительно 3.5—4. Хрупкий. Изл. раков. Плотн. 5.055 (выч.). В отр. св. изотропный. Серый с плохо уловимым коричневатым оттенком. *R* на воздухе (%): 31.1 при 470 нм, 30.9 при 546, 30.8 при 589, 31.0 при 650 нм. Хим. (м.з., средн. из 60 опр.): Cu 45.03, Ag 0.26, Fe 0.02, Zn 0.13, Sn 0.02, Pb 0.05, Sb 8.02, As 2.80, Bi 2.77, Te 15.15, S 24.50, Se 0.52, сумма 99.27. Рентгенограмма (интенс. л.) (для котипа): 3.6442(18.9)(220), 2.9743(100.0)(222), 2.5762(18.8)(400), 1.8215(31.7)(440), 1.5534(13.0)(622). На м-нии Мохок, рудный район Голдфилд, шт. Невада (США) с кварцем, пиритом и Ag–Bi–(S,Se)-фазой. Назван по составу и за сходство с голдфилдитом. *Biagioni C., Se-jkora J., Musetti S., Makovicky E., Pagano R., Pasero M.* Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 1. P. 168–175.

18. Стибиоусталечит (stibioustalečite) — $Cu_6Cu_6(Sb_2Te_2)Se_{13}$ — группа тетраэдрита. Куб.с. $I\overline{4}3m$. a = 10.828 Å. Z = 2. Ангедральные зерна до 0.1–0.3 мм. Цв. темно-серый. Черта серая. Непрозрачный. Бл. метал. Тв. 3.5–4. Хрупкий. Изл. раков. Плотн. 5.676 (выч.). В отр. св. изотропный, серый. *R* на воздухе (%): 33.3 при 470 нм, 33.2 при 546, 33.1 при 589, 33.0 при 650 нм. Хим. (м.з., WDS, средн. из 7 опр.): Cu 34.10, Ag 1.22, Fe 0.04, Zn 0.09, Hg 0.33, Sb 9.39, As 0.70, Te 12.41, S 3.76, Se 37.59, сумма 99.63. Рентгено-грамма (интенс. л.): 3.8283(9.6)(220), 3.1258(100)(222), 2.8939(10.9)(321), 2.5522(9.3)(411), 1.9769(11.1)(521), 1.9141(71.1)(440), 1.6324(33.4)(622), 1.3535(9.1)(800). На заброшенном урановом м-нии Усталеч, зап. Богемия (Чехия) с хакитом-(Hg) и берцелианитом. Название по составу и по месту находки. *Seikora J., Plášil J., Makovicky E., Geosci J.* 2022. Vol. 67. N 4. P. 275–283.

19. Аргентотетраэдрит-(Zn) [argentotetrahedrite-(Zn)] – $Ag_6(Cu_4Zn_2)Sb_4S_{13}$ – гр. тет-

раэдрита. Куб.с. $I\overline{4}3m$. a = 10.5505 Å. Z = 2. Описание приводится для голотипа. Ангедральные зерна до 0.1 мм. Цв. стально-серый до черного. Черта черная. Бл. метал. Тв. вероятно 3.5–5. Хрупкий. Изл. раков. Плотн. 5.089 (выч.). В отр. св. изотропный. Серый с голубовато-зеленым оттенком. *R* на воздухе (%): 30.1 при 470 нм, 29.8 при 546, 29.8 при 589, 28.3 при 650 нм. Хим. (м.з., средн. из 13 опр.): Cu 23.97, Ag 19.78, Fe 0.73, Zn 6.20, Cd 0.15, Hg 0.06, As 0.71, Sb 26.33, S 22.85, сумма 100.78. Рентгенограмма (интенс. л.): 7.460(24)(110), 3.046(100)(222), 2.638(23)(400), 1.865(35)(440), 1.591(18)(622). На Au–Ag-эпитермальном м-нии Кремница (Словакия) (голотип) с еще не утвержденным конечным членом "аргентотеннантитом-(Fe)" и халькопиритом. Установлен также в карьере Ленгенбах, Бинн Вале (Швейцария) и на небольшом м-нии Звестов, Богемия (Чехия) (котипы). Назван по составу согласно номенклатуре минералов гр. тетраэдрита (Biagioni, 2020). *Sejkora J., Biagioni C., Števko M., Raber T., Roth P., Vrtiška L.* Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 2. P. 319–330.

20. Феррофеттелит (ferrofettelite) – $[Ag_6As_2S_7][Ag_{10}FeAs_2S_8]$ – Fe аналог феттелита. Монокл.с. *C2. a* = 26.011, *b* = 15.048, *c* = 15.513 Å, β = 90.40°. *Z* = 8. Ангедральные до субгедральных чешуйки и зерна до 80 мкм. Непрозрачный. Черта серо-красноватая. Бл. стекл. Микротв. 122. Плотн. 5.74 (выч.). В отр. св. серовато-белый. Двуотражение умеренное (от белого до коричневато-серого). Анизотропия слабая. Внутренние рефлексы сильные (красные). R_{min} и R_{max} на воздухе (%): 28.2 и 29.4 при 471.1 нм, 25.0 и 26.3 при 548.3, 22.9 и 23.5 при 586.6, 20.9 и 21.3 при 652.3 нм. Хим. (м.з., WDS, средн.): Ag 65.66, Cu 0.05, Pb 0.01, Fe 1.16, Hg 3.04, As 11.21, Sb 0.14, S 18.77, сумма 99.54 (в оригинале 99.43). Рентгенограмма (интенс. л.): 3.18(50)(800,801), 3.104(100)(005), 3.004(60)(802), 2.755(40)(443), 2.501(30)(444), 1.880(30)(1240). В образце из карьера Гласберг, Оденвальд (Германия) с пруститом и ксантоконитом на арсенолите, кальците и прените. Назван по составу и за сходство с феттелитом. *Bindi L., Downs R.T.* Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 2. P. 340–345.

21. Светланаит (svetlanaite) — SnSe. Ромб.с. *Рпта. a* = 11.500, *b* = 4.154, *c* = 4.445 Å. Z = 4. Очень мелкие эвгедральные веретенообразные кристаллы-зерна до 2 × 15 мкм. Непрозрачный. Бл. метал. Хрупкий. Плотн. 6.08 (выч.). В отр. св. светло-серый. Плеохроизм от белого до кремового. Анизотропия сильная в светло-голубых, синих, цвета хаки и оранжево-коричневых тонах. R_1 и R_2 на воздухе (%) (для синт. аналога): 50.9 и 56.5 при 470 нм, 50.2 и 56.7 при 546, 49.5 и 55.3 при 589, 48.7 и 53.4 при 650 нм. Хим. (SEM EDS, средн. из 12 опр.): Sn 61.30, Se 37.22, S 1.26, сумма 99.78. Рентгенограмма (интенс. л.): 2.934(14)(111), 2.874(100)(400), 2.378(14)(311), 2.086(10)(411), 1.833(19)(511), 1.437(18)(800). На эпитермальном Аи м-нии Озерновское, Камчатка (Россия) с кварцем, касситеритом, рутилом, мохитом, моусонитом, кидкрикитом, хемуситом, самородным теллуром, Se-содержащими блеклыми рудами. Назван в честь русского минералога Светланы Константиновны Смирновой (Svetlana K. Smirnova, 1935–2011). *Okrugin V.M., Vymazalova A., Kozlov V.V., Laufek F., Stanley C.J., Shkilev I.A.* Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 2. P. 234–242.

22. Гачингит (gachingite) — Au(Te_{1-x}Se_x), при $0.2 \approx x \le 0.5$. Ромб.с. *Стее. а* = 7.5379, *b* = 5.7415, *c* = 8.8985 Å. *Z* = 8. Отдельные каплевидные зерна до 2–10 мкм. Непрозрачный. Бл. метал. Хрупкий. Плотн. 10.47 (выч.), В отр. св. серый с голубоватым оттенком. Двуотражение сильное. Анизотропия от голубого до темно-голубого и до коричневого. R_{max} и R_{min} на воздухе (%): 40.3 и 39.9 при 470 нм, 43.3 и 41.6 при 546, 43.7 и 42.0 при 589, 44.0 и 43.0 при 650 нм. Дан рамановский спектр. Хим. (м.з., средн. из 18 опр.): Se 9.78, Te 27.33, S 0.01, Au 62.40, Ag 0.57, сумма 100.09. Рентгенограмма (интенс. л.): 4.461(65)(002), 3.194(36)(112), 2.883(99)(202), 2.734(100)(021), 2.231(33)(004), 2.215(51)(221), 1.921(28)(204), 1.813(63)(223). На рудопроявлении Гатчинг Малетойваямского рудного поля, Камчатка (Россия) в сам. золоте с калаверитом, малетойваямитом и Au–Sbокислами. Назван по месту находки. *Tolstykh N.D., Tuhy M., Vymazalova A., Laufek F., Plášil J., Košek F.* Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 2. P. 205–213.

ГАЛОГЕНИДЫ

23. Холениусит-(Се) [håleniusite-(Се)] – СеОF. Куб.с. *Fm3m. a* = 5.6597 Å. Z = 4. Мел-козернистые псевдоморфозы по гекс. таблитч. кристаллам бастнезита-(Се) до 0.2 × × 0.1 мм. Непрозрачный. Цв. кремовый. Черта белая. Плотн. 5.890 (выч.). n = 1.763 (выч.). Хим. (м.з., WDS, средн. из 9 опр.): СаО 0.73, SrO 0.08, Y₂O₃ 1.31, La₂O₃ 19.92, Ce₂O₃ 39.37, Pr₂O₃ 3.73, Nd₂O₃ 14.46, Sm₂O₃ 2.84, Eu₂O₃ 0.62, Gd₂O₃ 2.05, Dy₂O₃ 0.31, F 14.33, -O=F 6.03, сумма 93.72. Рентгенограмма (интенс. л.): 3.247(100)(111), 2.840(31)(200), 2.004(46)(220), 1.705(30)(311). В ежектитах вулкана Агуа-де-Пау, о-в Сан-Мигель, Азорские о-ва, Португалия с астрофиллитом и фторнатропирохлором в матрице из альбита, кварца и эгирина. Назван по составу и за сходство с холениуситом-(La). *Катрf А.R., Ma C., Chiappino L.* Canad. Miner. 2022. Vol. 60. N 4. P. 713–717.

24. Муонионалустаит (muonionalustaite) – Ni₃(OH)₄Cl₂·4H₂O. Монокл.с. *C2/m. a* = 15.018, *b* = 3.1490, *c* = 10.502 Å, β = 101.535°. Пластинчатые кристаллы до ~5 мкм, вытянутые вдоль [010] и уплощенные по {001}, их агрегаты и тонкие корочки. Прозрачный. Цв. зеленый. Плотн. 2.67 (выч.). $n_{\text{средн}}$ = 1.68 (выч.). Дан рамановский спектр. Эмп. ф-ла (Ni_{2.88}Fe_{0.02}S_{0.02}Al_{0.01}Si_{0.01})_{22.94}(OH_{3.73}Cl_{2.24})_{26.00}·4H₂O. Рентгенограмма (интенс. л, *d*,*I*): 10.30(100)(001), 7.36(30)(200), 5.49(67)(201), 3.868(31)(202), 2.409(25)(602). Продукт выветривания в железном метеорите Муонионалуста (IVA), Паяла, Норрботтен, Швеция. Назван по месту находки. *Holtstam D., Bindi L., Karlsson A., Söderhielm J., Zetterqvist A*. GFF, 2021. Vol. 143. P. 1–7.

ОКИСЛЫ, ГИДРООКИСЛЫ

25. Пертолдит (pertoldite) – GeO₂. Триг.с. $P3_121$. a = 4.980, c = 5.644 Å. Z = 3. Тонкие агрегаты – пучки до 1 мм игольчатых кристаллов – волокон до 1 мкм толщиной и 1 мм длинной. Полупрозрачный. Цв. и черта белые. Бл. шелк. Плотн. 4.18 (выч.). В пр. св. анизотропный. $n_{\rm средн} = 1.670$ (изм.), 1.705 (выч.). Хим. (м.з., WDS, средн.): GeO₂ 87.34, SiO₂ 3.19, сумма 90.53. Рентгенограмма (интенс. л.): 4.3154(44)(100), 3.4251(100)(101,011), 2.4896(31)(110), 23596(41)(012,102), 1.8674(31)(112), 1.4179(31)(023,203), 1.4124(37)(122,212). В горящих отвалах заброшенной угольной шахты Катержина, Градец-Кралове (Чехия) с многокомпонентными агрегатами, содержащими галенит, стибнит, сурьму, гринокит и висмут. Назван в честь чешского геолога Зденека Пертолда (Zdeněk Pertold, 1933–2020). Žáček V, Škoda R., Laufek F, Seikora J., Haifler J. J. Geosci. 2022. Vol. 67. N 3. P. 229–237.

26. Лигоуит (liguowuite) – WO₃ – гр. перовскита. Монокл.с. $P2_1/n. a = 7.32582, b = 7.54767, c = 7.71128 Å, <math>\beta = 90.678^{\circ}$. Z = 8. Отдельные крайне редкие призмат. зерна до 0.1 мм, состоящие из мелких наночастиц до 200 мкм. Полупрозрачный. Цв. зеленовато-желтый. Черта белая. Бл. жирн. Хрупкий. Изл. неровн. Тв. ~3–4. Плотн. 7.22 (выч.).

 $n_{\text{средн}} = 2.24$ (выч.). Даны ИК- и рамановский спектры. Хим. (м.з., WDS, средн. из 4 опр.): WO₃ 99.23, K₂O 0.01, TeO₂ 0.03, CaO 0.06, Na₂O 0.04, сумма 99.37. Рентгенограмма (интенс. л.): 3.8552(88)(002), 3.7685(88)(020), 3.6590(100)(200), 2.6928(43)(022), 2.6258(60)(202). В биотит-кварцевых монцонитах южной части района Паньчжихуа Сичан (Китай) с роговой обманкой, паргаситом, феррогорнблендитом, аннитом, гидробиотитом, флогопитом, ортоклазом, микроклином, альбитом, кварцем, каолинитом, ильменитом, гетитом, гематитом, магнетитом, пиритом, цирконом, цоизитом, титанитом, эпидотом, диопсидом, турмалином, альмандином, фторапатитом, монацитом-(Ce), бастнезитом-(Ce), ксенотимом-(Y), шеелитом, муассанитом, теллуритом, вумуитом и тевитом. Назван в честь китайского геолога Ли Гоу (Li Guowu, b. 1964). *Хие Y, Sun N., He H., Chen A., Yang Y*. Europ. J. Miner. 2022. Vol. 34. N 1. P. 95–108.

27. Гуит (guite) – $\text{Co}^{2+}\text{Co}_{2}^{3+}\text{O}_{4}$. Куб.с. *Fd*3*m. a* = 8.0898. *Z* = 8. Зернистые агрегаты до 500 мкм ангедральных и субгедральных кристаллов до десятков мкм. Непрозрачный. Цв. темно-серый. Черта черная. Бл. метал. Тв. 6–6.5. Хрупкий. Изл. неровн. Плотн. 6.003 (выч.). В отр. св. белый без внутренних рефлексов. *R* на воздухе (%): 25.9 при 470 нм, 25.6 при 546, 25.2 при 589, 24.4 при 650 нм. Дан рамановский спектр. Хим. (м.з., WDS, средн. из 20 опр.): Со 71.53, Си 0.58, Mn 0.67, Si 0.25, O 26.78, сумма 99.81. Рентгено-грамма (интенс. л.): 4.6714(16.7)(111), 2.8620(18.4)(220), 2.4399(100)(311), 2.3348(10.4)(222), 2.0230(24.8)(400), 1.5556(26.3)(511,333), 1.4296(37.7)(440), 1.0524(10.1)(731,553). На м-нии Сикомайнес, Катанга (ДР Конго) в кварцевой матрице с гетерогенитом. Назван в честь китайского геолога Сянпина Гу (Xiangping Gu, b. 1964) *Lei Z., Chen X., Wang J., Huang Y., Du F., Yan Z.* Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 2. P. 346–353.

28. Чукохенит (chukochenite) – $(Li_{0.5}Al_{0.5})Al_2O_4$. Ромб.с. *Ітта. a* = 5.659, *b* = 16.898, *c* = 7.994 Å. *Z* = 12. Субгедральные и эвгедральные кристаллы до 200 мкм. Прозрачный, бецветный. Бл. стекл. Хрупкий. Тв. ~8. Плотн. 3.771 (выч.). Двуосный(–). n_p = 1.79, n_m = 1.82, n_g = 1.83, $2V = 60^\circ$ (выч.). Дан рамановский спектр. Хим. (м.з., средн. из 13 опр.): Al_2O_3 80.70, Fe₂O₃ 8.16, Li_2O 3.68, ZnO 3.25, MnO 2.49, MgO 1.70, Na₂O 0.11, CaO 0.08, SiO₂ 0.04, TiO₂ 0.02, K₂O 0.01, Cr₂O₃ 0.01, сума 100.25. Рентгенограмма (интенс. л.): 2.405(53)(231), 1.996(29)(260), 1.535(76.7)(303), 1.413(100)(264), 1.260(51.8)(2.12.0), 1.068(36.2)(1.13.4), 1.039(60.7)(503), 0.999(59.1)(008), 0.941(34.8)(3.13.4). В скарновых породах м-ния Сянхуалинь, пров. Хунань (Китай) с флогопитом, хризобериллом, магнетитом, касситеритом, маргаритом и минералами группы нигерит–тааффеит. Назван в честь китайского метеоролога, геолога и педагога Чу Кохен (Chu Kochen, 1890–1974). *Rao C., Gu X., Wang R., Xia Q., Cai Y., Dong C., Hatert F., Hao Y.* Amer. Miner. 2022. N 5. P. 842–847.

29. Цинконигерит-2*N*1*S* (zinconigerite-2*N*1*S*) – $ZnSn_2Al_{12}O_{22}(OH)_2$ – ноланит-шпи-

нелевая полисоматическая серия, гр. нигерита. Триг.с. $P\overline{3}m1$. a = 5.7191, c = 13.8380 Å. Z = 1. Агрегаты суб- до эвгедральных призмат кристаллов до 100 мкм, удлиненных по [001]. Полупрозрачный до прозрачного. Цв. зеленый. Бл. стекл. Хрупкий. Изл. неправ. Плотн. 4.456 (выч.). Одноосный(+). $n_o = 1.83$, $n_e = 1.84$. Дан рамановский спектр. Хим. (м.з., средн. из 20 опр.): Al₂O₃ 54.42, SnO₂ 28.15, ZnO 7.71, Fe₂O₃ 5.83, MnO 1.39, MgO 0.17, TiO₂ 0.05, SiO₂ 0.53, CaO 0.34, Na₂O 0.36, H₂O 1.73 (выч.), сумма 100.68. Рентгенограмма (интенс. л.): 2.841(74)(104), 2.431(100)(113), 1.851(25)(211), 1.834(34)(107), 1.646(74)(214), 1.545(81)(215), 1.428(32)(220), 1.417(27)(305), 1.365(28)(223), 1.050(39)(325). В скарнах м-ния Сянхуалинь, пров. Хунань (Китай) с флогопитом, хризоберилом, магнетитом, касситеритом, маргаритом и минералами гр. нигерит – тааффеит. Назван в соответствии с номенклатурой гр. нигерита (Armbruster, 2002). *Rao C., Gu X., Wang R., Xia Q., Dong C., Hatert F., Dal Bo F., Yu X., Wang W.* Amer. Miner. 2022. Vol. 107. N 10. P. 1952–1959.

30. Цинконигерит-6*N*6*S* (zinconigerite-6*N*6*S*) – Zn₃Sn₂Al₁₆O₃₀(OH)₂ – ноланит-шпинелевая полисоматическая серия, гр. нигерита. Триг.с. $R\overline{3}m. a = 5.7241, c = 55.5393. Z = 3$. Агрегаты суб- до эвгедральных призмат кристаллов до 100 мкм, удлиненных по [001]. Полупрозрачный до прозрачного. Цв. зеленый. Бл. стекл. Хрупкий. Изл. неправ. Плотн. 4.438. (выч.). Одноосный(+). $n_o = 1.85, n_e = 1.87$. Дан рамановский спектр. Хим. (м.з., средн. из 47 опр.): Al₂O₃ 54.12, SnO₂ 20.54, ZnO 10.22, Fe₂O₃ 8.65, MnO 2.95, MgO 0.96, TiO₂ 0.41, SiO₂ 0.07, CaO 0.35, Na₂O, 0.36 H₂O 1.45 (выч.), сумма 100.08. Рентгенограмма (интенс. л.): 2.846(34)(1.0.16), 2.436(100)(024), 2.424(39)(0.1.20), 1.650(100)(300), 1.646(100)(2.1.16), 1.553(62)(0.3.12), 1.430(61)(220), 0.955(27)(4.1.27), 0.935(41)(241). В скарнах м-ния Сянхуалинь, пров. Хунань (Китай) с флогопитом, хризоберилом, магнетитом, касситеритом, маргаритом и минералами гр. нигерит – тааффеит. Назван в соответствии с номенклатурой гр. нигерита (Armbruster, 2002). *Rao C., Gu X., Wang R., Xia Q., Dong C., Hatert F., Dal Bo F., Yu X., Wang W.* Amer. Miner. 2022. Vol. 107. N 10. P. 1952–1959.

31. Химанит-(Се) [heamanite-(Се)] – ($K_{0.5}Ce_{0.5}$) ТіО₃ – надгруппа перовскита. Куб.с. *Рт*3*т. а* = 3.9129. *Z* = 1. Единичные кристаллы до 80 мкм. Полупрозрачный. Цв. коричневый. Бл. алмазн. Тв. 5.5. Плотн. 4.73. По аналогии с лопаритом-(Се) хрупкий, изл. раков., сп. по {100}. *п*_{средн} = 2.28 (выч.). Хим. (м.з., средн. из 34 опр.): СаО 10.70, K_2O 7.38, Na₂O 0.16, Ce₂O₃ 13.77, La₂O₃ 8.22, Pr₂O₃ 0.84, Nd₂O₃ 1.59, SrO 6.69, BaO 2.96, ThO₂ 0.36, PbO 0.15, TiO₂ 45.77, Cr₂O₃ 0.32, Al₂O₃ 0.10, Fe₂O₃ 0.09, Nb₂O₅ 0.87, UO₂ 0.01, сумма 99.98. Рентгенограмма (интенс. л.): 2.764(100)(110), 1.954(31)(200), 1.596(42)(211), 1.382(20)(220), 1.236(15)(310), 1.045(19)(321). Включения в алмазе на м-нии Гахчо Кью, Северо-Западные территории (Канада) с рутилом и кальцитом. Назван в честь канадского геолога Ларри Химана (Larry Heaman, b. 1955). *Аnzolini C., Siva-Jothy W.K., Locock A.J., Nestola F., Balič-Žunić T., Alvaro M., Chinn I.L., Stachel T., Pearson D.G.* Amer. Miner. 2022. Vol. 107. N 8. P. 1635–1642.

32. Оксииттробетафит-(Y) [oxyyttrobetafite-(Y)] – $Y_2Ti_2O_6O$ – надгруппа пирохлора.

Куб.с. $Fd\overline{3}m. a = 10.11090$ Å. Z = 8. Ангедральные зерна до 20–200 мкм. Полупрозрачный. Цв. коричневый. Черта белая. Бл. стекл. Тв. 5. Плотн. 5.54 (выч.). Изотропный. В пр. св. коричневый. n = 2.3 (выч.). Хим. (м.з., EDS, средн.): Y_2O_3 40.99, Sm_2O_3 0.78, Eu_2O_3 0.37, Gd_2O_3 1.80, Tb_2O_3 0.71, Dy_2O_3 5.57, Ho_2O_3 1.27, Er_2O_3 2.76, Tm_2O_3 2.19, Yb_2O_3 3.27, Lu_2O_3 0.34, TiO_2 33.91, SnO_2 0.61, Nb_2O_5 0.14, Ta_2O_5 4.38, FeO 0.76, сумма 99.85. Рентгенограмма (интенс. л.): 2.918(100)(222), 2.527(18)(400), 2.321(13)(331), 1.788(53)(440), 1.525(46)(622), 1.162(13)(662), 1.033(9)(844). В пегматите Соури Велли, преф. Миэ (Япония) с таленитом-(Y), синхизитом-(Y), а также с эшинитом-(Y), торианитом, торитом и гадолинитом-(Y). Назван в соответствии с номенклатурой надгруппы пирохлора (Atencio, 2021). Nishio-Hamane D., Momma K., Ohnishi M., Inaba S. J. Miner. Petrol. Scie., 2022. Vol. 117. N 1. P. 1–6.

33. Шахдараит-(Y) [shakhdaraite-(Y)] – ScYNb₂O₈. Монокл.с. *P2/c. a* = 9.930, *b* = 5.6625, *c* = 5.2108 Å, β = 92.38° . *Z* = 2. Отдельные редкие ангедральные зерна до 150 мкм и один таблитч. кристалл. Цв. темно-коричневый. Черта коричневая. Бл. полуметалл. Изл. неровн. до раков. Микротв. 436 (тв. 5). Плотн. 5.602 (выч.). В отр. св. светло-серый с умеренно низкими рефлексами. Анизотропия отчетливая. R_{max} и R_{min} на воздухе (%): 14.6 и 13.9 при 470 нм, 14.0 и 13.4 при 546, 13.9 и 13.3 при 589, 13.8 и 13.1 при 650 нм. Хим. (м.з., EDS и WDS, средн. из 7 опр.): WO₃ 0.79, Ta₂O₅ 4.52, Nb₂O₅ 50.70, UO₂ 3.30, ThO₂ 1.90, SnO₂ 1.54, TiO₂ 0.08, Ce₂O₃ 0.21, Pr₂O₃ 0.04, Nd₂O₃ 0.27, Sm₂O₃ 0.32, Eu₂O₃ 0.07, Gd₂O₃ 0.36, Tb₂O₃ 0.22, Dy₂O₃ 2.07, Ho₂O₃ 0.29, Er₂O₃ 1.33, Tm₂O₃ 0.35, Yb₂O₃ 2.80, Lu₂O₃ 0.32, Y₂O₃ 12.00, Sc₂O₃ 11.35, PbO 0.24, FeO 0.01, MnO 1.38, CaO 1.01, сумма 97.97. Рентгенограмма (интенс. л.): 3.72(35)(210),

 $3.073(100)(\bar{2}11)$, 2.990(85)(211), 2.832(20)(020), 2.603(24)($00\bar{2}$), 2.484(33)($0\bar{2}1$), 1.916(23)($02\bar{2}$), 1.867(21)(420). В миароловом гранитном пегматите Лесхозовский, р. Шахдара, Юго-Западный Памир, Горно-Бадахшанская автономная обл. (Таджикистан) с кварцем, альбитом, пирохлор-микролитом, ферсманитом и Sc–Nd-окислом. Назван по месту находки. *Pautov L.A., Mirakov M.A., Sokolova E., Day M.C., Hawthorne F.C., Schodibekov M.A., Karpenko V.Yu., Makhmadsharif S., Faiziev A.R.* Canad. Miner. 2022. Vol. 60. N 2. p. 369–382.

34. Сюйит (xuite) – Ca₃Fe₂[(Al,Fe)O₃(OH)]₃ – гр. граната. Куб.с. $Ia\overline{3}d. a = 12.5056.$ Z = 8. Нанокристаллы до 800 мкм. Плотн. 3.53 (выч.). Дан ИК-спектр. Хим. (EDS TIM, средн. из 6 опр.): Fe₂O₃ 44.64, CaO 29.84, Al₂O₃ 12.98, MgO 1.87, TiO₂ 1.23, SiO₂ 1.85, H₂O 7.59, сумма 100.00. Рентгенограмма (интенс. л.): 5.1062(15.7)(112), 4.4215(65.4)(022), 3.3420(24.0)(123), 3.1261(62.5)(004), 2.7959(100)(024), 2.6659(15.2)(233), 2.5524(63.1)(224). В базальтовом шлаке вулканического комплекса Менан, шт. Айдахо (США) с логуфэнитом, валлейитом и гематитом. Назван в честь американских ученых Хуйфан Сюй и Хуну Сюй (Huifang Xu and Hongwu Xu). *Lee S., Guo X.* Amer. Miner. 2022. Vol. 107. N 5. P. 930–935.

35. Казнахтит (kaznakhtite) – $Ni_6Co_2^{3+}(CO_3)(OH)_{16}$ 4H₂O – надгр. гидроталькита. Триг.с. $R\overline{3}m. a = 3.0515, c = 23.180$ Å. Z = 3/8. Пластинчатые зерна до 0.01 мм в мелкозернистых, порошковатых агрегатах, образующих уплощенные линзы до 1.5×0.5 см и прожилки до 1 см толщиной до 1 мм. Прозрачный, в агрегатах полупрозрачный. Цв. светло-зеленый. Бл. земл. Сп. слюдоподобная по {001}. Плотн. 2.864 (выч.). Одноосный(–). $n_0 = 1.657$, $n_e = 1.676$. В пр. св. болотно-зеленый до бесцветного. Плеохроизм слабый в зеленоватых оттенках. Дан ИК-спектр. Хим. (м.з., WDS, средн. из 10 опр.): MgO 2.15, NiO 47.40, ZnO 0.22, Al₂O₃ 0.16, Cr₂O₃ 0.98, Co₂O₃ 17.42, Cl 0.63, CO₂ 5.05 (выч.), H₂O 24.60, -O=Cl 0.14, сумма 98.47. Рентгенограмма (интенс. л.): 7.72(100)(003), 3.863(24)(006), 2.630(4)(101), 2.576(10)(012), 2.294(6)(015), 1.950(4)(018), 1.526(4)(110), 1.497(4)(113). В ультрабазитовом Казнахтинском массиве, Усть-Коксинский район, Алтай (Россия) с хризотилом, лизардитом, стихтитом, доломитом, бруситом, хромитом, хизлевудитом, манганохромитом, магнетитом и магнезиоферритом. Назван по месту находки. Kasatkin A.V., Britvin S.N., Krzhizhanovskaya M.G., Chukanov N.V., Škoda R., Göttlicher J., Belakovskiy D.I., Pekov I.V., Levitskiy V.V. Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 5. P. 841-848.

36. Саккоит (saccoite) – Ca₂Mn₂³⁺ F(OH)₈ 0.5(SO₄). Тетр.с. *P4/ncc. a* = 12.834, *c* = 5.622 Å. Z = 4. Корочки, агрегаты мелких игольчатых войлокоподобных кристаллов. Прозрачный. Цв. оливково-зеленый. Черта белая. Бл. стекл. Плотн. 2.73 (выч.). Одноосный(–). $n_o = 1.705, n_e = 1.684$. Плеохроизм отчетливый: по *No* – голубовато-зеленый, по *Ne* – желтовато-зеленый. Эмп. ф-ла (м.з., WDS, средн.) Ca_{2.06}, Mn_{1.78}³⁺ Cu_{0.10}Mg_{0.07}F_{0.97}(OH)_{8.02}(SO₄)_{0.39}. Рентгенограмма (интенс. л.): 9.0735(35)(110), 4.5370(95)(220), 4.0644(20)(310), 3.0105(100)(321), 2.8117(20)(002), 2.7242(75)(411), 1.9755(35)(611), 1.8142(20)(550). В гидротермально измененных марганцевых рудах (г.о. биксбиит и барит) на м-нии Н'Чванинг III, Калахари, Мп-рудное поле (ЮАР) с браунитом, гипсом, хлоритом, стурманитом и эттрингитом. Назван в честь африканских бизнесменов и геологов отца (Гвидо) и сына (Десмонда) Сакко (Guido Sacco, 1900–1994, Desmond Sacco, b. 1940), учавствовавших в открытии и разработке марганцевых м-ний Северо-Капской провинции ЮАР. *Giester G., Lengauer C.L., Chanmuang N.C., Topa D., Gutzmer J., von Bezing K.-L.*, Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 5. P. 814–820.

НИТРАТЫ, ФОСФАТЫ, АРСЕНАТЫ

37. Нитроплюмбит (nitroplumbite) – [Pb₄(OH)₄](NO₃)₄. Монокл.с. *Ia. a* = 18.3471, *b* = 17.3057, *c* = 18.6698 Å, β = 91.872°. *Z* = 16. Псевдокуб. кристаллы до 0.15 мм. Простые формы: {100}, {001}, {010}, {110}, {110}, {101}, {101}, {101}, {011}, {111},

38. Рипхукхиллит (reaphookhillite) – $MgZn_2(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ – Mg аналог парагопеита. Трикл.с. $P\overline{1}$. a = 5.7588, b = 7.5341, c = 5.2786 Å, $\alpha = 93.44^\circ$, $\beta = 91.27^\circ$, $\gamma = 91.30^\circ$. Z = 1. Клинообразные до тонких табличек кристаллы до 0.6 мм. Бесцветный. Сп. совершенная по {010}. Плотн. 3.09 (выч.). Двуосный(+). $n_p = 1.583$, $n_m = 1.596$, $n_g = 1.611$, $2V = 88.7^\circ$ (выч.). Хим. (м.з., средн.): ZnO 41.57, MgO 7.96, MnO 0.40, P₂O₅ 33.72, H₂O 16.92 (выч.), сумма 100.57. Рентгенограмма (интенс. л.): 7.577(100)(010), 4.461(24)(01 $\overline{1}$), 3.771(14)(020), 3.158(13)(02 $\overline{1}$), 2.982(32)(021), 2.880(27)(200), 2.775(14)(1 $\overline{1}$ 2, 12 $\overline{1}$), 2.668(13)(12 $\overline{2}$, 210). На м-нии Рипхук Хилл (Юж. Австралия) с парагопеитом, шольцитом, лейкофосфитом и халькофанитом. Назван по месту находки. *Elliott P*. Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 4. p. 525–530.

39. Фторсиганит (fluorsigaiite) – Ca₂Sr₃(PO₄)₃F – надгр. апатита. Гекс.с. $P6_3/m. a = 9.6101, c = 7.1311$ Å. Z = 2. Отдельные призмат., столбчатые или пластинчатые кристаллы до 50, редко до 100 мкм. Полупрозрачный до прозрачного. Бесцветный до желтовато-белого. Бл. стекл. Хрупкий. Изл. неровн. Тв. ~5. Плотн. 3.842 (выч.). Одноосный(–). $n_o = 1.64, n_e = 1.63$. Дан рамановский спектр. Хим. (м.з., WDS, средн.): P₂O₅ 31.87, La₂O₃ 3.64, Ce₂O₃ 2.22, Pr₂O₃ 0.19, Nd₂O₃ 0.13, Sm₂O₃ 0.05, Gd₂O₃ 0.23, CaO 15.17, SrO 44.44, Na₂O 0.75, F 1.91, OH 0.83, –O=F 0.80, сумма 100.63. Рентгенограмма (интенс. л.): 3.563(14.5)(002), 3.275(14.9)(012), 3.144(18.6)(1 $\overline{3}$ 0), 2.876(100)(1 $\overline{3}$ 1), 2.861(96.2)(112), 2.772(27.4)(030), 1.991(16.5)(222), 1.895(23.2)(1 $\overline{3}$ 3). В микроклин-нефелиновой матрице в луявритах щелочного комплекса Саима, пров. Ляонин (Китай) с натролитом, эвдиалитом, фторапатитом, стронадельфитом и кальцитом. Назван по составу, корневая часть – от китайских обозначений стронция "si" и кальция "gai". *Wu B., Gu X.P., Rao C., Wang R.C., Xing X.Q., Zhong F.J., Wan J.J., Bonnetti C.* Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 6. P. 940–947.

40. Гидроксилпироморфит (hydroxylpyromorphite) — $Pb_5(PO_4)_3(OH)$. Гекс. $P6_3/m. a = 9.7872, c = 7.3070$ Å. Z = 2. Скопления случайно ориентированных гексагональных призматических кристаллов длиной около 20-35 и 6-10 мкм в сечении. Простые формы: {100} (призма), {101} (пирамида). Полупрозрачный. Бесцветный. Черта белая. Бл. стекл. Хрупкий. Изл. неправ. Тв. 3.5-4. Сп. неясная по {001}. Плотн. 7.32 и 7.33 (выч. по эмпир. и идеальной ф-лам). Одноосный(–). $n_{cpeдH} = 2.04$ (выч.). Дан ИК-спектр. Хим. (м.з., средн. из 12 опр.): PbO 82.20, P_2O_5 15.77, Cl 0.15, F 0.46, H_2O 0.46 (выч. по стр-ре), -O=Cl 0.03, -O=F 0.19, сумма 98.82. Рентгенограмма (интенс. л.): 4.079(18)(111), 3.359(29)(102), 3.207(21)(120), 2.934(100)(121,112), 2.0355(21)(222), 1.9417(23)(320,213), 1.8340(25)(402,004), 1.5919(17)(420,331,214). В кварцевом включении на руднике Коппс, округ Гогебик, шт. Мичиган (США). Назван как OH-аналог пироморфита.

Olds T.A., Kampf A.R., Rakovan J.F., Burns P.C., Mills O.P., Laughlin-Yurs C. Amer. Miner. 2021. Vol. 106. N 6. P. 922–929.

41. Дондоэллит (dondoellite) – Ca₂Fe(PO₄)₂ · 2H₂O – полиморф месселита. Трикл.с. $P\overline{1}$. a = 5.4830, b = 5.7431, c = 13.0107 Å, $\alpha = 98.772^{\circ}$, $\beta = 96.209^{\circ}$, $\gamma = 108.452^{\circ}$. Z = 2. Сферические агрегаты до 2 см радиальных пластинок до 0.8 × 0.1 × 0.03 мм. Прозрачный. Бесцветный до бледно-желтого. Бл. стекл. Хрупкий. Тв. 3.5–4. Сп. совершенная по {001}. Плотн. 3.14 (изм.), 3.15 (выч.). Двуосный(+). $n_p = 1.649$, $n_m = 1.654$, $n_g = 1.672$, $2V = 55^{\circ}$ (изм.), 58°(выч.). Плеохроизм слабый от серого до светло-желтого. Дисперсия слабая, r > v. Дан рамановский спектр. Хим. (м.з., WDS, средн. из 9 опр.): P₂O₅ 39.22, CaO 30.93, FeO 17.82, MgO 1.51, MnO 0.24, H₂O 10.02 (выч.), сумма 99.74. Рентгенограмма (интенс. л.): 6.316(35)(002), 3.149(100)($\overline{112}$), 3.023(63)(103), 2.669(100)($\overline{122}$), 2.628(26)(112), 2.574(30)($\overline{114}$), 1.782(25)($\overline{206}$), 1.701(25)(0 $\overline{34}$). На м-нии Гризли Беар-Крик, Юкона (Канада) с гидроксилапатитом, сидеритом и кварцем. Назван в честь канадских медиков и любителей минералов Дональда В. Доэлля (отец) (Donald V. Doell, b. 1948) и Дональда М. Доэлля (сын) (Donald M. Doell, b. 1982). *Yang H., Gibbs R.B., McGlasson J.A., Jenkins R.A., Downs R.T.* Canad. Miner. 2022. Vol. 60. N 5. P. 837–847.

42. Ферробераунит (ferroberaunite) – $Fe^{2+}Fe_5^{3+}(PO_4)_4(OH)_5 \cdot 6H_2O$ – серия бераунита. Монокл.с. *C*2/*c*. *a* = 20.8708, *b* = 5.1590, *c* = 19.2263 Å, β = 93.3186°. *Z* = 4. Призмат., игольчатые до пластинчатых кристаллы до 400 мкм в длину уплощенные по {100} и удлиненные по b, хаотично растущие на "лимонитовой" матрице или образующие радиальные до сферических агрегаты. Простые формы: $\{100\}, \{201\}, \{20\overline{1}\}, \{112\}$ и $\{\overline{1}1\overline{2}\};$ двойникование по {100}(даны чертежи). Прозрачный до полупрозрачного. Цв. темнозеленый до оливкового. Черта бледно-оливковая. Бл. стекл., перл. на пл. спайности. Сп. очень хорошая по {100}. Хрупкий. Изл. неровн. Тв. 3-4. Плотн. 2.94 (изм.) 2.907 (выч.). Двуосный(–). Nm = b, $Np \approx a$, $Ng \approx c$. $n_p = 1.736$, $n_m = 1.765$, $n_g = 1.786$, 2V = $= 68^{\circ}(изм.), 79^{\circ}(выч.).$ Дисперсия сильная, r > v. Плеохроизм сильный: по Np голубовато-зеленый, по Ng зеленый, по Nm желтый. Дан рамановский спектр. Хим. (м.з., средн. из 6 опр.): FeO 6.00, CaO 0.05, MnO 0.16, Fe₂O₃ 45.38, Al₂O₃ 0.21, P₂O₅ 31.60, Н₂О 16.80 (выч.), сумма 100.20. Рентгенограмма (интенс. л.): 10.410(100)(200), $9.606(14)(002), 7.271(11)(20\overline{2}), 5.203(4)(400), 3.467(12)(600), 3.325(6)(60\overline{2}), 3.201(6)(006),$ 2.600(4)(800). Гипергенный на м-нии Гравел Хилл, Перранцабулое (Англия) в прожилках и полостях "лимонитовой" железной руды. Назван по составу и за сходство с цинкобераунитом. Tvrdý J., Plášil J., Vrtiška L., Sejkora J., Škoda R., Dolníček Z., Petr M., Veselovský F. Miner. Mag., 2022. Vol. 86. N 3. P. 363-372.

43. Магнезиоберманит (magnesiobermanite) – $MgMn_2^{3+}(PO_4)_2(OH)_2 \cdot 4H_2O$. Монокл.с. $P2_1$. a = 5.4215, b = 19.072, c = 5.3889 Å, $\beta = 110.21^\circ$. Z = 2. Пластинч. до таблитч. кристаллы до 0.3 мм, их агрегаты до 1.2 мм. Простые формы: {010}, {100}, {001}, {101} и {111} (дан чертеж). Полупрозрачный. Цв. оранжево-красный до коричневато-красного. Черта розовая. Хрупкий. Изл. заноз. Сп. совершенная по {001}. Тв. 3.5. Плотн. 2.75 (изм.), 2.73 (выч.). Двуосный(–). $n_p = 1.690$, $n_m = 1.719$, $n_g = 1.734$, $2V = 70.4^\circ$ (выч.). Плеохроизм сильный: по *Np* бледно-оранжево-красный, по *Nm* бледно-желтый, по *Ng* темно-оранжево-красный. Дан ИК-спектр. Хим. (м.з., средн.): Mn₂O₃ 27.41, Fe₂O₃ 8.84, MgO 9.59, Al₂O₃ 0.18, P₂O₅ 33.27, H₂O 20.94 (выч. по стр-ре), сумма 100.23. Рентгенограмма (интенс. л.): 9.533(100)(020), 5.089(8)(100, 001), 4.772(21)(040), 2.892(6)(151). Вторичный в гранитном пегматите в карьере Уайт Рок N 2 (Юж. Австралия) со фторапатитом, лейкофосфитом, джанситом-(NaFeMg), ушковитом, лауэитом, перловитом и митридатитом. Назван по составу и за сходство с берманитом. *Elliott P*. Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 1. P. 127–133.

44. Томскуориит (tomsquarryite) – NaMgAl₃(PO₄)₂(OH)₆·8H₂O Триг.с. $R\overline{3}m$ с гекс. параметрами a = 6.9865, c = 30.634 Å. Z = 3. Псевдогекс. кристаллы толщиной до 10 мкм, уплощенные по {001} и талькоподобные пластинки до нескольких мкм и толщиной до ~1 мкм. Простые формы: {001}, {100} и {110}. Бесцветный. Черта белая. Сп. совершенная по {001}. Плотн. 2.22 (выч.). Одноосный(+). Ng = c. n_o = 1.490, n_e = 1.497. Дан ИКспектр. Хим. (м.з., WDS, средн. из 8 опр.): Na₂O 5.46, K₂O 0.16, CaO 0.77, MgO 8.80, Al₂O₃ 25.30, P₂O₅ 24.60, F 8.16, H₂O 30.00, -O=F 3.44, сумма 99.81. Рентгенограмма л.): 10.24(100)(003), 5.944(34)(101), 5.643(32)(012), (интенс. 4.755(23)(104), 3.499(34)(110), 3.015(26)(021), 2.888(33)(116), 2.818(23)(024), 1.749(24)(220). Вторичный на фосфатном проявлении Томскуори (Tom's quarry) Австралия (голотип)) и в мраморном карьере Пенрайс с пенрайсеитом, эллиоттитом, ангастонитом, миниюлитом и вавеллитом. Наван по месту находки. Elliott P., Grey I.E., Mumme W.G., MacRae C.M., Kampf A.R. Europ. J. Miner. 2022. Vol. 34. P. 375-383.

45. Менгент (mengeite) – Ba(Mg,Mn²⁺)Mn³⁺₄ (PO₄)₄(OH)₄·4H₂O. Трикл.с. $P\overline{1}$. a = 5.4262, b = 5.4274, c = 16.387 Å, $\alpha = 87.61^{\circ}$, $\beta = 98.97^{\circ}$, $\gamma = 110.56^{\circ}$. Z = 1. Обособления до 0.8 мм в кварцевой матрице. Цв. оранжево-красный. Черта бледно-розовая. Бл. стекл. Хрупкий. Тв. ~3. Сп. отличная предположительно по (001). Из. неровн. Плотн. 3.40 (изм.), 3.43 и 3.35 (выч. по эмпир. и идеальной ф-лам). Двуосный(–). $n_p = 1.757$, $n_m = 1.776$, $n_g = 1.781$, $2V = 53.8^{\circ}$ (выч.). Плеохроизм: по *Nm* бледно-серый, по *Np* бледно-желтый, по *Ng* оранжевый. Дан ИК-спектр. Хим. (м.з., средн. из 8 опр.): BaO 18.32, Mn₂O₃ 33.45, MnO 2.02, MgO 2.54, CuO 0.87, Al₂O₃ 0.11, CaO 0.04, Na₂O 0.05, P₂O₅ 31.57, As₂O₅ 0.27, H₂O 11.60 (выч. по идеальной ф-ле), сумма 100.84. Рентгенограмма (интенс. л.): 16.126(100)(001), 5.016(12)(010, 100, 101), 4.418(44)(111), 3.246(14)(005, 113), 3.145(12)(014), 2.796(25)(113, 112, 115), 2.680(12)(211, 120, 121, 210). На м-нии Спринг Крик (Юж. Австралия). Назван в честь австралийского геолога Иоганна Менге (Johann Menge, 1788–1852). *Elliott P*. Canad. Miner. 2022. Vol. 60. N 5. P. 815–824.

46. Дендораит-(NH₄) [dendoraite-(NH₄)] – (NH₄)₂NaAl(C₂O₄)(PO₃OH)₂(H₂O)₂. Монокл.с. $P2_1/n. a = 10.695, b = 6.285, c = 19.227$ Å, $\beta = 90.933^{\circ}$. Z = 4. Клинообразные пластинки до 0.1 мм в длину, уплощенные по {001} и удлиненные по [010], их агрегаты. Простые формы: {100}, {001}, {310} и {10.1.0} (дан чертеж). Бецветный. Черта белая. Хрупкий. Изл. заноз. Тв. ~2.5. Плотн. 2.122 и 2.066 (выч. по эмп. и идеальной ф-лам). Легко раств. в разбавл. HCl. Двуосный(–). $Np = b. n_p = 1.490, n_m = 1.540, n_g = 1.541, 2V = 15.7^{\circ}$ (выч.). Дан рамановский спектр. Хим. (м.з., WDS, средн. из 6 опр., норм.): (NH₄)₂O 9.31, K₂O 5.95, Na₂O 7.18, Al₂O₃ 11.87, Fe₂O₃ 0.65, P₂O₅ 34.38, C₂O₃ 17.44 (по стр-ре), H₂O 13.22 (по стр-ре), сумма 100.00. Рентгенограмма (интенс. л.): 9.65(100)(002), 9.29(54)(101), 4.738(28)(12, 112), 3.455(40)(213, 213), 3.106(75)(021, 303), 2.975(28)(121, 312), 2.825(33)(023, 313). На м-нии Роули, округ Марикопа, шт. Аризона (США) с антипинитом, флюоритом, миметитом, виллемитом и вульфенитом. Название от Дендора Велли и Дендора Ранч, находящихся к западу от м-ния Роули. *Kampf A.R., Cooper M.A., Celestian A.J., Ma C., Marty J.* Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 4. P. 531–538.

47. Релиансит-(К) [relianceite-(К)] – $K_4Mg(V^{4+}O)_2(C_2O_4)(PO_3OH)_4(H_2O)_{10}$. Монокл.с. *Pc. a* = 12.404, *b* = 9.014, *c* = 13.260 Å, β = 100.803°. *Z* = 2. Призмат. кристаллы до 0.1 мм. Цв. небесно-голубой. Черта бледно-голубая. Бл. стекл. Хрупкий. Изл. заноз. Тв. 2.5. Плотн. 2.111 (выч.). Двуосный(+). *Nm* = *b.* n_p = 1.528, n_m = 1.529, n_g = 1.562, 2V = = 22°(выч.). Плеохроизм: по *Np* бесцветный, по *Nm* = *Ng* бледно-голубой. Эмп. ф-ла (м.з.) [K_{2.21}(NH₄)_{1.79}]_{24.00}Mg_{0.96}(V_{0.95}⁴⁺O)₂(C₂O₄)[P_{1.03}O_{3.03}(OH)_{0.97}]₄(H₂O)₁₀. Рентгенограмма (интенс. л., *d,I*): 12.22(100), 6.56(21), 6.28(20), 3.435(19), 3.125(23), 3.039(19), 2.893(22), 2.718(21). На м-нии Роули, шт. Аризона (США) с дендораитом-(NH₄), флюоритом, миметитом, моттрамитом, роулиитом, нашатырем, струвитом, ванадинитом, виллемитом, вульфенитом и по крайне мере еще одним новым минералом. Название от прежнего названия м-ния — Релианс (Reliance). *Kampf A.R., Cooper M.A., Celestian A.J., Ma C., Marty J.* Miner.Mag. 2022. Vol. 86. N 4. P. 539–547; https://www.mindat.org/min-55442.html

48. Торасфит (thorasphite) – Th₂H(AsO₄)₂(PO₄) 6H₂O. Ромб.с. *Pbcn. a* = 13.673, *b* = 9.925, *c* = 10.222 Å. *Z* = 4. Призмат. до игольчатых кристаллы до 0.8 × 0.002 мм, их агрегаты. Полупрозрачный. Цв. коричневато-розовый до розового. Черта белая. Бл. стекл. Хрупкий. Плотн. 4.185 (выч.). $n_{cpeдH}$ = 1.805 (выч.). Дан ИК-спектр. Хим. (м.з., WDS, средн. из 9 опр.): ThO₂ 51.35, Na₂O 0.17, K₂O 0.20, Al₂O₃ 0.35, FeO 0.90, Ce₂O₃ 0.27, As₂O₅ 19.65, P₂O₅ 12.27, SiO₂ 0.08, Cl 0.20, H₂O 13.58 (выч.), O=Cl 0.05, сумма 98.97. Рентгенограмма (интенс. л.): 8.007(100)(110), 5.127(57)(002), 4.934(71)(020, 211), 4.320(24)(112), 4.251(38)(121), 3.225(22)(130, 312), 3.189(27)(321), 2.926(27)(213). На заброшенном оловянном м-нии Элсмор, Новый Южный Уэльс (Австралия) с ярозитом в полостях кварц-мусковитовой матрицы. Назван по составу. *Elliott P.* Canad. Miner. 2022. Vol. 60. N 4. P. 719–727.

49. Арсенудинаит (arsenudinaite) – NaMg₄(AsO₄)₃. Terp.c. $I\overline{4}2d$. a = 6.8022, c = 19.1843 Å. Z = 4. Вместе с удинаитом составляет изоморфную серию со стр-рой типа джеффбенита. Агрегаты до 1 см тетр. кристаллов до 0.15 мм. Простые формы: {001} (пинакоид), {100} и {110 (призмы}. Прозрачный. Цв. бежевый, бледно-коричневатый, коричневато-желтоватый или серовато-коричневатый, самые мелкие кристаллы бесцветные. Черта белая. Бл. стекл. Хрупкий. Тв. 3.5. Изл. неровн. Плотн. 3.816 (выч.). В пр. св. бесцветный, не плеохроирует. Односный(-). $n_o = 1.777$, $n_e = 1.820$. Хим. (SEM WDS, средн. из 6 опр.): Na₂O 3.43,CaO 1.41, MgO 31.48, MnO 0.17, CuO 0.03, Fe₂O₃ 0.09, SiO₂ 0.10, P₂O₅ 1.33, V₂O₅ 14.82, As₂O₅ 46.34, SO₃ 0.14, сумма 99.34. Рентгенограмма (интенс. π .): 4.657(26)(103), 4.300(24)(112), 3.341(29)(105), 3.007(46)(211), 2.775(100)(204), 2.750(17)(213), 2.663(17)(116), 1.698(27)(400,228,325). В отложениях фумаролы Арсенатная, Второй шлаковый конус, Северный прорыв БТТИ, Камчатка (Россия) с удинаитом, ангидритом, диопсидом, гематитом, шеферитом, берцелиитом, свабитом, кальциойохиллеритом, тилазитом, резницкиитом, людвигитом, боратами гр. рабдоборита, форстеритом, магнезиоферритом, фторапатитом, плиниуситом и повеллитом. Назван по составу и за сходство с удинаитом. Pekov I.V., Koshlyakova N.N., Zubkova N.V., Belakovskiy D.I., Vigasina M.F., Agakhanov A.A., Ksenofontov D.A., Turchkova A.G., Britvin S.N., Sidorov E.G., Pushcharovsky D.Yu. Minerals. 2022. Vol. 12. N 7. paper 850. https://doi.org/10.3390/min12070850

50. Хреновит (khrenovite) – Na₃Fe₂³⁺ (AsO₄)₃ – надгр. аллюодита. Монокл.с. *C2/c. a* = 12.2394, *b* = 12.7967, *c* = 6.6589 Å, β = 112.953°. *Z* = 4. Призмат. кристаллы до 0.2 × 0.3 × × 0.8 мм, их агрегаты до 1 мм. Прозрачный. Цв. медово-желтый, красный, оранжевый или желто-коричневый. Черта желтоватая. Бл. стекл. Хрупкий. Изл. неровн. Тв. 3.5. Плотн. 4.257 (выч.). Двуосный(+). *Ng* = *b.* n_p = 1.825, n_m = 1.834, n_g = 1.845, 2V = 80° (изм.), 85° (выч.). Дисперсия сильная, r > v. Плехроизм: по *Np* желто-коричневатый, дан рамановский спектр. Хим. (м.з., WDS, средн. из 7 опр.): Na₂O 11.47, K₂O 1.23, CaO 0.18, MgO 0.01, MnO 4.10, CuO 4.27, ZnO 1.99, Al₂O₃ 0.17, Fe₂O₃ 21.12, SiO₂ 0.08, P₂O₅ 0.01, V₂O₅ 0.10, As₂O₅ 56.03, SO₃ 0.02, сумма 100.78. Рентгенограмма (интенс. л., *d,I*): 6.40(48), 5.639(48), 3.582(41), 3.198(62), 2.939(33), 2.824(60), 2.785(100), 2.612(33). В продуктах фумаролы Арсенатная, Второй шлаковый конус, Северный прорыв БТТИ, Камчатка (Россия) с сульфатами гр. афтиталита, бадаловитом, кальциойохиллеритом, никенихитом, йохиллеритом, ангидритом,

санидином, гематитом, касситеритом, ругилом и псевдобрукитом. Назван в честь русского вулканолога и геолога Анатолия Петровича Хренова (Anatoly Petrovich Khrenov, 1946– 2016). *Pekov I.V., Koshlyakova N.N., Belakovskiy D.I., Vigasina M.F., Zubkova N.V., Agachanov A.A., Britvin S.N., Sidorov E.G., Pushcharovsky D.Yu.* Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 6. p. 897–902. https://www.mindat.org/min-52882.html

51. Параберцелиит (paraberzeliite) – NaCaCaMg₂(AsO₄)₃ – надгр. аллюодита. Монокл.с. *C2/c. a* = 12.3143, *b* = 13.0679, *c* = 6.7717 Å, β = 113.657°. *Z* = 4. Грубые искаженные призмат кристаллы до 0.2 × 0.2 × 1 мм, кустообразные агрегаты до 3 × 5 мм. Прозрачный. Цв. (голотип) лиловато-коричневый, коричневато-пурпурный, светло-коричневый или красно-коричневый. Черта бледно-коричневатая до бледно-розоватой. Бл. стекл. Хрупкий. Изл. неровн. Тв. 3.5. Плотн. 3.811 (выч.). Двуосный(+). *Nm* = *b.* n_p = = 1.718, n_m = 1.728, n_g = 1.742, 2V = 85° (изм.), 81° (выч.). Плеохроизм слабый: по *Nm* серовато-фиолетовый, по *Ng* очень бледно-желтоватый, по *Np* бесцветный. Дисперсия очень сильная, *r* < *v*. Дан рамановский спектр. Хим. (м.з., WDS, средн. из 10 опр.): Na₂O 6.43, CaO 16.65, MgO 11.64, MnO 1.65, CuO 0.06, Fe₂O₃ 2.45, V₂O₅ 1.10, As₂O₅ 59.46, сумма 99.44. Рентгенограмма (интенс. л.): 3.642(25)(131), 3.606(17)(310), 3.243(29)(12),

3.096(22)(221, 002), 2.986(34)($\overline{3}$ 12, $\overline{2}$ 22), 2.888(22)(041), 2.822(100)(240, 400, 022), 2.658(29)(112, $\overline{1}$ 32). В продуктах фумаролы Арсенатная, Второй шлаковый конус Северного прорыва БТТИ, Камчатка (Россия) с ангидритом, диопсидом, гематитом, свабитом, берцелиитом, шеферитом и др. Название отражает факт диморфизма этого минерала с берцелиитом. *Pekov I.V., Koshlyakova N N., Belakovskiy D.I., Vigasina M.F., Zubkova N.V., Agakhanov A.A., Britvin S.N., Sidorov E.G., Pushcharovsky D.Yu.* Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 1. P. 103–111.

52. Ломбардоит (lombardoite) – Ba₂Mn³⁺(AsO₄)₂(OH). Монокл.с. P2₁/m. a = 7.8636, *b* = 6.13418, *c* = 9.1197 Å, β = 112.660°. *Z* = 2. Агрегаты до нескольких см субгедральных кристаллов до 0.5 мм. Полупрозрачный. Цв. темно-красно-коричневый. Черта-желтооранжевая. Бл. стекл. Тв. по аналогии с каносиоитом 6-6.5. Плотн. 5.124 (выч.). Хрупкий. Двуосный(+). *n*_{средн} = 1.86 (выч.). 2*V* = 78° (изм.). Плеохроизм: по *Np* желто-коричневый, по Nm коричневый, по Ng красновато-коричневый. Даны ИК-, рамановский спектры и оптический спектр поглощения. Хим. (м.з., WDS, средн. из 5 опр.): As₂O₅ 31.48, V₂O₅ 3.33, P₂O₅ 0.19, Mn₂O₃ 7.70, Al₂O₃ 0.50, Fe₂O₃ 1.63, MgO 0.69, ВаО 47.30, SrO 2.84, CaO 0.14, PbO 1.26, Na₂O 0.08, H₂O 1.42 (выч.), сумма 98.56. Рентгенограмма (интенс. л.): 6.985(39)(101), 3.727(33)(111), 3.314(100)(211), 3.073(24)(020), 3.036(33)(212, 103), 2.810(87)(121, 112), 2.125(20)(301, 114), 1.748(24)(321). В метакварцитах из отвалов рудника Валлета, Пьемонт (Италия) с кварцем, эгирином, баритом, кальцитом, гематитом, мусковитом, криптомеланом, браунитом и манганберцелиитом. Назван в честь итальянского геолога и петролога Бруно Ломбардо (Bruno Lombardo, 1944–2014). Cámara F., Baratelli L., Ciriotti M.E., Nestola F., Piccoli G.C., Bosi F., Bittarello E., Hålenius U., Balestra C. Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 3. P. 447-458.

53. Граулихит-(La) [graulichite-(La)] – LaFe₃³⁺(AsO₄)₂(OH)₆. Триг.с. $R\overline{3}m$. a = 7.252, c = 16.77 Å. Z = 3. Ромбоэдрические кристаллы до 0.1 мм. Цв. желтый. Черта светложелтая. Бл. смол. Хрупкий. Изл. неправ. Тв. ~3.5. Плотн. 3.907 и 3.962 (выч. для доменов 1 и 2). Плеохроизм слабый от светло-желтого до желтого. $n_{\text{средн}} = 1.889$ и 1.928 (выч. для доменов 1 и 2). Дан рамановский спектр. Хим. (м.з., EDS, средн. из 4 опр. для доменов 1 и 2): SO₃ 3.90 и 4.40, P₂O₅ 3.65 и 4.89, As₂O₅ 18.55 и 14.48, Al₂O₃ 5.63 и 3.41, Fe₂O₃ 22.52 и 28.60, La₂O₃ 7.16 и 8.59, Ce₂O₃ 4.28 и 4.87, CaO 0.79 и 0.69, CuO 2.06 и 2.15, SrO 0.97 и 1.46, PbO 1.36 и 1.62, K₂O 0.25 и 0.40, H₂O 7.22 и 8.10 (выч), сумма 78.34 и 83.66. Рентгенограмма (интенс. л.): 5.88(60)(101), 3.626(37)(110), 3.042(100)(113), 2.238(24)(107), 1.960(24)(033), 1.813(23)(220). На м-нии Патт д'Уа, рудный район Бу-

Скур (Марокко) с малахитом, агардитом-(La), конихальцитом и неопределенным редкоземельным карбонатом. Назван по составу и за сходство с граулихитом-(Ce). *Biagioni C., Ciriotti M.E., Favreau G., Mauro D., Zaccarini F.* Europ. J. Miner. 2022. Vol. 34. P. 365–374.

54. Нафеасит (nafeasite) – NaFe³⁺(AsO₃OH)₂ · H₂O. Монокл.с. *C2. a* = 18.6876, *b* = 8.6769, *c* = 14.8100 Å, β = 105.238°. *Z* = 12. Агрегаты тесно сросшихся изометричных кристаллов. Прозрачный. Цв. розовый. Черта белая. Тв. ~2.5. Плотн. 3.23. Двуосный(+). n_p = 1.679, n_m = 1.682, n_g = 1.730, 2V = 27°. Дисперсия слабая, r < v. Эмп. ф-ла для голотипа Na_{0.98}K_{0.02}Fe_{0.92}Al_{0.07}As_{2.00}O₉H_{4.01}. Рентгенограмма (интенс. л., *d*,*I*): 9.04(20), 7.23(89), 4.33(30), 3.127(100), 3.085(33), 2.809(15), 2.518(15), 1.417(16). Вторичный на м-нии Торресильяс, пров. Икике (Чили) с ангидритом, гипсом, галитом, лавендуланом, магнезиокоритнигитом и натроярозитом. Название от основных компонентов Na, Fe и As. *Kampf A.R., Schlüter J., Malcherek T., Paulenz B., Pohl D., Ma C., Dini M., Molina Donoso A.A.* Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 6. P. 883–890. https://www.mindat.org/min-55953.html

55. Альдомариноит (aldomarinoite) – $Sr_2Mn^{3+}(AsO_4)_2(OH)$. Монокл.с. $P2_1/m$. a == 7.5577, b = 5.9978, c = 8.7387 Å, $\beta = 111.938^{\circ}$. Z = 2. Агрегаты до нескольких см субгедральных кристаллов до 0.5 мм. Полупрозрачный. Цв. темно-оранжевый. Черта желто-оранжевая. Бл. стекл. Тв. по аналогии с каносиоитом 4.5-5. Хрупкий. Плотн. 4.679 (выч.). Двуосный(+). *n*_{средн} = 1.83 (выч.). 2*V* = 67°(изм.). Плеохроизм: по *Np* коричневый, по Nm коричнева-оранжевый, по Ng желтовато-коричневый. Даны ИК-, рамановский спектры и оптический спектр поглощения. Хим. (м.з., WDS, средн. из 4 onp.): As₂O₅ 40.33, V₂O₅ 1.03, P₂O₅ 0.02, Mn₂O₃ 7.30, Al₂O₃ 3.40, Fe₂O₃ 3.24, MgO 0.04, ВаО 1.04, SrO 38.18, CaO 2.25, PbO 0.38, H₂O 1.73 (выч.), сумма 98.94. Рентгенограмма (интенс. л.): $3.191(89)(21\overline{1})$, 2.997(45)(020), $2.914(47)(21\overline{2}, 10\overline{3})$, 2.715(100)(112), 2.087(39)(123), 1.833(32)(324), 1.689(36)(321), 1.664(21)(132). В метакварцитах из отвалов рудника Валлета, Пьемонт (Италия) с кварцем, эгирином, баритом, кальцитом, гематитом, мусковитом, криптомеланом, браунитом и манганберцелиитом. Назван в честь итальянского коллекционера минералов Альдо Марино (Aldo Marino, b. 1942). Cámara F., Baratelli L., Ciriotti M.E., Nestola F., Piccoli G.C., Bosi F., Bittarello E., Hålenius U., Balestra C. Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 3. P. 447-458.

56. Гарпенбергит (garpenbergite) – $Mn_6 \square As^{5+}Sb^{5+}O_{10}(OH)_2$. Ромб.с. *Ibmm. a* = 8.6790, *b* = 18.9057, *c* = 6.1066 Å. *Z* = 4. Раздробленные короткопризмат. по {010} обычно субгедральные кристаллы до 1.5 см. Полупрозрачный. Цв. черноватый до серовато-коричневого. Черта светло-коричневая. Бл. субалмаз. до жирн. Тв. ~5. Микротв. 650. Хрупкий. Изл. неровный до раков. Сп. отчетливая по {010}. Плотн. 4.47 (выч.). Раств. в 30% HCl при комн. т-ре. $n_{срелн} = 1.847$ (выч.). R_2 и R_1 на воздухе (%): 9.20 и 8.67 при 470 нм, 9.04 и 8.49 при 546, 8.96 и 8.47 при 589, 8.90 и 8.48 при 650 нм. Дан рамановский спектр. Хим. (м.з., WDS, средн. из 49 опр.): SiO₂ 0.11, Fe₂O₃ 0.71, MnO 41.93, Mn₂O₃ 3.71 (выч.), MgO 8.89, As₂O₅ 15.15, Sb₂O₅ 23.63, ZnO 3.55, H₂O 2.67, Cl 0.04, -O=Cl 0.01, сумма 100.38. Рентгенограмма (интенс. л.): 5.00(25)(101), 4.42(30)(121), 3.05(30)(002), 2.665(100)(161), 2.616(40)(301), 2.586(25)(251), 1.545(45)(462). На м-нии Гарпенберг Норра, граф. Даларна (Швеция) с карлфрэнсиситом, стибарсеном, парадокразитом и филипстадитом. Назван по месту находки. *Holtstam D., Bindi L., Förster H.-J., Karlsson A., Gatedal K*. Miner. Mag. 2022, Vol. 86. N 1. P. 1–8.

57. Голдхиллит (goldhillite) — $Cu_5Zn(AsO_4)_2(OH)_6 \cdot H_2O$. Монокл.с. $P2_1/c. a = 12.3573, b = 9.2325, c = 10.7163 Å, <math>\beta = 97.346^\circ$. Z = 4. Таблитч. кристаллы, уплощенные по {100} до 1 мм, их агрегаты (розетки) до 1.5 мм. Прозрачный. Цв. яркий изумрудно-зеленый. Бл. стекл. Хрупкий. Изл. неровн. Сп. совершенная по {100}. Тв. 3.5. Плотн. 4.199 (выч.). Дан рамановский спектр. Хим. (м.з., средн.): CuO 48.91, ZnO 13.18,

As₂O₅ 26.06, P₂O₅ 3.25, H₂O 8.97, сумма 100.37. Рентгенограмма (интенс. л., *d*, *I*): 4.09(28) (300), 3.41(23)(122, 221, 311), 2.57(100)(132, 114, 204), 2.17(18)(423, 332), 1.95(22)(432), 1.54(20)(136, 060). На м-нии Голд Хилл, шт. Юта (США) с микситом, корнваллитом и конихальцитом. Назван по месту находки. *Ismagilova R.M., Rieck B., Kampf A.R., Giester G., Zhitova E.S., Lengauer C.L., Krivovichev S.V., Zolotarev A.A., Ciesielczuk J., Mikhailova J.A., Belakovsky D.I., Bocharov V.N., Shilovskikh V.V., Vlasenko N.S., Nash B.P., Adams P.M. Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 3. P. 436–446. https://www.mindat.org/min-55547.html*

ВАНАДАТЫ, МОЛИБДАТЫ

58. Псевдодиктомссенит (pseudodickthomssenite) – Mg(VO₃)₂ · 8H₂O. Трикл.с. $P\overline{1}$. $a = 7.3566, b = 9.4672, c = 9.5529 Å, <math>\alpha = 104.205^{\circ}, \beta = 100.786^{\circ}, \gamma = 100.157^{\circ}. Z = 2.$ Агрегат игольчатых кристаллов. Цв. загара. Черта белая. Бл. шелк. Хрупкий, отчасти гибкий. Изл. осколоч. Тв. вероятно около 2. Сп. отличная по {011} и {011}. Плотн. 1.97 (изм.), 1.974 (выч.). Раств. в воде при комн. т-ре. Двуосный(+). $Ng \approx a. n_p = 1.600, n_m = 1.620, n_g = 1.715, 2V = 51.6^{\circ}$ (выч.). Хим. (м.з., WDS, средн. из 6 опр., норм.): MgO 10.86, CaO 0.11, V₂O₅ 49.65, H₂O 39.38, сумма 100.00. Рентгенограмма (интенс. л.): 8.971(100)(001, 010), 7.494(10)(011), 4.578(15)(012,021), 4.473(21)(020), 3.502(15)(200, 211), 2.979(31)(212,030, 221), 2.906(12)(122, 032, 121), 1.8633(10)(015, 025, 033, 234, 052), 1.8405(12)(243, 411). На м-нии Пиккет Соррал, Булл-Каньон, шт. Колорадо (США) с диктомссенитом, гипсом, хьюмалитом, ласалитом и требискиитом. Назван за сходство с диктомссенитом [Mg(VO₃)₂ · 7H₂O] по внешнему виду, составу, структуре и нахождению. *Катрf А.R., Hughes J.M., Ma C., Marty J.* Canad. Miner. Vol. 60. N 5. P. 797–804.

59. Удинаит (udinaite) — NaMg₄(VO₄)₃. Тетр.с. $I\overline{4}2d$. a = 6.8011, c = 19.1839 Å. Z = 4. Вместе с арсенудинаитом составляет изоморфную серию со стр-рой типа джеффбенита. Агрегаты до 1 см тетр. кристаллов до 0.5 мм. Простые формы: {001} (пинакоид), {100} и {110 (призмы}. Прозрачный. Цв. бежевый, бледно-коричневатый, коричневато-желтоватый или серовато-коричневатый, самые мелкие кристаллы бесцветные. Черта белая. Бл. стекл. Хрупкий. Тв. 3.5. Изл. неровн. Плотн. 3.613 (выч.). В пр. св. бесцветный, не плеохроирует. Односный(–). $n_o = 1.785$, $n_e = 1.830$. Дан рамановский спектр. Хим. (SEM WDS, средн. из 6 опр.): Na₂O 3.51, CaO 1.8, PbO 0.14, MgO 33.54, MnO 0.29, CuO 0.03, Fe₂O₃ 0.21, SiO₂ 0.38, P₂O₅ 4.11, V₂O₅ 30.51, As₂O₅ 24.75, SO₃ 0.22, сумма 99.49. Рентгенограмма (интенс. л.): 4.654(19)(103), 4.294(22)(112), 3.340(28)(105), 3.003(48)(211), 2.774(100)(204), 2.747(17)(213), 2.663(16)(116), 1.699(26)(400, 228, 325). B отложениях фумаролы Арсенатная, Второй шлаковый конус, Северный прорыв БТИ, Камчатка (Россия) с арсенудинаитом, ангидритом, диопсидом, гематитом, шеферитом, берцелиитом, свабитом, кальциойохиллеритом, тилазитом, резницкиитом, людвигитом, боратами гр. рабдоборита, форстеритом, магнезиоферритом, фторапатитом, плиниуситом и повеллитом. Название от вулкана Удина, находящего недалеко от места находки. Pekov I.V., Koshlyakova N.N., Zunkova N.V., Belakovskiy D.I., Vigasina M.F., Agakhanov A.A., Ksenofontov D.A., Turchkova A.G., Britvin S.N., Sidorov E.G., Pushcharovsky D.Yu. Minerals. 2022. Vol. 12. N 7. paper 850.

60. Резницкиит (reznitskyite) — CaMg(VO₄)F — гр. тилазита. Монокл.с. $C2/c. a = 6.6912, b = 8.9395, c = 7.0587 Å, <math>\beta = 113.078^{\circ}$. Z = 4. Зоны до 0.05 мм в грубых призмат. кристаллах или в неправильных зернах V- и P-содержащего тилазита, или (реже) го-могенные зерна до 0.1 мм. Бесцветный. Прозрачный или полупрозрачный. Черта белая. Бл. стекл. Изл. неровн. Плотн. 3.453 (выч.). В отр. св. серый со слабым двуотражением и отчетливой анизотропией. R_1 и R_2 на воздухе (%): 7.4 и 7.1 при 470 нм, 6.9 и 6.4 при 589, 7.1 и 6.5 при 650 нм. Дан рамановский спектр. Хим. (м.з.,

WDS, средн. из 5 опр.): MgO 20.44, CaO 26.83, P_2O_5 6.24, V_2O_5 21.09, As_2O_5 18.97, SO₃ 0.47, F 9.42, -O=F 3.97, сумма 99.49. Рентгенограмма (интенс. л.): 3.686(26)(021), 3.250(66)($\overline{1}12$, 002), 3.082(100)(200), 2.854(34)($\overline{2}02$), 2.683(33)(130), 2.631(44)(022), 2.531(25)(220), 2.344(24)(131), 1.749(25)($\overline{3}32$, $\overline{2}04$). В отложениях фумаролы Арсенатная, Северный прорыв БТТИ, Камчатка (Россия) в полиминеральных инкрустациях сублиматов с минералами свабит-фтор-апатит-плиниуситовой системы и шеферит-бериеелитовой, тизит-изокитовой, вагнерит-арсеновагнеритовой, удинаит-арсеудинаитовой серий. Назван в честь российского минералога Леонида Зиновьевича Резницкого (Leonid Zinovievich Reznitsky, b. 1938). *Koshlyakova N.N., Pekov I.V., Vigasina M.F., Zubkova N.V., Aga-khanov A.A., Britvin S.N., Sidorov E.G., Pushcharovsky D.Yu.* Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 2. P. 307–313.

61. Плиниусит (pliniusite) – Ca₅(VO₄)₃F – гр. апатита. Гекс.с. PG_3/m . a = b = 9.5777, c = 6.9659 Å. Z = 2. Кластеры или изолированые гекс. призмы до 0.05×0.3 мм. Хар-ка приводится для голотипа. Простые формы: {1010} (призма), {1011} (бипирамида), $\{0001\}$ (пинакоид), редко $\{11\overline{2}1\}$ (гекс. бипирамида). Прозрачный до полупрозрачного. Бесцветный или беловатый. Черта белая. Бл. стекл. Хрупкий. Сп. несовершенная по (100). Изл. неровн. Микротв. 511 (тв. 5). Плотн. 3.402. В пр. св. бесцветный, не плеохроирует. Одноосный(-). $n_o = 1.763$, $n_e = 1.738$. Удлинение(-). Дан рамановский спектр. Хим. (м.з., средн. из 8 опр.): Na₂O 0.33, K₂O 0.01, CaO 48.04, SrO 0.58, FeO 0.26, SiO₂ 0.94, P₂O₅ 5.63, V₂O₅ 27.04, As₂O₅ 13.26, SO₃ 1.73, F 3.46, -O=F 1.46, сумма 99.82. Рентгенограмма (интенс. л.): 3.958(27)(111), 3.488(33)(002), 2.869(100)(211). 2.823(35)(112), 2.776(58)(300), 2.674(25)(202), 1.980(19)(222), 1.871(23)(213).В фумарольных отложениях вулкана Толбачик, Камчатка (Россия) — на горе 1004 (южное фумарольно поле) (голотип) с гематитом, теноритом, диопсидом, андрадитом, кайнотропитом, баритом и гипергенными фольбортитом, брошантитом, гипсом, опалом, и в фумароле Арсенатная (Второй шлаковый конус, Северный прорыв БТТИ). Установлен в пирометаморфических породах формации Хатрурим (Израиль) (котип). Назван в честь древнеримского натуралиста, философа Плиния Старшего (Pliny the Elder, 23– 79 н.э.). Pekov I.V., Koshlyakova N.N., Zubkova N.V., Krzątala A., Belakovskiy D.I., Galuskina I.O., Galuskin E.V., Britvin S.N., Sidorov E.G., Vapnik Y., Pushcharovsky D.Yu. Amer. Miner. 2022. Vol. 107. N 8. P. 1626-1634.

62. Доноуэнсит (donowensite) – Ca(H₂O)₃Fe₂³⁺ (V₂O₇)₂. Трикл.с. $P\overline{1}$. a = 7.3452, b = 9.929, c = 10.0151 Å, $\alpha = 94.455^{\circ}$, $\beta = 98.476^{\circ}$, $\gamma = 100.779^{\circ}$. Z = 2. Игольчатые кристаллы до 1 мм с клинообразным окончанием (дан чертеж). Прозрачный. Цв. оранжевый. Черта желтая. Бл. субалмаз. Тв. 3. Хрупкий. Изл. заноз. Сп. совершенная по {001}, очень хорошая по {100} и по {010}. Плотн. 2.97 (изм.), 2.966 и 2.982 (выч. по эмп. и идеальной ф-лам). Двуосный(+). $bNp = 7^{\circ}$, $Ng = c. n_p, n_m, n_g > 1.95$, $2V = 72^{\circ}$ (изм.). $n_{cpeah} = 1.958$ (выч.). Дисперсия умеренная, r > v. Плеохроизм: по Np коричнево-оранжевый, по Nm оранжево-желтый, по Ng желтый. Хим. (м.з., WDS, средн. из 8 опр.): CaO 8.41, Fe₂O₃ 24.69, Mn₂O₃ 0.10, P₂O₅ 0.11, V₂O₅ 59.52, H₂O 8.70, сумма 101.53. Рентгенограмма (интенс. л., *d*,*I*): 9.88(100), 7.12(24), 4.176(17), 3.671(20), 3.283(44), 3.202(22), 3.110(19), 2.973(26). На ванадиевом м-нии Уилсон-Спрингс, шт. Арканзас (США) с майкговардитом на матрице из бокита и минерала гр. смектита. Назван в честь американского геолога Дона Оуэнса (Don Owens, 1937–2015). *Катрf A.R., Hughes J.M., Nash B.P., Smith J.B.* Canad. Miner. 2022. Vol. 60. N 3. P. 543–554.

63. Майкговардит (mikehowardite) – Fe_4^{3+} (VO₄)₄(H₂O)₂ H₂O. Трикл.с. $P\overline{1}$. a = 6.6546, b = 6.6689, c = 9.003 Å, $\alpha = 76.515^{\circ}$, $\beta = 84.400^{\circ}$, $\gamma = 75.058^{\circ}$. Z = 1. Изометричные кристаллы со слегка наклонным окончанием до 0.15 мм в диаметре (дан чертеж). Полупрозрачный. Цв. очень темно-коричневый, почти черный. Черта желто-оранжевая.

Бл. субалмаз. Тв. 3.5. Сп. очень хорошая по {100} и две дополнительные с неопреленным направлением. Хрупкий. Изл. неправ. и ступенч. Плотн. 3.19 (изм.), 3.200 и 3.263 (выч. по эмп. и идеальной ф-лам). $n_{\rm средн} = 2.034$ (выч.). Хим. (м.з., WDS, средн. из 10 опр.): K₂O 0.75, CaO 0.13, Fe₂O₃ 41.83, Mn₂O₃ 0.32, P₂O₅ 3.28, V₂O₅ 46.27, H₂O 7.72, сумма 100.30. Рентгенограмма (интенс. л., *d*,*I*): 8.80(86), 6.45(100), 3.693(29), 3.198(88), 2.982(50), 2.909(59), 2.792(31), 2.145(30). На ванадиевом м-нии Уилсон-Спрингс, шт. Арканзас (США) с донооуэнситом на матрице из бокита и минерала гр. смектита. Назван в честь американского геолога Джеймса Майкла (Майк) Говарда [James Michael (Mike) Howard, b. 1949]. (*Kampf A.R., Hughes J.M., Nash B.P., Smith J.B.* Canad. Miner. 2022. Vol. 60. N 3. P. 543–554.

64. Михальскиит (michalskiite) – Cu²⁺Mg₃Fe³⁺_{3,33}(VO₄)₆, Mg аналог лионсита. Ромб.с. *Ртсп. а* = 10.2356, *b* = 17.3689, *c* = 4.9406 Å. *Z* = 2. Иссштрихованные призмы и иголочки до 0.2 мм, удлиненные по [001]. Прозрачный. Цв. коричнево-красный. Черта светло-оранжевая. Бл. алмаз. Хрупкий. Сп. очень хорошая по {001}. Изл. искривл. Тв. ~3.5. Плотн. 3.848 и 3.827 (выч. по эмпир. и идеальной ф-лам). Двуосный(–). *Np* = *c*. n_p = = 2.12, n_m = 2.16, n_g = 2.17, 2V = 49° (изм.), 52.3° (выч.). Хим. (м.з., WDS, средн. из 10 опр.): ZnO 0.07, CuO 10.10, MgO 10.80. NiO 1.16, TiO₂ 1.09, Mn₂O₃ 0.49, Al₂O₃ 1.05, Fe₂O₃ 21.39, V₂O₅ 52.72, SiO₂ 0.12, сумма 98.99. Рентгенограмма (интенс. л.): 3.27(100)(221,150), 2.74(40)(241,151), 2.52(50)(331), 1.55(30)(282), 1.42(25)(063). Вторичный в отвалах открытой разработки Лихтенберг, урановый рудный район Роннебург, Тюрингия (Германия) с арканитом, эпсомитом, гематитом и сингенитом на матрице из кварца, к.п.ш. и слюды. Назван в честь немецкого коллеционера минералов Штеффена Михальски (Steffen Michalski, b. 1974). *Катрf А.R., Plášil J., Škoda R., Čejka J.* J. Geosci. 2022. Vol. 67. N 1. P. 33–40.

65. Помит (pomite) – Ca₃[V₅⁴⁺V₁₀⁵⁺O₃₇(CO₃)] · 37H₂O. Трикл.с. $P\overline{1}$. a = 12.3668, b = 12.9692, c = 22.068 Å, $\alpha = 99.038^{\circ}$, $\beta = 95.689^{\circ}$, $\gamma = 103.249^{\circ}$. Z = 2. Исштрихованные лезвиеобразные кристаллы до 1 мм в длину. Прозрачный. Цв. темно-зелено-синий. Черта зелено-синяя. Бл. стекл. Хрупкий. Тв ~2. Изл. неправ., заноз. Сп. хорошая по {010} и {001}. Плотн. 2.19 (изм.), 2.176 и 2.171 (выч. по эмп. и идеальной ф-лам). $n_{cpeдh} = 1.675$ (выч.). Хим. (м.з., WDS, средн. из 11 опр., норм): CaO 7.89, VO₂ 19.65, V₂O₅ 40.26, CO₂ 2.00, H₂O 30.20, сумма 100.00. Рентгенограмма (интенс. л.): 11.87(100)(001, 010, 100, 011), 10.62(98)(002), 10.04(30)(011), 9.06(37)(111,012, 11), 5.21(14)(023, 121), 3.921(18)(214, 024), 3.075(19)(322), 2.632(14)(307). В монтрозеит-корвусит-содержащих песчаниках с псевдопомитом и кальцитом на м-нии Блю-Стрик, Булл-Каньон, шт. Колорадо (США). Название от аббревиатуры ПОМ (РОМ), обозначающей полиоксометалаты. *Катрf A.R., Hughes J.M., Marty J., Rose T.P.* Amer. Miner. 2022. Vol. 107. N 11. P. 2143–2149.

66. Псевдопомит (pseudopomite) – $Ca_{3.5}[V_6^{4+}V_9^{5+}O_{37}(CO_3)] \cdot 32H_2O$. Трикл.с. $P\overline{1}$. a = 12.2910, b = 12.6205, c = 20.917 Å, $\alpha = 77.381^\circ$, $\beta = 85.965^\circ$, $\gamma = 64.367^\circ$. Z = 2. Исштрихованные призмы и пластинки до 1 мм длину. Прозрачный. Цв. темно-зелено-синий. Черта зелено-синяя. Бл. стекл. Хрупкий. Тв ~2. Изл. искривл. и неправ. Сп. несовершенная вероятно по {100} и {001}. Плотн. 2.40 (изм.), 2.419 (выч.). $n_{средн} = 1.736$ (выч.). Хим. (м.з., WDS, средн. из 10 опр., норм): CaO 9.42, VO₂ 23.85, V₂O₅ 39.48, CO₂ 2.12, H₂O 25.14, сумма 100.01. Рентгенограмма (интенс. л.): 10.94(100)(010, 100, 011), 10.00(73)(111), 8.86(31)(011, 111), 5.32(16)(022, 201), 4.42(11)(124), 3.074(22)(240), 2.953(19)(136), 2.890(18)(134). В монтрозеит-корвусит-содержащих песчаниках с помитом и кальцитом на м-нии Блю-Стрик, Булл-Каньон, шт. Колорадо (США). Назван за схожесть с помитом, приставка псевдо отражает факт структурного отличия от помита. *Kampf A.R., Hughes J.M., Marty J., Rose T.P.* Amer. Miner. 2022. Vol. 107. N 11. P. 2143–2149.

67. Протокейсенит (protocaseyite) – $[Al_4(OH)_6(H_2O)_{12}][V_{10}O_{28}] \cdot 8H_2O$. Трикл.с. $P\overline{1}$. $a = 9.435, b = 10.742, c = 11.205 Å, <math>\alpha = 75.395^\circ$, $\beta = 71.057^\circ$, $\gamma = 81.286^\circ$. Z = 1. Тонкие пластинки до 0.2 мм в длину, уплощенные по {111}, удлиненные по $[10\overline{1}]$, их субпараллельные срастания. Простые формы: {111}, {010}, { $\overline{1}11}$, { $11\overline{1}$ }, { $11\overline{2}1$ } (дан чертеж). Цв. шафранно-желтый. Черта бледно-оранжевая. Бл. стекл. Хрупкий. Изл. искривл. Тв. 2. Сп. очень хорошая вероятно по {111} и по {010}. Плотн. 2.45 (изм.), 2.448 (выч.). Легко раств. в разбавленной HCl. Двуосный (знак не опр). $n_p = 1.755, n_m < 1.80, n_g > 1.80$. Плеохроизм: по Np и Nm желтый, по Ng оранжевый. Хим. (м.з., WDS, средн. из 7 опр., норм.): MgO 0.28, CaO 0.08, Al₂O₃ 12.98, V₂O₅ 59.51, H₂O 27.15, сумма 100.00. Рентгенограмма (интенс. л.): 10.38(100)(010), 8.89(37)(100), 8.15(13)(011, 101), 7.24(38)(111), 5.922(17)(\overline{1}11), 2.177(11)(4\overline{1}2), 2.083(13)(025, 135, 235), 1.7851(11)(5\overline{1}2, 5\overline{1}1, 136). На руднике Бурро, округ Слик-Рок, шт. Колорадо (США) с аммониоциппеитом, гипсом, поститом и потенциально новым ванадатом Al. Назван за сходство с кейсеиитом. *Kampf A.R., Cooper M.A., Hughes J.M., Ma C., Casey W.H., Hawthorne F.C., Marty J.* Amer. Miner. 2022. Vol. 107. N 6. P. 1181–1189.

68. Медведевит (medvedevite) – КМп²⁺V₂⁵⁺O₆Cl · 2H₂O. Монокл.с. *P*2₁/*c. a* = 7.1863, b = 10.1147, c = 12.7252 Å, $\beta = 106.243^{\circ}$. Z = 4. Хорошо оформленные призмат. или игольчатые кристаллы до 0.15 мм. Прозрачный. Цв. ярко-красный. Черта красная. Бл. стекл. Сп. совершенная по {010}. Плотн. 2.69 (выч.). Двуосный(+). Nm = b. n_p = 1.782, $n_m = 1.786, n_g = 1.792, 2V = 41^{\circ}$ (выч.). Плеохроизм слабый: по Ng – темно-красный, по Np – ярко-красный. Даны FTIR- и рамановский спектры. Хим. (м.з., средн.): Na2O 0.26, SiO2 0.60, SO3 1.22, K2O 13.48, V2O5 49.15, MnO 19.06, CI 9.52, H2O 10.16 (выч. по эмп. ф-ле), -O=Cl 2.15, сумма 101.30. Рентгенограмма (интенс. л.): 7.79(100)(011), 5.70(11)(110), 4.75(14)(112), 3.89(29)(022), 3.25(53)(031, 023), 2.958(79)(211, 213), $2.850(33)(220, 22\overline{2})$. В продуктах фумаролы Толудского лавого поля, образовавшегося во время Толбачинского трещинного извержения 2012–2013 гг., Камчатка (Россия) с тенардитом, афтиталитом, леонитом, кизеритом, эугстеритом и сингенитом. Назван в честь русского геолога и химика Роберта Александровича Медведева (Robert Alexandrovich Medvedev, 1939–2005). Shablinskii A.P., Avdontseva M.S., Vergasova L.P., Filatov S.V., Avdontseva E.Yu., Povolotskiy A.V., Moskaleva S.V., Kargopoltsev A.A., Britvin S.N., Shorets O.U. Miner. Mag. Vol. 86. N 3. P. 478-485.

69. Кингсгейтит (kingsgateite) – $ZrMo_2^{6+}O_7(OH)_2 \cdot 2H_2O$. Тетр.с. $I4_1cd$. a = 11.462, c = 12.584 Å. Z = 8. Квадратные таблитч. кристаллы до 0.12 мм. Цв. желтовато-зеленый до голубовато-серого. Черта белая. Бл. стекл. Изл. неровн. Плотн. 3.74 (выч.). Двуосный(+). $n_p = 1.88$, $n_m = 1.89$, $n_g = 1.96$, $2V = 42.6^{\circ}$ (выч.). Плеохроизм: по Np светлооранжевый, по Nm светло-желтый, по Ng красно-коричневый. Хим. (м.з., средн.): ZrO₂ 23.09, UO₂ 1.14, ThO₂ 0.76, FeO 0.62, MoO₃ 59.27, P₂O₅ 0.29, SO₃ 1.25, Cl 0.16, H₂O 11.62, -O=Cl 0.04, сумма 98.16. Рентгенограмма (интенс. л., d,I): 5.734(52), 4.227(52), 3.626(44), 3.134(100), 2.606(19), 2.481(17), 1.911(25), 1.810(18). В полостях кварц-мусковитовой матрицы на м-нии Олд 25 Пайп, Кингсгейт, Новый Южный Уэльс (Австралия) с молибденитом, джелозаитом и мамбертиитом. Назван по месту находки. *Elliott P., Kampf A.R.* Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 3. P. 486–491. https://www.mindat.org/min-53887.html

СУЛЬФАТЫ, СУЛЬФИТЫ, СЕЛЕНАТЫ, ТУЛЛУРАТЫ, ТУЛЛУРИТЫ

70. Лаураниит (lauraniite) – Cu₆Cd₂(SO₄)₂(OH)₁₂ · 5H₂O. Монокл.с. $P2_1/c. a = 7.3200$, b = 25.424, c = 11.283 Å, $\beta = 91.62^{\circ}$. Z = 4. Пластинч. кристаллы до 110 мкм, уплощенные по {100}. Прозрачный. Цв. бледно-голубой. Черта белая. Бл. стекл. Сп. совершенная по {100}. Изл. неправ. Плотн. 3.40 (выч.). Двуосный(+). $n_p = 1.637, n_m = 1.638, n_g = 1.679, 2V = 20^{\circ}$ (изм.), 18.1° (выч.). Дан FTIR-спектр. Хим. (м.з., WDS, средн. из 11 опр.): CuO 45.20, ZnO 1.82, CdO 19.28, SO₄ 14.58, Cl 0.18, H₂O 18.52 (выч.), -O=Cl 0.04, сумма 99.54 (в оригинале 99.48). Рентгенограмма (интенс. л.): 7.34(100)(100), 7.04(35)(110), 3.626(52)(210), 2.819(25)(172, 004,172), 2.774(34)(082), 2.648(30)(104, 114), 2.581(37)(182), 2.255(24)(214). На м-нии Лаурани, деп. Ла-Пас (Боливия) со серпьеритом и брошантитом на матрице из теннантита и халькозина. Назван по месту находки. *Elliott P., Kampf A.R.* Canad. Miner. 2022. Vol. 60. N 5. P. 825–836.

71. Бриджесит-(Се) [bridgesite-(Се)] – CaCe₂Cu₆(SO₄)₄(OH)₁₂ · 8H₂O. Монокл. с. *C2/m. a* = 24.801, *b* = 6.3520, *c* = 11.245 Å, β = 114.51°. *Z* = 2. Пучки и скопления игольчатых кристаллов до 200 × 20 × 2 мкм. Цв. небесно-голубой. Плотн. 2.847 (выч.). Двуосный(–). *n_p* = 1.526, *n_m* = 1.564, *n_g* = 1.572, 2*V* = 53.0° (изм.), 48.3° (выч.). Хим. (м.з., средн. из 16 опр.): SiO₂ 0.21, Al₂O₃ 0.23, P₂O₅ 0.10, SO₃ 21.83, CaO 3.28, CuO 32.36, La₂O₅ 2.92, Ce₂O₃ 8.66, Y₂O₃ 0.59, Pr₂O₃ 1.27, Nd₂O₃ 6.11, Sm₂O₃ 1.48, Gd₂O₃ 1.18, Dy₂O₃ 0.30, H₂O 17.28 (выч.), сумма 97.80. Рентгенограмма (интенс. л.): 11.300(100)(200), 6.391(15)(201), 4.858(5)(310), 3.194(6)(402), 2.770(8)(420). Гипергенный на м-нии Тайнботтом, граф. Камбрия (Великобритания) с брошантитом, малахитом, серпьеритом, девиллином, гипсом, арагонитом, ярозитом, пиритом, лантанитом-(Се) и неидентифицированными гидроокислами железа. Назван в честь английского химика, геологалюбителя Тревора Бриджеса (Trevor Bridges, 1935–2015). *Rumsey M.S., Hawthorne F.C., Spratt J., Najorka J., Montgomery W.* Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 4. P. 570–576.

72. Флэггит (flaggite) – Pb₄Cu₄²⁺Te₂⁶⁺(SO₄)₂O₁₁(OH)₂(H₂O). Трикл.с. *P*1. *a* = 9.5610, *b* = 9.9755, *c* = 10.4449 Å, α = 74.884°, β = 89.994°, γ = 78.219°. *Z* = 2. Таблитч. кристаллы до 0.5 мм. Цв. зеленый (лайм) до желто-зеленого. Черта очень бледно-зеленая. Бл. алмаз. Хрупкий. Изл. неправ. Тв. ~3. Сп. отличная по {010}. Плотн. 6.137 (выч.). Двуосный(+). *n_p* = 1.95, *n_m* = 1.96, *n_g* = 2.00, 2*V* = 54°. Плеохроизм: по *Np* зеленый, по *Nm* светло-желто-зеленый, по *Ng* почти бесцветный. Дан рамановский спектр. Эмп. ф-ла Pb_{3.88}Cu_{3.89}²⁺Te_{2.08}⁶⁺(SO₄)₂O₁₁(OH)₂(H₂O). Рентгенограмма (интенс. л., *d*,*I*): 9.41(65), 4.59(93), 4.34(49), 3.519(53), 3.070(99), 3.023(87), 2.724(100), 2.167(41). На м-нии Гранд Сентрал, Мумстоун, шт. Аризона (США) с алунитом, ярозитом и родалкиларитом. Назван в честь американского горного инженера Артура Леонарда Флэгга (Arthur

Leonard Flagg, 1883–1961). *Kampf A.R., Mills S.J., Celestian A.J., Ma C., Yang H., Thorne B.* Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 3. P. 397–404. https://doi.org/10.1180/mgm.2022.37

73. Ченоветит (chenowethite) – $Mg(H_2O)_6[(UO_2)_2(SO_4)_2(OH)_2] \cdot 5H_2O$. Ромб.с. *Стаст.* a = 6.951, b = 19.053, c = 16.372 Å. Z = 4. Неправильные образования и субпараллельные группы длинных до 0.5 мм тонких пластинок, уплощенных по [010] и удлиненных по [100]. Простые формы: {010}, {001} и {101} (дан чертеж). Цв. бледно-зелено-желтый. Черта белая. Бл. стекл. до шелк. Хрупкий. Изл. заноз. и ступенч. Сп. по {010} совершенная, по {001} хорошая. Тв. ~2. Плотн. 3.05 (изм.), 3.045 (выч.). Легко раств. в воде при комн. т-ре. Двуосный(–). Np = b, Nm = a, Ng = c. $n_p = 1.530$, $n_m = 1.553$, $n_g = 1.565$, $2V = 72^{\circ}$ (изм.), 70.7° (выч.). Дисперсия слабая, r > v. Дан рамановский спектр. Хим. (м.з., WDS, средн. из 8 опр.): (NH₄)₂O 0.60, MgO 2.96, FeO 0.67, CoO 0.35, NiO 0.29, SO₃ 16.61, UO₃ 59.33, H₂O 22.03 (выч. по стр-ре), сумма 102.84. Рентгенограмма (интенс. л.): 9.54(100)(020), 6.07(80)(111), 4.712(54)(040, 023, 130), 4.535(34)(041, 131),

3.762(29)(024), 3.476(41)(200, 114), 3.259(28)(220), 2.928(27)(115), 2.650(32)(204). В выцветах на стенках туннелей рудников Блю Лизард, Грин Лизард и Маркей, Красный Каньон, шт. Юта (США). Назван в честь американского геолога Уильяма Ченовета (William Chenoweth, 1928–2018). *Kampf A.R., Plášil J., Olds T.A., Ma C., Marty J.* Minerals. 2022. Vol. 12. N 12. paper 1594.

74. Гуржиит (gurzhiite) – Al(UO₂)(SO₄)₂F · 10H₂O. Трикл.с. *P*1. *a* = 7.193, *b* = 11.760, c = 11.792 Å, $\alpha = 67.20^{\circ}$, $\beta = 107.76^{\circ}$, $\gamma = 89.99^{\circ}$. Z = 2. Прожилки до 50 см тонкозернистых агрегатов клинообразных кристаллов до 0.1 мм, уплощенных по {001}. Прозрачный. Цв. бледно-желтый в кристаллах, лимонно-желтый в агрегатах. Черта белая. Бл. стекл. Хрупкий. Изл. неправ. Сп. хорошая по {001}. Тв. ~2. Плотн. 2.52 (изм.), 2.605 (выч.). Флюоресцирует в ДУФ и КУФ в ярко-желто-зеленых цветах. В пр. св. бесцветный. Двуосный(-). $n_p = 1.528$, $n_m = 1.538$, $n_g = 1.544$, $2V = 80^{\circ}$ (изм.), 75.1° (выч.). Даны ИК- и рамановский спектры. Хим. (м.з., WDS, средн. из 9 опр.): Na₂O 0.12, ZnO 0.63, Al₂O₃ 6.93, Fe₂O₃ 0.37, SO₃ 23.76, UO₃ 40.35, F 2.79, H₂O 27.14 (выч.), -O=F 1.17, сумма 100.92. Рентгенограмма (интенс. л.): 10.24(100)(001), 5.40(14)(11), 5.11(54)(002), 3.405(11)(211), 3.065(11)(113). На Белогорском урановом м-нии, Сев. Кавказ (Россия) с хадемитом, кварцем, неидентифицированным фторидом Аl. Назван в честь русского минералога и кристаллографа Владислава Владимировича Гуржия (Vladislav Vladimirovich Gurzhii, b. 1985). Kasatkin A.V., Plášil J., Chukanov N.V., Škoda R., Nestola F., Agakhanov A.A., Belakovskiy D.I. Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 3. P. 412-421. https://doi.org/10.1180/mgm.2022.34

75. Нитчеит (nitscheite) – $(NH_4)_2[(UO_2)_2(SO_4)_3(H_2O_2)_2] \cdot 3H_2O$. Монокл.с. $P2_1/n$. a == 17.3982, b = 12.8552, c = 17.4054 Å, β = 96.649°. Z = 8. Призмат. кристаллы до 0.3 мм, удлиненные по[101], их субпараллельные и дивергентные срастания. Простые формы: $\{100\}, \{001\}, \{010\}$ и $\{11\overline{1}\}$ (дан чертеж). Прозрачный. Цв. желтый. Черта очень бледножелтая. Бл. стекл. Флюоресценция в ярко-зеленых тонах (при 405 нм). Тв. ~2. Хрупкий. Изл. искривл. Сп. хорошая по {010}. Плотн. 3.30 (изм.), 3.278 (выч.). Легко раств. в воде при комн. т-ре. Двуосный(-). Np = b, $Ng \approx [101]$. $n_p = 1.560$, $n_m = 1.582$, $n_e = 1.583$, $2V = 17^{\circ}$ (изм.), 23.8° (выч.). Плеохроизм: по Np бесцветный, по Nm и Ng желтый. Дан рамановский спектр. Хим. (м.з., WDS, средн. из 5 опр.): (NH₄)₂O 5.42, UO₃ 59.75, SO₃ 25.12, H₂O 9.41 (выч. по стр-ре), сумма 99.70 Рентгенограмма (интенс. л.): $(6.45(100)(\overline{2}02, 020), 5.69(30)(\overline{1}03), 5.24(28)(301, 022), 4.275(33)(222, \overline{1}23), 4.081(38)(123, 020))$ 402), 3.214(40)(040, 422), 2.816(52)(305, 325), 2.591(30)(325, 044). На м-нии Грин Лизард, шт. Юта (США) с чинлеитом-(Ү), гипсом, пиритом и Со-содержащим ритвельдитом. Назван в честь немецко-американского химика Эйно Нитче (Heino Nitsche, 1949-2014). Kampf A.R., Olds T.A., Plášil J., Nash B.P., Marty J. Amer. Miner. 2022. Vol. 107. N 6. P. 1174-1180.

76. Сеникит (scenicite) – $[(UO_2)(H_2O)_2(SO_4)]_2 \cdot 3H_2O$. Ромб.с. *Pca2*₁. *a* = 21.2144, *b* = = 6.8188, *c* = 11.2554 Å. *Z* = 4. Клинообразные или призмат кристаллы до 0.1 мм. Прозрачный. Цв. светло-желто-зеленый. Черта белая. Хрупкий. Изл. неправ., искривл. Тв. ~2. Сп. отличная по {100} и хорошая по {001}. Плотн. 3.497 (выч.). Флюоресцирует в зеленовато-белых тонах. Двуосный(–). *Np* = *c*, *Nm* = *a*, *Ng* = *b*. *n_p* = 1.556, *n_m* = 1.573, *n_g* = 1.576, 2*V* = 45°. Дисперсия сильная, *r* < *v*. Дан рамановский спектр. Эмп. ф-ла U_{1.996}S_{2.005}O₁₉H_{13.997}. Рентгенограмма (интенс. л.): 7.69(70)(201), 5.63(100)(111), 4.92(84)(202,310), 4.80(93)(401), 3.398(55)(020,120,511,601). Вторичный на зернистой кварцевой матрице на м-нии Грин Лизард, рудники Маркей и Сеник (Scenic), район Белый каньон, шт. Юта (США) с делиенситом, гипсом, натроциппеитом, ритвельдитом и шамвейитом. Назван по месту находки. *Каmpf А.R., Plášil J., Olds T.A., Ma C., Marty J.* Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 5. P. 743–748. **77.** Фрэнксаусаит (franksousaite) – PbCu(Se⁶⁺O₄(OH))₂ – Se⁶⁺ аналог линарита. Монокл.с. $P2_1/m$. a = 9.8208, b = 5.7340, c = 4.74980 Å, $\beta = 102.683^{\circ}$. Z = 2. Призмат. кристаллы до 0.05 × 0.02 × 0.02 мм. Прозрачный. Цв. голубой. Черта бледно-голубая. Бл. стекл. Хрупкий. Тв. 2–2.5. По аналогии с линаритом сп. совершенная по {100}. Плотн. 5.64 (выч.). $n_{средн} = 1.88$ (выч.). Дан рамановский спектр. Хим. (м.з., WDS, средн. из 5 опр.): PbO 51.17, CuO 17.42, SeO₄ 23.82, SO₃ 2.98, H₂O 4.04, сумма 99.43. Рентгенограмма (интенс. л.): 9.548(22)(100), 4.917(24)(110), 4.578(35)(101), 3.602(60)(011), 3.193(100)(300), 3.150(50)($\overline{2}11$). На м-нии Эль Драгон, деп. Потоси (Боливия) с Со-содержащим крутаит-пенрозеитом, халькоменитом, олзахеритом, фосгенитом, англезитом, и церусситом. Назван в честь американского ученого Френсиса (Фрэнка) Сауса [Francis (Frank) Sousa, b. 1951]. *Yang H., McGlasson J.A., Gibbs R.B., Downs R.T.* Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 5. P. 792–798.

78. Маттиасвайлит (matthiasweilite) – PbTe⁴⁺O₃. Трикл.с. $P\overline{1}$. a = 7.0256, b = 10.6345, c = 11.9956 Å, $\alpha = 78.513^{\circ}$, $\beta = 83.104^{\circ}$, $\gamma = 84.083^{\circ}$. Z = 10. Агрегаты кристаллов до 0.35 мм. Цв. светло-желтый. Черта белая. Бл. алмаз. Хрупкий. Изл. раков. Тв. 2.5. Плотн. 7.282 и 7.313 (выч. по эмпир. и идеальной ф-лам). Медленно раств. в разбавленной HCl при комнатной т-ре. n_{средн} = 2.18 (выч.). Дан рамановский спектр. Хим. (м.з., WDS, средн. из 3 опр.): РbO 56.77, TeO₂ 41.28, сумма 98.05. Рентгенограмма (интенс. л.): 3.270(77)(123), $3.146(100)(0\overline{3}1)$, 3.010(28)(220), $2.815(33)(\overline{1}32),$ $2.564(18)(1\overline{1}4)$, $1.9523(31)(\overline{134}),$ 1.7843(18)(343). На м-нии Деламар, округ Линкольн, шт. Невада (США) с аданитом, чолоалитом, норстаритом и другими оксисолями в кварц-содежащей матрице. Назван в честь немецкого химика Маттиаса Вайла (Matthias Weil, b. 1970). Kampf A.R., Missen O.P., Mills S.J., Ma C., Housley R.M., Chorazewicz M., Marty J., Coolbaugh M., Momma K. Canad. Miner. 2022. Vol. 60. N 5. P. 805-814.

79. Амгаит (amgaite) – $Tl_2^{3+}Te^{6+}O_6$. Триг.с. *Р*321. *a* = 9.0600, *c* = 4.9913 Å. *Z* = 3. Криптозернистые, иногда гроздевидные агрегаты до 0.05 мм. Непрозрачный. Цв. темнокрасновато-коричневый до черного. Черта черная. Бл. субметал. Хрупкий. Изл. раков. Тв. 1.5–2. Плотн. 8.358 (выч.). Раств в азотной кислоте. Одноосный. Двупреломление очень высокое. n_{cpedH} = 1.78. В отр. св. серый с голубоватым оттенком. Анизотропия слабая. Внутренние рефлексы редкие, коричневато-красные. R_{max} и R_{min} на воздухе (%): 14.2 и 13.5 при 470 нм, 13.2 и 12.7 при 546, 12.7 и 12.3 при 589, 12.3 и 11.7 при 650 нм. Дан рамановский спектр. Хим. (м.з., WDS, средн. из 7 опр.): MgO 0.43, CaO 1.62, Mn₂O₃ 0.25, Fe₂O₃ 0.16, Tl₂O₃ 66.27, Sb₂O₃ 3.48, TeO₃ 27.31, сумма 99.52. Рентгенограмма (интенс. л.): 3.352(100)(111), 3.063(15)(201), 2.619(49)(300), 2.065(18)(221), 1.804(28)(302). На золоторудном м-нии Хохойское, Якутия (Россия) с авиценнитом, карбонатами и антимонатами Tl. Название от р. Амга, в бассейне которой находится м-ние. *Kasatkin A.V., Anisimova G.S., Nestola F., Plášil J., Seikora J., Škoda R., Sokolov E.P., Kondratieva L.A., Kardashevskaia V.N.* Minerals. 2022. Vol. 12. N 9. рарег 1064. https://doi.org/10.3390/ min12091064

80. Томиоллоит (tomiolloite) – $Al_{12}(Te^{4+}O_3)_5[(SO_3)_{0.5}(SO_4)_{0.5}](OH)_{24}$. Гекс.с. $P6_3/m$. a = 13.3360, c = 11.604 Å. Z = 2. Почти сферические агрегаты очень тонких иголочек, растущих от однородного ядра. Размер одной "сферы" до 100 мкм, иголочек до 1 × 50 мкм, микрокристаллов ядра до 5 мкм. Белый, черта белая. Бл. перл. Тв. предположительно <3. Хрупкий. Изл. неров. Плотн. 3.374 (выч.). Одноосный(–). $n_o = 1.79, n_e = 1.71$ вычислены по $n_{средн} = 1.762$ (изм.). Плеохроизм слабый: по *No* серовато-голубой, по *Ne* коричневато-желтый. Приведен ИК-спектр. Хим. (м.з., WDS, средн. из 5 опр.): Al_2O_3 29.69, SiO₂ 0.08, SO₂ 1.71, SO₃ 2.14, CI 0.22, Fe₂O₃ 1.36, ZnO 0.17, TeO₂ 43.65, TeO₃ 9.78, PbO 0.28, H₂O 10.29, -O=CI 0.05, сумма 99.32. Рентгенограмма (интенс. л.): 11.667(89)(100), 8.240(38)(101), 4.107(29)(202, 211, 121), 3.223(100)(203, 302, 130), 2.905(37)(213, 123, 222, 400). На руднике Бамболла теллурового комплекса Моктесума, Сонора (Мексика) с кварцем и теллуритом. Название от слова "томиолло" языка науатль, означающего пушистый, ворсистый и отражающего внешний вид образований минерала. *Missen O.P., Mills S.J., Rumsey M.S., Spratt J., Najorka J., Kampf A.R., Thorne B.* Amer. Miner. 2022. Vol. 107. N 12. P. 2167–2175.

КАРБОНАТЫ

81. Парамаркейит (paramarkeyite) – Ca₂(UO₂)(CO₃)₃ · 5H₂O. Монокл.с. $P2_1/n. a = 17.9507$, b = 18.1030, c = 18.3688 Å, $\beta = 108.029^{\circ}$. Z = 16. Таблитч. исштрихованные по [010] и [001] кристаллы до 0.11 мм, уплощенные по {100}, обычно параллельно сросшиеся. Простые формы: {100}, {001}, {001}, {110}, {101}, {101} и {011} (дан чертеж). Прозрачный. Цв. зелено-желтый. Черта белая. Бл. стекл. Очень хрупкий. Изл. неправ, искривл. Тв. 2.5. Сп. отличная по {100} и возможно две хорошие по {010} и {001}. Плотн. 2.91 (изм.), 2.905 (выч.). Мгновенно раств. со вскипанием в разбавл. HCl. Двуосный(–). Nm = b. $n_p = 1.550, n_m = 1.556, n_g = 1.558, 2V = 60^{\circ}$ (изм.), 59.8° (выч.). Дан рамановский спектр. Хим. (м.з., WDS, средн. из 10 опр.): Na₂O 1.05, CaO 17.06, SrO 0.46, UO₃ 47.44, CO₂ 21.90 (выч.), H₂O 15.05 (выч.), сумма 102.96. Рентгенограмма (интенс. л. *d.J*): 8.54(100), 6.31(91), 5.66(45), 5.52(46), 4.759(45), 4.371(97), 3.544(41), 2.858(38). На м-нии Маркей, Сан Хуан, шт. Юта (США) с андерсонитом, кальцитом, гипсом и натромаркейитом. Назван за сходство с маркейитом. *Катрf А.R., Olds T.A., Plášil J., Burns P.C., Škoda R., Marty J.* Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 1. P. 27–36. https://www.mindat.org/min-55538.html

СИЛИКАТЫ

82. Эльгоресиит (elgoresyite) – $(Mg_5Si_2)O_9$. Монокл.с. *C2/m. a* = 9.3946, *b* = 2.7640, *c* = 11.0804 Å, β = 94.233°. *Z* = 2. Субгедральные кристаллы до нескольких мкм. Цвет, блеск, твердость, плотность и оптические свойства не определены из-за малого размера зерна.

Плотн. 4.315 (выч.). $n_{\text{средн}} = 1.95$. Эмп. ф-ла (Mg_{3.38}Si_{1.95}Fe²⁺_{1.60}Al_{0.05}Na_{0.03}Ca_{0.02})_{$\Sigma = 7.03$}O₉. Найден в метеорите Суйчжоу (Suizhou) L6, пров. Хубэй (Китай) с рингвудитом и стеклом состава MgSiO₃. Назван в честь немецкого минералога Ахмеда Эль Гореси (Ahmed El Goresy, 1935–2019) из Гайдельберга. *Bindi L., Sinmyo R., Bykova E., Ovsyannikov S.V., McCammon C., Kupenko I., Ismailova L., Dubrovinsky L., Xie X.* ACS Earth and Space Chemistry. 2021. Vol. 5. N. 8. P. 2124–2130.

83. Беннешерит (bennesherite) – $Ba_2Fe^{2+}Si_2O_7$ – гр. мелилита. Тетр.с. $P\overline{4}2_1m$. a = 8.2334, c = 5.2854 Å. Z = 2. Кристаллы до 80 мкм. Прозрачный. Цв. светло-желтый до лимонно-желтого. Черта белая. Бл. стекл. Хрупкий. Микротв. 540 (тв. 5). Изл. раков. Сп. хорошая по (001). Плотн. 4.39 (выч.). Одноосный(–). $n_o = 1.711$, $n_e = 1.708$. Хим. (м.з., WDS, средн. из 11 опр.): SiO₂ 25.10, Fe₂O₃ 0.07, Al₂O₃ 0.55, BaO 55.23, SrO 0.93, ZnO 0.26, FeO 12.21, MnO 0.28, CaO 2.95, MgO 0.74, K₂O 0.16, Na₂O 0.17, сумма 98.66. Рентгенограмма (интенс. л., d,I): 3.913(15), 3.682(13), 3.248(39), 3.021(100), 2.604(21), 2.147(22), 1.868(15), 1.855(18). В окрестностях горы Бен Нешер в ранкинитовых паралавах пирометаморфического комплекса Хатрурим, пустыня Негев (Израиль) с гуримитом, уолстромитом, гексацельзианом или цельзианом, задовитом и баритом. Назван по месту находки. *Krzątala A., Krüger B., Galuskina I., Vapnik Y., Galuskin E*. Amer. Miner. 2022. Vol. 107. N 1. P. 138–146. https://www.mindat.org/min-54030.html

84. Цоизит-(Pb) [zoisite-(Pb)] — CaPbAl₃(SiO₄)(Si₂O₇)O(OH). Ромб.с. *Рпта. a* = 16.3978, b = 5.5953, c = 10.1953 Å. *Z* = 2. Прозрачный. Субгедральные призмы, удлиненные по [010] до 0.3 мм. Цв. бледно-розовый. Черта белая. Хрупкий. Тв. предполо-

жительно 6–7. Сп. совершенная по {010}. Плотн. 4.13 (выч.). Двуосный(+). $n_{средн} = 1.752$ (выч.). $2V > 60^{\circ}$. Плеохроизм от бесцветного до бледно-розового. Дан рамановский спектр. Хим. (м.з., WDS, средн. из 10 опр.): SiO₂ 30.11, Al₂O₃ 24.57, Fe₂O₃ 1.32, CaO 10.25, Mn₂O₃ 0.50, MnO 0.14, BaO 0.05, PbO 32.23, Na₂O 0.07, H₂O 1.50 (выч.), сумма 100.74. Рентгенограмма (интенс. л.): 8.658(100)(101), 8.199(38)(200), 4.905(40)(011), 4.209(35)(211), 3.672(57)(112), 3.651(52)(311), 3.102(32)(312), 2.904(89)(013), 2.758(53)(502), 2.726(67)(511). На м-нии Якобсберг, Вермланд (Швеция) с кальцитом, цельзианом, диопсидом, гроссуляром, ханкокитом, гиалофаном, сам. свинцом, флогопитом и везувианом. Назван по составу и за сходство с цоизитом. *Perchiazzi N., Mauro D., Vignola P., Zaccarini F, Eldjarn K*. Minerals. 2022. Vol. 12. N 1. paper 51.

85. Бортоланит (bortolanite) – Ca₂(Ca_{1.5}Zr_{0.5})Na(NaCa)Ti(Si₂O₇)₂(FO)F₂ – гр. ринкита. Трикл.с. *P*1. *a* = 9.615, *b* = 5.725, *c* = 7.316 Å, α = 89.91°, β = 101.14°, γ = 100.91°. *Z* = 1. Удлиненные агрегаты до 1.5 мм призмат. пойкилитовых кристаллов. Цв. бледно-желтый до коричневого. Черта бледно-желтая до бежевой. Бл. стекл. Хрупкий. Изл. неровн. Тв. 5. Сп. совершенная по {100}. Флюоресценция в УФ (при λ 100–280 мкм) в слабо-желтых тонах. Плотн. 3.195 (выч.). Двуосный(+). *n_p* = 1.673, *n_m* = 1.677, *n_g* = = 1.690, 2*V* = 56° (изм.), 58.4° (выч.). Хим. (м.з., средн. из 10 опр.): Nb₂O₅ 1.07, HfO₂ 0.20, ZrO₂ 6.70, TiO₂ 9.94, SiO₂ 32.49, Gd₂O₃ 0.12, Nd₂O₃ 0.37, Ce₂O₃ 1.25, La₂O₃ 0.65, Y₂O₃ 0.31, FeO 0.59, MnO 1.46, CaO 31.15, Na₂O 8.36, F 6.95, -O=F 2.93, сумма 98.68. Рентгенограмма (интенс. л.): 3.086(61)(300), 2.2975(100)(012), 2.639(30)($\overline{212}$), 2.510(24)(310), 1.908(31)($\overline{412}$), 1.829(26)($\overline{104}$). В карьере Бортолан, массив Посос-де-Калдас, шт. Минас-Жерайс (Бразилия) с гетценитом, нефелином, щелочным п.ш., эгирином, натролитом, анальцимом и марганцевым пектолитом. Назван по месту находки. *Day M.C., Sokolova E., Hawthorne F.C., Horváth L., Pfenninger-Horváth E.* Miner. Mag. 2022. Vol. 60. N 4. P. 699–712.

86. Козловскиит (kozłowskiite) – Ca₄(Fe²⁺Sn₃)(Si₂O₇)₂(Si₂O₆OH)₂. Трикл.с. *Cl. a* = 10.0183, *b* = 8.3861, *c* = 13.3395 Å, α = 89.956°, β = 109.039°, γ = 89.979°. *Z* = 2. Участок в ядре зонального силезияит-кристиансенитового кристалла. Бледно-коричневатый. Плотн. 3.775 (выч.). *n*_{средн} ~ 1.727. Хим. (м.з., средн.): SiO₂ 39.46, ZrO₂ 0.35, SnO 31.13, Al₂O₃ 0.35, Sc₂O₃ 2.65, Fe₂O₃ 2.26, FeO 2.52, MnO 0.71, CaO 18.42, H₂O 1.48 (выч.) сумма 99.33. Рентгенограмма (интенс. л., *d*,*I*): 5.190(73.2) (111), 4.569(30.0)(202), 3.906(19), 3.153(65.7)(004), 3.094(28.1)(311, 311), 3.089(100)(222, 222), 2.595(27.2)(222, 222), 2.141(31.06)(331, 331). В гранитном пегматите Шклярска Поремба, Нижняя Силезия (Польша). Назван в честь польского минералога Анджея Козловски (Andrzej Kozłowski, b. 1946). *Pieczka A., Zelek-Pogudz B., Gołębiowska B., Stadnicka K.M., Evans R.J.* Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 3. P. 507–517.

87. Увит (uvite) — $CaMg_3(Al_5Mg)(Si_6O_{18})(BO_3)_3(OH)_3(OH)$ — надгр. турмалина. Триг.с. *R*3*m*. a = 15.9519, c = 7.2222 Å. Z = 3. Массивные субгедральные зерна и редкие эвгедральные кристаллы до 1 см. Простые формы: {1120} и {1010} (призмы) и {1011} и {1011} (пирамиды). Цв. коричневый. Черта серая. Бл. стекл. Хрупкий. Изл. раков. Тв. ~7.5. Плотн. 3.115 (выч.). В пр. св. прозрачный. Одноосный(-). n_o = 1.660, n_e = 1.640. Плехроизм: по No зеленовато-коричневый, по Ne бледно-желтый. Даны мессбауэровский, FTIR-спектры и оптический сектр поглощения. Хим. (м.з., WDS, средн. из 15 опр.): SiO₂ 35.45, TiO₂ 1.40, B₂O₃ 10.45 (выч. по стехиометрии), Al₂O₃ 27.30, V₂O₃ 0.12, Fe₂O₃ 2.52, FeO 3.41, MgO 11.19, CaO 3.43, Na₂O 1.10, F 0.11, H₂O 3.30 (выч. по стехиометрии), -O=F 0.04, сумма 99.74 (в оригинале 99.63). Рентгенограмма (интенс. л.): 3.994(51)(220), 3.497(57)(012), 4.237(49)(211), 2.973(88)(122), 2.584(100)(051),2.047(53)(152). В карьере Факкьятоя (Facciatoia), Сан-Пьеро-ин-Кампо, о-в Эльба
(Италия). Назван по провинции Ува на Цейлоне (Шри Ланка), где ранее предполагалось нахождение минерала (Kunitz, 1929). Bosi F., Biagioni C., Pezzotta F., Skogby H., Hålenius U., Cempirek J., Hawthorne F.C., Lussier A.J., Abdu Y.A., Day M.C., Fayek M., Clark C.M., Grice J.D., Henry D.J. Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 5. P. 767–776.

88. Алюминооксироссманит (alumino-oxy-rossmanite) □Al₃Al₆(Si₅AlO₁₈)(BO₃)₃(OH)₃O – надгр. турмалина. Триг.с. *R3m. a* = 15.803, *c* = 7.088 Å. *Z* = 3. Призмат. кристаллы в доли мм. Цв. розовый. Черта белая. Бл. стекл. Хрупкий. Тв. 7. Изл. раков. Плотн. 3.07 (изм.), 3.092 (выч.). Одноосный(–). n_o = 1.648, n_e = 1.628. Плеохроизм: по *No* розовый, по *Ne* почти бесцветный. Дан ИК-спектр и оптический спектр поглощения. Хим. (м.з., SIMS, средн.): SiO₂ 33.96, TiO₂ 0.10, Al₂O₃ 47.08, B₂O₃ 11.77, FeO 0.08, Fe₂O₃ 0.23, MnO 0.52, Mn₂O₃ 1.70, CaO 0.04, Li₂O 0.25, ZnO 0.03, Na₂O 1.51, H₂O 2.79, F 0.09, -O=F 0.04, сумма 100.11. Рентгенограмма (интенс. л.): 6.294(28)(101), 4.17.83(61)(211), 3.9508(85)(220), 2.9236(78)(122), 2.5534(100)(051), 2.4307(55)(012), 2.0198(39)(152), 1.8995(30)(342). В небольшом пегматите Молданубиан в амфиболитах и биотитовых парагнейсах (Австрия) с кварцем, альбитом, микроклином и апатитом. Назван по составу и за сходство с россманитом. *Ertl A., Hughes J.M., Prowatke S., Ludwig T., Lengauer C.L., Mey*-*er H.-P., Giester G., Kolitsch U., Prayer A.* Amer. Miner. 2022. Vol. 107. N 2. P. 157–166.

89. Принчиваллеит (princivalleite) – Na(Mn₂Al)Al₆(Si₆O₁₈)(BO₃)₃(OH)₃O – надгр. турмалина. Триг.с. *R3m. a* = 15.9155, *c* = 7.11660 Å. *Z* = 3. Субгедральные кристаллы до 10 мм. Цв. лазоревый. Черта белая. Бл. стекл. Тв. ~7. Хрупкий. Изл. раков. Плотн. 3.168 (выч.). Одноосный(-). n_o = 1.650, n_e = 1.635. Даны FTIR- и мессбауэровский спектры. Хим. (м.з., WDS, средн. из 6 опр.): SiO₂ 33.71, B₂O₃ 10.46, Al₂O₃ 41.19, FeO 2.29, MnO 5.96, MgO 0.08, ZnO 0.55, CaO 0.60, Na₂O 1.68, Li₂O 0.12, F 0.42, H₂O 2.55, -O=F 0.18, сумма 99.43. 4.198(43)(211), 3.974(50)(220), Рентгенограмма (интенс. л.): 3.441(67)(012). 2.934(78)(122), 2.567(100)(051), 2.028(51)(152). В пегматитовом прожилке в районе Ведаска Валли, Варезе (Италия) с мусковитом, к.п.ш., плагиоклазом, пиритом и кордиеритом. Назван в честь итальянского минералога Франческо Принчивалле (Francesco Princivalle, b. 1956). Bosi F., Pezzotta F., Skogby H., Altieri A., Hålenius U., Tempesta G., Cempirek J. Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 1. P. 78-86.

90. Челлериит (celleriite) – \Box (Mn₂²⁺Al₆(Si₆O₁₈)(BO₃)₃(OH)₃(OH) – надгр. турмалина. Триг.с. R-3m. a = 15.9518, c = 7.1579 Å (для голотипа). Z = 3. Химически гомогенные зоны до 3 мм в кристалле зонального турмалина. Цв. фиолетовый ($|c\rangle$) и серо-голубой ($\perp c$). Черта белая. Бл. стекл. Тв. ~7. Хрупкий. Изл. раков. Плотн. 3.13 (выч.). Одноосный(-). $n_o = 1.643, n_e = 1.628.$ Плеохроизм: по *No* бледно-фиолетовый, по *Ne* бледно-серо-голубой. Даны мессбауэровский и рамановский спектры. Хим. (м.з., Li µ-LIBS, средн. из 10 опр.): SiO₂ 36.62, TiO₂ 0.09, B₂O₃ 10.62 (выч. по стехиометрии), Al₂O₃ 37.08, FeO 1.14, Fe₂O₃ 0.05, MnO 10.01, MgO 0.06, Na₂O 1.34, Li₂O 0.42, F 0.05, H₂O 3.34 (выч. по стехиометрии), -O=F 0.02, сумма 100.80. Рентгенограмма (интенс. л.) (для котипа): 6.3264(53)(101), 4.2060(54)(211), 3.9801(75)(220), 3.4497(57)(012), 2.9417(53)(123),2.5725(100)(051), 2.0343(33)(152). В пегматите Розина, о-в Эльба (Италия) (голотип) с кварцем, альбитом, к.п.ш., лепидолитом, поллуцитом, петалитом, турмалинами (эльбаитом, фторэльбаитом, россманитом), бериллом, касситеритом, колумбитом-(Mn), "ломонтитом", "стильбитом" и "гейландитом". Установлен также в пегматите Пикарец, Моравия (Чехия) (котип) с альбитом, кварцем, к.п.ш, турмалинами (эльбаитом, фторэльбаитом, принчиваллеитом). Назван в честь итальянского геолога и минералога Луиджи Г. Челлери (Luigi G. Celleri, 1828–1900). Bosi F., Pezzotta F., Altieri A., Andreozzi G.B., Ballirano P., Tempesta G., Cempírek J., Škoda R., Filip J., Čopjakova R., Novák M., Kampf A.R., Scribner E.D., Groat L., Evans R.J. Amer. Miner. 2022. Vol. 107. N 1. P. 31-42.

91. Золотаревит (zolotarevite) – Na₅Zr[Si₆O₁₅(OH)₃] 2-3H₂O – гр. ловозерита. Триг.с. $R\bar{3}m. a = 10.294, c = 13.115$ Å. Z = 3. Ангедральные зерна до 1 мм. Прозрачный. Цв. виш-

нево-красный. Хрупкий. Изл. неровн. Плотн. 2.75 (изм.), 2.85 (выч.). Аномально двуосный(–). $n_p = 1.580$, $n_m = 1.600$, $n_g = 1.602$, $2V < 10^\circ$ (изм.), 35.1° (выч.). Дан FTIRспектр. Хим. (м.з., WDS, средн.): SiO₂ 52.46, TiO₂ 1.34, ZrO₂ 11.33, Fe₂O₃ 0.55, CaO 0.42, MnO 3.49, Na₂O 20.41, H₂O 10.20 (выч.), сумма 100.20. Рентгенограмма (интенс. л.): 7.37(69)(101), 5.26(56)(012), 3.686(64)(202), 3.330(79)(113), 3.265(99)(211), 2.640(100)(024), 2.576(60)(220). В лейкократовых нефелиновых сиенитах г. Кедыкверпахк, Ловозерский щелочной массив, Кольский п-ов (Россия) с микроклин-пертитом, нефелином, содалитом, эгирином, лампрофиллитом, луешитом, умбозеритом, ломоносовитом, настрофитом, минералом серии казаковит – тисиналит, сфалеритом и лёллингитом. Назван в честь русского кристаллографа Андрея А. Золотарева (Andrey A. Zolotarev, b. 1982). *Mikhailova J.A., Selivanova E.A., Krivovichev S.V., Pakhomovsky Y.A., Chukanov N.V., Yakovenchuk V.N.* Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 2. P. 263–271.

92. Ферритарамит (ferri-taramite) – Na(CaNa)(Mg₃Fe₂³⁺)(Si₆Al₂)O₂₂(OH)₂ – надгр. амфиболов. Монокл.с. *C2/m. a* = 9.89596, *b* = 18.015, *c* = 5.32164 Å, β = 105.003°. *Z* = 2. Субгедральные призмат. кристаллы до 5 мм, образующие плотные агрегаты. Полупрозрачный. Цв. темно-коричново-черный, в осколках зеленовато-желтый до коричневого. Черта желтовато-серая. Бл. стекл. Хрупкий. Изл. неровн. до заноз. Сп хорошая по {110}. Тв. ~6. Микротв. 919. Плотн. 3.227 (выч.). Двуосный(–). n_p = 1.670, n_m = 1.680, $n_g = 1.685, 2V = 70^{\circ}$ (изм.), 70.2° (выч.). Плеохроизм сильный: по *Np* бледно-желтый, по Np темно-коричневый, по Ng желтовато-коричневый. Даны FTIR-, рамановский, мессбауэровский спектры и оптический спектр поглощения. Хим. (LA-ICP-MS, средн. из 16 опр.): Na₂O 5.66, MgO 12.14, Al₂O₃ 11.59, SiO₂ 41.25, K₂O 0.84, CaO 8.01, TiO₂ 0.46, MnO 4.57, Fe₂O₃ 11.51, FeO 1.53, ZnO 0.15, PbO 0.27, BaO 0.05, H₂O 2.02 (выч.), сумма 100.05. Рентгенограмма (интенс. л.): 8.44(60)(110), 3.392(25)(131), 3.281(39)(240), 3.140(100)(310), 2.816(45)(330), 2.7104(38)(151), 1.44502(33)(661). В скарнах марганцевого м-ния Якобсберг, Вермланд (Швеция) с цельзианом, флогопитом, эгирин-авгитом, андрадитом, ханкокитом, меланотекитом, микроклином, кальцитом, баритом, пренитом, македонитом и оксиплюмборомеитом. Назван по составу и за сходство с тарамитом. Holstam D., Cámara F., Karlsson A., Skogby H., Zack T. Europ. J. Miner. 2022. Vol. 34. N 5. P. 451-462.

93. Ферроферрихолмквистит (ferro-ferri-holmquistite) – $\Box Li_2(Fe_3^{2+}Fe_2^{3+})Si_8O_{22}(OH)_2$ – надгр. амфиболов. Ромб.с. *Рпта. a* = 18.5437, *b* = 17.9222, *c* = 5.3123 Å. *Z* не указан. Игольчатые агрегаты и/или изолированные кристаллы до 0.11 × 0.04 × 0.015. Цв. голубой. Черта голубовато-серая. Бл. стекл. Тв. 5.5. Сп. совершенная по {210}. Плотн. 3.32 (изм.), 3.317 (выч.). Двуосный(+). n_p = 1.685, n_m = 1.713, n_g = 1.727, 2V = 45–75° (изм.), 70° (выч.). Плеохроизм: по *Np* бледно-голубой, по *Nm* бледно-желтовато-голубой, по *Ng* темно-синий, почти синевато-фиолетовый. Хим. (м.з., средн. из 52 опр.): SiO₂ 53.63, TiO₂ 0.10, Al₂O₃ 3.04, Fe₂O₃ 12.39, FeO 22.63, MnO 0.37, MgO 0.99, CaO 0.04, Na₂O 0.35, K₂O 0.03, Li₂O 3.26, F 0.16, H₂O 1.95 (выч.), –O=F 0.07, сумма 98.87. Рентгенограмма (интенс. л.): 8.256(100)(210), 4.487(15.1)(040), 3.346(10.6)(250), 3.043(87.6)(610), 2.745(14.6)(630). В альбитизированных гранитах о-ва Иваги, преф. Эхимэ (Япония) с кварцем, альбитом и к.п.ш. Назван по составу в соответствии с номенклатурой надгруппы амфиболов (Наwthorne et al., 2012). *Nagashima M., Imaoka T., Kano T., Kimura J., Chang Q., Matsumoto T.* Europ. J. Miner. 2022. Vol. 34. N 5. P. 425–438.

94. Паратоберморит (paratobermorite) – $Ca_4(Al_{0.5}Si_{0.5})_2Si_4O_{16}(OH) \cdot 2H_2O$ (Ca $3H_2O$) – надгр. тоберморита. Монокл.с. $C112_1/m$. a = 11.2220, b = 7.3777, c = 22.9425 Å, $\beta = 89.990^{\circ}$. Z = 4; политип 2*M*. Хорошо образованные призмат. до игольчатых кристаллы до $1 \times 1.5 \times 8$ мм, удлиненные по [010], их агрегаты. Простые формы: {100}, {001} (призма) и {011} (окончание) (дан чертеж). Прозрачный. Бесцветный, бледно-желто-

ватый, бледно-бежевый или розоватый. Черта белая. Бл. стекл. Хрупкий. Сп. совершенная по (001). Изл. ступенч. Тв. 3.5. Плотн. 2.51 (изм.), 2.533 (выч.). Двуосный(+). $Np = c, Nm = b, Ng = a. n_p = 1.565, n_m = 1.566, n_g = 1.578, 2V = 25°$ (изм.), 32° (выч.). Дан ИК-спектр. Хим. (м.з., WDS, средн. из 4 опр.): Na₂O 0.40, K₂O 0.28, CaO 36.60, MnO 0.04, BaO 0.07, Al₂O₃ 6.46, SiO₂ 42.32, H₂O 14.10, сумма 100.27. Рентгенограмма (интенс. л.): 11.52(100)(002), 5.46(24)(201, 112, 112), 3.562(17)(205), 3.088(51)(220, 220, 313), 2.982(50)(222, 222), 2.838(20)(207), 2.013(14)(425, 425), 1.848(22)(427, 427, 040). На Баженовском м-нии хризотил-асбеста, Центральный Урал (Россия) с пренитом, пектолитом, томсонитом-Са и кальцитом. Название из-за близости к тобермориту. *Pekov I.V., Zub-kova N.V., Chukanov N.V., Merlino S., Yapaskurt V.O., Belakovskiy D.I., Loskutov A.B., Novgorodova E.A., Vozchikova S.A., Britvin S.N., Pushcharovsky D.Yu. Amer. Miner.* 2022. Vol. 107. N 12. P. 2272–2281.

95. Ферропапикеит (ferro-papikeite) – NaFe₂²⁺(Fe₃²⁺Al₂)(Si₅Al₃)O₂₂(OH)₂ – надгр. амфиболов. Ромб.с. *Рпта. a* = 18.628, *b* = 17.888, *c* = 5.3035 Å. Z = 4. Субгедральные зерна до 0.4-3.0 мм. Полупрозрачный. Цв. бледно-коричневый. Черта от бесцветной до бледно-коричневой. Хрупкий. Изл. заноз. Тв. ~6. Сп. хорошая по {210}. Плотн. 3.488. Двуосный(+). $Np \parallel a$, $Nm \parallel b$, $Ng \parallel c$. $n_p = 1.674$, $n_m = 1.692$, $n_g = 1.716$, $2V = 86.2^{\circ}$ (изм.), 88.3° (выч.). Дисперсия слабая, r < v. Плеохроизм: по Np очень бледно-коричневый, по Nm и Ng медово-коричневый. Хим. (м.з., средн. из 10 опр.): SiO₂ 36.50, TiO₂ 0.09, Al₂O₃ 22.24, Fe₂O₃ 1.15, FeO 30.50, MnO 0.65, MgO 5.48, CaO 0.08, Na₂O 2.35, F 0.22, -O=F 0.09, H₂O 1.85, сумма 101.02 (в оригинале 100.88). Рентгенограмма (интенс. л.): 8.255(100)(210), 3.223(39)(440), 3.057(68)(610), 2.824(28)(251), 2.674(41)(351), 2.572(56)(161,621), 2.549(38)(202), 2.501(50)(261,451), 2.158(25)(502), 1.991(31)(661). B метавулканических породах в муниц. Филипстад, Вермланд (Швеция) с биотитом, хлоритом, кварцем, альбитом, цирконом. Назван в честь американского кристаллографа и геохимика Джеймса Папике (James J. Papike, 1937-2020) и в соответствии с номенклатурой амфиболов. Hawthorne F.C., Day M.C., Fayek M., Linthout K., Lustenhouwer W.J., Oberti R. Amer. Miner. 2022. Vol. 107. N 2. P. 306-312.

96. Иллокит-(Се) [illoqite-(Се)] – Na₂NaBaCeZnSi₆O₁₇ – надгр. нордита. Ромб.с. *Рсса.* a = 14.5340, b = 5.2213, c = 19.8270 Å. Z = 4. Эвгедральные кристаллы 150 мкм или радиальные агрегаты до 200 мкм. Цв. розовый. Черта белая. Бл. тусклый. Плотн. 3.65 (выч.). $n_{\rm средн}$ между 1.519 и 1.682. Флюоресцирует в коричневато-желтых тонах. Хим. (м.з., WDS, средн. из 15 опр.): SiO₂ 43.04, La₂O₃ 6.00, Ce₂O₃ 13.49, Pr₂O₃ 0.87, Nd₂O₃ 1.84, BaO 10.80, SrO 3.94, CaO 0.25, ZnO 4.08, MnO 0.78, FeO 2.97, Na₂O 11.28, Li₂O 0.25 (LA-ICP-MS), сумма 99.59. Рентгенограмма (интенс. л.): 7.266(79)(200), 4.688(44)(104), 4.241(64)(210), 3.486(79)(114), 3.340(52)(312), 2.986(67)(206), 2.882(100)(314), 2.789(44)(016). В сверхщелочной уссингитовой жиле в шелочном комплексе Иллимауссак (Гренландия) с эгирином, арфведсонитом, минералом гр. бритолита, эпистолитом, чкаловитом, луешитом, Мп-содержащим минералом гр. пектолита и стенструпином-(Ce). Название от гренладского слова illoq (двоюродный брат), которое отражает родство минерала с группой нордита. *Gulbransen E., Friis H., Dal Bo F., Erambert M.* Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 1. P. 141–149.

97. Гармит (garmite) — CsLiMg₂(Si₄O₁₀)F₂ — гр. слюд. Монокл.с. *C2/m, C2* или *Cm*, поитип 1*M. a* = 5.234, *b* = 9.042, *c* = 10.780 Å, β = 99.73°. *Z* = 2. Пластинчатые зерна от 0.2 мм в поперечнике, до 20 мкм толщиной, их веерообразные сростки. Бесцветный. Бл. стекл., перл. Черта белая. Сп. весьма совершенная по (001). Гибкий. Тв. 2.5. Микротв. 90. Плотн. 3.34 (изм.), 3.336 (выч.). Двуосный(–). n_p = 1.582, n_m = 1.601, n_g = 1.602, $2V = -10^{\circ}$ (изм.), -26° (выч.). Дисперсия слабая, r > v. Люминесцирует в КУФ в бледно-желтым тонах. Хим. (м.з., Li и H – SIMS, средн.): SiO₂ 47.39, Al₂O₃ 0.71, TiO₂ 0.71,

Nb₂O₅ 0.12, FeO 2.12, MnO 0.85, MgO 9.01, ZnO 2.23, K₂O 0.16, CsO 26.98, Li₂O 3.57, H₂O 0.08, F 7.23, -O=F 3.04, сумма 98.12 (в оригинале 99.90). Рентгенограмма (интенс. л.): 4.48(35)(110), 3.70(70)($\overline{1}$ 12), 3.45(44)(022), 2.608(70)($\overline{2}$ 01, 130), 2.580(100)(200, $\overline{1}$ 31), 2.241(45)(220), 2.187(80)($\overline{1}$ 33). В кварцевых глыбах щелочного массива Дараи-Пиез, Раштский, ранее Гармский район (Центральный Таджикистан) с эгирином, кварцем, пектолитом. Назван по месту находки. *Паутов Л.А., Агаханов А.А., Пеков И.В., Карпен-ко В.Ю., Сийдра О.И., Соколова Е.В., Хоторн Ф.К., Файзиев А.Р.* Записки РМО. 2022. Ч. 151. Т. 4. С. 18–32.

98. Гидроксимакглассонит-(K) [hydroxymcglassonite-(K)] – KSr₄Si₈O₂₀(OH) · 8H₂O. Гр. апофиллита. Тетр.с. *P4/mnc. a* = 9.0792, *c* = 16.1551 Å. *Z* = 2. Гранулы до 0.05 мм. Бесцветный. Черта белая. Бл. стекл. Хрупкий. Тв. 4.5–5. Сп. совершенная по {010}. Плотн. 2.60 (изм.), 2.614 (выч.). Одноосный(–). n_o = 1.555, n_e = 1.567. Дан рамановский спектр. Хим. (м.з., средн.): SiO₂ 45.99, K₂O 4.56, CaO 5.52, SrO 29.66, H₂O 14.67 (выч. по стр-ре), сумма 100.40. Рентгенограмма: 8.008(93.8)(011), 4.539(42)(020), 3.940(49.6)(121), 3.638(80.9)(122), 3.212(33.6)(220), 3.055(34.4)(015), 2.800(28.2)(131), 2.538(100)(133), 2.146(29)(135). В образце из шахты Весселс, марганцеворудное поле Калахари (ЮАР) с мейеритом, сугилитом, эгирином, пектолитом и др. Назван в честь американского геолога Джеймса (Джима) А. Макглассона (James (Jim) А. McGlasson). *Yang H., Gu X., Scott M.M.* Amer. Miner. 2022. Vol. 107. N 9. P. 1818–1822. https://www.mindat.org/min-55309.html

99. Брейит (breyite) – Ca₃Si₃O₉. Трикл. $P\overline{1}$. a = 6.6970(4), b = 9.2986(7), c = 6.6501(4), $\alpha = 83.458(6)$, $\beta = 76.226(6)$, $\gamma = 69.581(7)$. Включения в алмазах 140 × 150 × 100 мкм. Прозрачный. Бесцветный. Плотн. 3.072 (выч.). Дан рамановский спектр. Эмп. ф-ла Ca_{3.01}Si_{2.98}O_{2.98}. Рентгенограмма (интенс. л.): 5.01(32)(101), 3.15(40)(112), 3.03(58)(220), 2.90(100)(030), 2.63(24)($\overline{2}10$), 1.79(18)($2\overline{3}1$). В алмазах из аллювиальных отложений Caн-Луис, район Жуина, штат Мату-Гросу, Бразилия. Назван в честь немецкого минералога, петролога Герхарда Петера Брея (Gerhard Peter Brey, b. 1947). *Brenker F.E., Nestola F., Brenker L., Peruzzo L., Harris J.W.* Amer. Miner. 2021. Vol. 106. N 1. P. 38–43.

100. Дейвмаоит (davemaoite) – CaSiO₃. Куб.с. $Pm\overline{3}m. a = 3.591(2)$ Å. Включения в алмазах до 4–6 × 4–16 мкм. Даны ИК- и рамановский спектры. Хим.ан. (XRTTM ICP и ESL New WaveTM UP193FX): Ca 18.27, K 8.71, Na 2.6, Fe 4.7, Al 3.32, Mg 2.43, Cr 1.8, Ti 0.30, Mn 0.23, Si 42.2. Рентгенограмма (интенс. л., *d*,*I*): 2.539(100), 2.073(50), 1.795(84), 1.466(43), 1.270(48), 1.136(19), 1.037(15), 0.960(22). В кимберлитовой трубке AK-8, Летлхакане, Центральный округ, Ботсвана. Назван в честь китайско-американского геолога Хо-Квана (Дейва) Mao [Ho-Kwang (Dave) Mao, b. 1941]. *Tschauner O., Huang S., Yang S., Humayun M., Liu W., Gilbert Corder S.N., Bechtel H.A., Tischler J., Rossman G.R.* Science. 2021. Vol. 374. N 6569. P. 891–894; https://doi.org/10.1126/science.abl8568

101. Водегонгджеит (wodegongjieite) – $KCa_3(Al_7Si_9)O_{32}$ – полевошпатовый полиморф кокчетавита. Гекс.с. *P6/mcc. a* = 10.2, *c* = 14.9 Å. *Z* = 2. Физ. и опт. св-ва не определены. Предположительно беловатый до бесцветного, прозрачный, тв. ~6, хрупкий, *n* ≈ 1.57–1.59. Плотн. 2.694 (выч.). Хим. (EDX, средн.): SiO₂ 49.11, Al₂O₃ 34.09, K₂O 2.56, CaO 11.71, SrO 2.53, сумма 100.00. Рентгенограмма (интенс. л., *d*, *I*): 4.42(73), 3.80(91), 3.73(68), 3.26(49), 2.85(100), 2.55(71), 2.20(17), 2.12(26). Включения в корунде в хромитовых рудах м-ния Луобуса, Тибет (Китай) с баденчжуитом, чжициньитом, осборнит-хамрабаевитом и др. *Mugnaioli E., Xiong F, Xu X., Gemmi M., Wirth R., Yang J., Grew E.S.* Miner. Mag. 2022. Vol. 86. P. 975–987. https://www.mindat.org/min-56036.html

102. Сапожниковит – (sapozhnikovite) – $Na_8(Al_6Si_6O_{24})(HS)_2$ – гр. содалита. Куб.с. *P*43*n*. *a* = 8.9146. *Z* = 1. Изолированные зерна до 1, редко до 5 мм. Цв. бледно-серый. Черта белая. Бл. стекл. Хрупкий. Тв. 5.5. Сп. несовершенная по (110). Плотн. 2.25 (изм.), 2.255 (выч.). Изотропный. n = 1.499. Интенсивная фотолюминесценция в ДУФ в оранжевых тонах, в КУФ – в слабо-желто-оранжевых тонах. Даны ИК-, ЭСР, рамановский спектры и спектры фотолюминесценции. Хим. (м.з., средн. из 5 опр.): Na₂O 25.05, Al₂O₃ 32.44, SiO₂ 37.58, HS 4.33, Cl 2.22, H₂O 0.30, -O=(Cl,HS) 1.55, сумма 100.37. Рентгенограмма (интенс. л.): 6.30(37)(110), 3.638(100)(211), 2.821(14)(310), 2.572(18)(222), 2.382(16)(321), 2.101(29)(411). В гидротермально измененных уртитопо-добных породах г. Карнасурт, Ловозерский шелочной массив, Кольский п-ов (Россия) с нефелином, эгирином, калишпатом, альбитом, кианоксалитом, натролитом, фторапатитом, ломоносовитом (частично или полностью измененным до мурманита) и лопаритом-(Ce). Назван в честь русского минералога и кристаллографа Анатолия Николаевича Сапожникова (Anatoly Nikolaevich Sapozhnikov, b. 1946). *Chukanov N.V., Zubkova N.V., Pekov I.V., Shendrik R.Yu., Varlamov D.A., Vigasina M.F., Belakovskiy D.I., Britvin S.N., Yapaskurt V.O., Pushcharovsky D.Yu.*

103. Болотинаит (bolotinaite) – $(Na_7\square)(Al_6Si_6O_{24})F \cdot 4H_2O$ – гр. содалита. Куб.с. *I*-43*m*. *a* = 9.027. *Z* = 1. Изолированные двойники по (111) псевдогекс. габитуса до 1.3 × 0.3 мм. Цв. бледно-желтый до почти бесцветного или розоватого. Черта белая. Бл. стекл. Слабая флюоресценция (при λ = 330 нм) в оранжево-желтых тонах). Хрупкий. Тв. 5. Изл. неровн. Плотн. 2.27 (изм.), 2.291 (выч.). В пр.св. бесцветный. Изотропный. *n* = 1.488. Даны ИК- и рамановский спектры. Хим. (м.з., средн.): Na₂O 18.30, K₂O 3.87, CaO 0.57, Al₂O₃ 28.85, SiO₂ 37.97, CO₂ 1.66 (выч. по ИК-спектроскопии), SO₃ 1.37, F 1.60, Cl 0.57, H₂O 7.21 (выч. по стр-ре), –O=(F,Cl) 0.80, сумма 101.17. Рентгенограмма (интенс. л.): 6.36(47)(110), 4.502(10)(200), 3.679(100)(211), 2.851(28)(310), 2.603(29)(222), 2.126(18)(330). В ежектитах пемзового карьера Деллен палеовулканического района Эйфель (Германия) с санидином, нефелином, аннитом и цирконом. Назван в честь русского кристаллохимика Надежды Борисовны Болотиной (Nadezhda Borisovna Bolotina, b. 1949). *Chukanov N.V., Zubkova N.V., Schäfer C., Pekov I.V., Shendrik R.Yu., Vigasina M.F., Belakovskiy D.I., Britvin S.N., Yapaskurt V.O.* Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 6. P. 920–928.

104. Штойделит (steudelite) – (Na₃□)[(K,Na)₁₇Ca₇]Ca₄(Al₂₄Si₂₄O₉₆)(SO₃)₆F₆·4H₂O – гр. канкринита. Гекс.с. *P*-62*c*. a = 12.89529, c = 21.2778 Å. Z = 1. Толстотаблитч., изометричные и короткопризмат. кристаллы до 7 мм. Бесцветный. Простые формы: $\{0001\}, \{10\overline{1}0\}$ и $\{11\overline{2}0\}$. Сп. отчетливая по $\{10\overline{1}0\}$. Хрупкий. Изл. неровн. Тв. 5. Плотн. 2.51 (изм.), 2.511 (выч.). Флюоресценция в ДУФ в бледно-голубых тонах, в КУФ в малиновых тонах. Одноосный(+). n_o = 1.518, n_e = 1.519. В пр. св. бесцветный. Дан ИКспектр. Хим. (м.з., средн.): Na₂O 7.40, K₂O 8.42, CaO 13.54, Al₂O₃ 26.46, Fe₂O₃ 0.18, SiO₂ 30.96, SO₂ 4.74, SO₃ 5.18 (опр. по стр-ре), F 1.66, Cl 0.84, H₂O 1.60, -O=Cl, F 0.89, сумма 100.09. Рентгенограмма (интенс. л.): 11.15(28)(100), 4.799(25)(104), 3.973(16)(105), 3.721(47)(300), 3.305(100)(214,303,400), 2.661(17)(008), 2.149(21)(330). В сиенитовых ежектитах палеовулкана Сакрофано, Лацио (Италия) с санидином, диопсидом, андрадитом, биотитом, лейцитом, гаюином, сакрофанитом, бьякеллаитом, лиоттитом и вторичным диоктаэдрическим смектитом. Назван в честь немецкого химика Ральфа Штойделя (Ralf Steudel, 1937–2021). Chukanov N.V., Zubkova N.V., Varlamov D.A., Pekov I.V., Belakovskiy D.I., Britvin S.N., Van K.V., Ermolaeva V.N., Vozchikova S.A., Pushcharovsky D.Yu. Phys. Chem. Miner. 2022. Vol. 49. N 1. article number 1.

ОРГАНИЧЕСКИЕ И МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

105. Лазараскеит (lazaraskeite) — Cu(C₂H₃O₃)₂. Монокл.с. $P2_1/n$. Представлен двумя политипами M_1 и M_2 . a = 5.1049, b = 8.6742, c = 7.7566 Å, $\beta = 106.834^{\circ}$ для M_1 , a = 5.1977, b = 7.4338, c = 8.8091 Å, $\beta = 101.418^{\circ}$ для M_2 . Z = 2. Эвгедральные кристаллы до $0.2 \times 0.2 \times 0.8$ мм, их агрегаты. Прозрачный. Цв. зеленовато-голубой. Черта белая. Бл. стекл.

75

Хрупкий. Тв. 2. Сп. совершенная по {101}. Плотн. (изм. и выч.) 2.12 и 2.138 для M₁ и 2.10 и 2.086 для M₂. Лазараскеит-M₁ двуосный(-). *cNp* = 42°, Nm = b. n_p = 1.595, n_m = = 1.629, n_g = 1.645, 2V = 69° (изм.), 67° (выч.). Плеохроизм: по Np = Ng светло-сине-зеленый, по Nm сине-зеленый. Дисперсия слабая, r < v. Лазараскаит-M₂ двуосный(-). *cNp* = 36°, *Nm* = *b*. *n_p* = 1.520, *n_m* = 1.578, *n_g* = 1.610, 2*V* = 73° (изм.), 70° (выч.). Плеохроизм: по Np = Ng – бледно-голубой, по Nm – зеленовато-голубой. Дисперсия слабая, r < v. Даны рамановские спектры для обоих политипов. Хим. для политипа M_1 (м.з., WDS, средн. из 6 опр.): Cu 30.17, C 22.60, H 2.84, O 45.23, сумма 100.84; Хим. для политипа M₂ (м.з., WDS, средн. из 7 опр.): Си 29.98, С 22.20, Н 2.83, О 44.94, сумма 99.95. Рентгенограмма для *M*₁ (интенс. л.): 5.650(100)(011), 4.771(51.9)(101), 3.344(63.2)(111), 3.230(25.2)(112), 2.223(25.3)(132), 2.086(22.2)(22222). Рентгенограмма для M₂ (интенс. л.): $5.622(100)(011), 4.816(32.6)(10\overline{1}), 4.190(22.5)(110), 3.550(30.2)(111), 3.289(20.4)(11\overline{2}),$ 2.732(14.3)(121), 2.209(24.2)(211). На одном из возвышений гор Санта Каталина, Тусон, шт. Аризона (США) с хризоколлой, малахитом, вульфенитом, миметизитом, гидроксилпироморфитом, гематитом, микроклином, мусковитом и кварцем. Назван в честь американских любителей поисков камней, нашедших минерал, г-на Уорена Лазара(Warren Lazar, b. 1950) и г-жи Беверли Раскин Росс (Beverly Raskin Ross, b. 1956). Yang H., Gu X., Gibbs R.B., Evans S.H., Downs R.T., Jibrin Z. Amer. Miner. 2022. Vol. 107. N 3. P. 509-516.

106. Марчеттиит (marchettiite) – $C_5H_7N_5O_3$. Трикл.с. $P\overline{1}$. a = 3.6533, b = 10.2046, c = 10.5837 Å, $\alpha = 113.809^\circ$, $\beta = 91.313^\circ$, $\gamma = 92.44^\circ$. Z = 2. Агрегаты пластинчато-призмат. кристаллов до 200 мкм. Непрозрачный. Цв. бледно-розовый до белого. Черта белая. Бл. тускл. Хрупкий. Тв. 2–2.5. Сп. хорошая по {001}. Плотн. 1.69 (выч.). Двуосный(+). $n_p = 1.54$, $n_m = 1.55$, $n_g = 1.57$, $2V = 70^\circ$ (изм.), 71.3° (выч.). Даны ИК- и рамановский спектры. Хим. (м.з., средн. из 15 опр., Н и О выч. по стехиометрии): С 32.3, N 37.2, H 3.8, O 25.9, сумма 99.2. Рентгенограмма (интенс. л.): 8.685(37)(01 $\overline{1}$), 5.666(75)(011), 3.495(38)(01 $\overline{3}$), 3.452(100)(10 $\overline{1}$), 3.358(54)(110), 3.248(30)(003), 3.150(52)(1 $\overline{11}$), 3.010(49)(1 $\overline{21}$). В расщелине г. Червандоне, Пьемонт (Италия) с альбитом, калишпатом, мусковитом, кварцем и уэвеллитом. Назван в честь нашедшего минерал итальянского коллекционера Джианфранко Марчетти (Gianfranco Marchetti). *Guastoni A., Nestola F., Zorzi A., Gentile P., Lorenzetti A.* Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 6. P. 996–974.

ВОПРОСЫ КЛАССИФИКАЦИИ И НОМЕНКЛАТУРЫ МИНЕРАЛОВ

Силициды Fe – обзор всех природных (как земных, так и внеземных) находок, описанных в литературе до 2021 включительно. *Rappenglück M.A.* Minerals. 2022. Vol. 12. N 2. paper 188.

Кальциртита группа – proposal IMA – CNMNC 21-G. Группа включает кальциртит, хиернеит, тажеранит. Решена стр-ра хиернеита, новая формула $Ca_2Zr_4Mn^{3+}SbTiO_{16}$ вместо (Ca,Na,Mn²⁺)₂(Zr,Mn³⁺)₅(Sb,Ti,Fe³⁺)₂O₁₆. *Holtstam D., Bindi L.* Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 2. P. 314–318.

Сигизмундит — восстановление первоначального исторического названия вместо арроядита-(BaFe) (proposal IMA 22-C). *De Wit F., Mills S.J.* Europ. J. Miner. 2022. Vol. 34. N 3. P. 321–324.

Ангастонит — переопрелен как аморфный минерал (proposal IMA 21-J). Grey I.E., Elliot P., Mumme N.G., MacRae C.M., Kampf A.R., Mills S.J. Europ. J. Miner. 2022. Vol. 34. N 2. P. 215–221. Бераунит — переопределен, идентичен элеонориту. Ф-ла $(PO_4)_4O(OH)_4GH_2O$ (proposal 21-D) IMA. Vrtiška L., Tvrdý J., Plášil J., Sejkora J., Škoda R., Chukanov N.V., Massanek A., Filip J., Dolníček Z., Veselovský F. Europ. J. Miner. 2022. Vol. 34. N 2. P. 223–238.

Вагнерит – арсеновагнерит – новый изоморфный ряд. Кошлякова Н.Н., Пеков И.В., Вигасина М.Ф., Агаханов А.А., Назаров М.А. Докл. РАН. 2022. Т. 507. № 1. С. 59–60.

Филипсбергит — переопределение как промежуточного члена изоморфной серии голдхиллит — филипсбергит — кипушит. Ф-ла $Cu_5Zn[(AsO_4)(PO_4)](OH)_6 H_2O.$ Ismagilova R.M., Rieck B., Kampf A.R., Giester G., Zhitova E.S., Lengauer C.L., Krivovichev S.V., Zolotarev A.A., Ciesielczuk J., Mikhailova J.A., Belakovvsky D.I., Bocharov V.N., Shilovskich V.V., Vlasenko N.S., Nash B.P., Adams P.M. Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 3. P. 436–446.

Грандвьюит – новая ϕ -ла Cu₃Al₂(SO₄)(OH)₁₀·H₂O и триклинная сингония (proposal IMA 21-K). *Jiří Sejkora; Gwladys Steciuk; Maria Florencia Marquez-Zavalia; Jakub Plášil; Zdeněk Dolníček* Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 5. P. 730–742.

Велерита группа — дана номенклатура и классификационная схема. Новая ф-ла гиортдалита $Na_2Ca_4(Ca_{0.5}Zr_{0.5})Zr(Si_2O_7)_2OF_3$. *Dal Bo F., Friis H., Mills S.J.* Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 4. P. 661–676.

Эвдиалита группа — предложен новый алгоритм быстрого определения названия минералов этой группы по хим. составу. *Mikhailova J.A., Stepenshchikov D.G., Kalashnikov A.O., Aksenov S.M.* Minerals. 2022. Vol. 12. N 2. paper 224.

Бранчит — восстановлено название, как имеющее приоритет перед идентичным ему хартитом (или гартитом) (proposal IMA 21-A). Последний дискредитирован. *Bonaccorsi E., Farina S., Biagioni C., Pasero M.* Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 3. P. 405–411.

НОВЫЕ РАЗНОВИДНОСТИ. НОВЫЕ ФОРМУЛЫ. НОВЫЕ СТРУКТУРЫ

Перовскит — кубическая разновидность из геленит-содержащих пород пирометаморфического комплекса Хатрурим (Израиль). Britvin S.N., Vlasenko N.S., Aslandukov A., Aslandukova A., Dubrovinsky L., Gorelova L.A., Krzhizhanovskaya M.G., Vereshchagin O.S., Bocharov V.N., Shelukhina Y.S., Lozhkin M.S., Zaitsev A.N., Nestola F. Amer. Miner. 2022. Vol. 107. N 10. P. 1936–1945.

Хиернеит – новая ф-ла Ca₂Zr₅Ti₂O₁₆. *Holtstam D., Bindi L*. Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 2. P. 314–318.

Мерриллит – первая находка в земных условиях – включения в алмазах нижней мантии в районе Рио Серисо, Бразилия. *Kaminsky F.V., Zedgenizov D.A.* Amer. Miner. 2022. Vol. 107. N 8. P. 1652–1655.

Уранотунгстит – первое описание структуры. *Steciuk G., Kolitsch U., Goliáš V., Škoda R., Plášil 1 J., Franz Xaver Schmidt F.X.* Amer. Miner. 2022. Vol. 107. N 9. P. 1709–1716.

Тэнчунит – новая пр. гр. *C*222₁, новая ф-ла Ca(UO₂)₆(MoO₄)₂O₅·12H₂O. *Li T., Fan G., Ge X., Wang T., Yu A., Deng L.* Canad. Miner. 2022. Vol. 60. N 3. P. 533–542.

Шкатулкаит — решена стр-ра в трикл. сингонии P новая ф-ла Na₂Nb₂Na₃₋Ti(Si₂O₇)₂O₂(FO)(H₂O)₄(H₂O)₃. Sokolova E., Day M.C., Hawthorne F.C., Cámara F. Canad. Miner. 2022. Vol. 60. N 3. P. 493–512.

ДИСКРЕДИТАЦИЯ МИНЕРАЛОВ

Элеонорит — идентичен берауниту (proposal IMA 21-D). Vrtiška L., Tvrdý J., Plášil J., Sejkora J., Škoda R., Chukanov N.V., Massanek A., Filip J., Dolníček Z., Veselovský F. Europ. J. Miner. 2022. Vol. 34. N 2. P. 223–238.

Ферротеллурит – тождественен кейстоуниту (proposal IMA 19-G). *Missen O.P., Back M.E., Mills S.J., Andrew C., Roberts A.C., LePage Y., Pinch W.W., Mandarino J.A.* Canad. Miner. 2021. Vol. 59. N 2. P. 355–364. **Гартит (или хартит)** – тождественен бранчиту (proposal IMA 21-A). *Bonaccorsi E., Farina S., Biagioni C., Pasero M.* Miner. Mag. 2022. Vol. 86. N 3. P. 405–411.

СПИСОК МИНЕРАЛОВ, РАССМОТРЕННЫХ В ДАННОМ ОБЗОРЕ И УТВЕРЖДЕННЫХ КНМ ММА ДО ОПУБЛИКОВАНИЯ¹

Альдомариноит (55) Sr₂Mn³⁺(AsO₄)₂(OH) Алюминооксироссманит (88) ДАl₃Al₆(Si₅AlO₁₈)(BO₃)₃(OH)₃O Амгаит (79) $Tl_2^{3+}Te^{6+}O_6$ Аргентотетраэдрит-(Zn) (19) Аg₆(Cu₄Zn₂)Sb₄S₁₃ Арсенудинаит (49) NaMg₄(AsO₄)₃ Беннешерит (83) Ba₂Fe²⁺Si₂O₇ Болотинаит (103) (Na₇])(Al₆Si₆O₂₄)F · 4H₂O Бортоланит (85) Ca₂(Ca₁₅Zr₀₅)Na(NaCa)Ti(Si₂O₇)₂(FO)F₂ Брейит (99) - Ca₃Si₃O₉ Бриджесит-(Ce) (71) CaCe₂Cu₆(SO₄)₄(OH)₁₂ · 8H₂O Водегонгджеит (101) КСа₃(Al₇Si₉)O₃₂ Гармит (97) CsLiMg₂(Si₄O₁₀)F₂ Гарпенбергит (56) Мп₆ПАs⁵⁺Sb⁵⁺O₁₀(OH)₂ Гачингит (22) Au(Te_{1-x}Se_x), при $0.2 \approx x \le 0.5$ Гидроксилпироморфит (40) – Pb₅(PO₄)₃(OH) Гидроксимакглассонит-(К) (98) KSr₄Si₈O₂₀(OH) · 8H₂O Голдхиллит (57) Cu₅Zn(AsO₄)₂(OH)₆ · H₂O Граулихит-(La) (53) LaFe₃³⁺(AsO₄)₂(OH)₆ Гуит-(27) Co²⁺Co₂³⁺O₄ Гунгерит (13) TlAs₅Sb₄S₁₃ Гуржиит (74) Al(UO₂)(SO₄)₂F · 10H₂O Дейвмаоит (100) - CaSiO₃ Дендораит-(NH₄) (46) (NH₄)₂NaAl(C₂O₄)(PO₃OH)₂(H₂O)₂ Дондоэллит (41) Ca₂Fe(PO₄)₂ · 2H₂O Доноуэнсит (62) Ca(H₂O)₃Fe₂³⁺(V₂O₇)₂ Золенскиит (10) $FeCr_2S_4$ Золотаревит (91) Na₅Zr[Si₆O₁₅(OH)₃] 2-3H₂O Иллокит-(Ce) (96) Na₂NaBaCeZnSi₆O₁₇ *Казнахтит* (35) Ni₆Co₂³⁺(CO₃)(OH)₁₆ · 4H₂O Кингсгейтит (69) ZrMo₂⁶⁺O₇(OH)₂ · 2H₂O Козловскиит (86) Ca₄(Fe²⁺Sn₃)(Si₂O₇)₂(Si₂O₆OH)₂ Лазараскеит (105) Cu(C₂H₃O₃)₂

Лаураниит (70) $Cu_6Cd_2(SO_4)_2(OH)_{12} \cdot 5H_2O$

Лигоуит (26) WO₃

Ломбардоит (52) Ва₂Мn³⁺(AsO₄)₂(OH)

Курсивом выделены названия минералов, открытых учеными России и СНГ, а также изученных ими совместно с учеными других стран. Цифры в скобках после названия указывают на порядковый номер минерала в данном обзоре.

Магнезиоберманит (43) $MgMn_2^{3+}(PO_4)_2(OH)_2 \cdot 4H_2O$ Майкговардит (63) Fe₄³⁺ (VO₄)₄(H₂O)₂ · H₂O Марчеттиит (106) (NH₄)C₅H₃N₄O Маттиасвайлит (78) PbTe⁴⁺O₃ *Медведевит* (68) $KMn^{2+}V_2^{5+}O_6Cl \cdot 2H_2O$ Менгеит (45) Ba(Mg,Mn²⁺)Mn₄³⁺(PO₄)₄(OH)₄·4H₂O Михальскиит (64) Cu²⁺Mg₃Fe_{3,33}(VO₄)₆ Муонионалустаит (24) – $Ni_3(OH)_4Cl_2·4H_2O$ Назаровит (7) $Ni_{12}P_5$ Нафеасит (54) NaFe³⁺(AsO₃OH)₂ · H₂O Николаиит (5) FeMoP Нитроплюмбит (37) [Pb₄(OH)₄](NO₃)₄ Нитчеит (75) $(NH_4)_2[(UO_2)_2(SO_4)_3(H_2O)_2] \cdot 3H_2O$ Оксииттробетафит-(Y) (32) Y₂Ti₂O₆O Орищинит (6) (Ni,Fe,Mo)₂P Параберцелиит (51) NaCaCaMg₂(AsO₄)₃ Парадиморфит (9) β-Аs₄S₃ Парамаркейит (81) Ca₂(UO₂)(CO₃)₃ · 5H₂O Паратоберморит (94) Ca₄(Al_{0.5}Si_{0.5})₂Si₄O₁₆(OH) 2H₂O (Ca 3H₂O) Пертолдит (25) GeO₂ Пирадокетосит (12) Ад₃SbS₃ Плиниусит (61) Ca₅(VO₄)₃F Помит (65) Са₃[V₅⁴⁺V₁₀⁵⁺O₃₇(CO₃)] 37H₂O Походяшинит (14) CuTlSb₂(Sb_{1-x}Tl_x)AsS_{7-x} Принчиваллеит (89) Na(Mn₂Al)Al₆(Si₆O₁₈)(BO₃)₃(OH)₃O Протокейсеиит (67) [Al₄(OH)₆(H₂O)₁₂][V₁₀O₂₈] · 8H₂O Псевдодиктомссенит (58) $Mg(VO_3)_2 \cdot 8H_2O$ Псевдопомит (66) Ca_{3 5}[$V_6^{4+}V_9^{5+}O_{37}(CO_3)$] · 32H₂O Радваницеит (8) GeS_2 Резницкиит (60) CaMg(VO₄)F Релиансит-(K) (47) K₄Mg(V⁴⁺O)₂(C₂O₄)(PO₃OH)₄(H₂O)₁₀ Рипхукхиллит (38) MgZn₂(PO₄)₂ · 4H₂O Румоиит (1) - AuSn₂ Саккоит (36) Ca₂Mn³⁺₂F(OH)₈ 0.5(SO₄) Сапожниковит (102) Na₈(Al₆Si₆O₂₄)(HS)₂ Светланаит (21) SnSe Сёсамбецуит $(2) - Ag_3Sn$ Служеникинит (3) $Pd_{15}(Sb_{7-x}Sn_x), 3 \le x \le 4$ Стибиоголдфилдит (17) Cu₁₂(Sb₂Te₂)S₁₃ Сеникит (76) [(UO₂)(H₂O)₂(SO₄)]₂ 3H₂O Стибиоусталечит (18) Cu₆Cu₆(Sb₂Te₂)Se₁₃ Сюйит (34) Ca₃Fe₂[(Al,Fe)O₃(OH)]₃ *Тамураит* (11) - Ir₅Fe₁₀S₁₆

Теннантит-(Cu) (15) $Cu_{12}As_4S_{13}$ *Теннантит-(Cd)* (16) Cu₆(Cu₄Cd₂)As₄S₁₃ Томиоллоит (80) Al₁₂(Te⁴⁺O₃)₅[(SO₃)_{0.5}(SO₄)_{0.5}](OH)₂₄ Томскуориит (44) NaMgAl₃(PO₄)₂(OH)₆·8H₂O Торасфит (48) Th₂H(AsO₄)₂(PO₄) 6H₂O Увит (87) CaMg₃(Al₅Mg)(Si₆O₁₈)(BO₃)₃(OH)₃(OH) *Удинаит* (59) NaMg₄(VO₄)₃ Ферритарамит (92) A Na B (CaNa) C (Mg₃Fe₂³⁺)(Si₆Al₂)O₂₂ W (OH)₂ Ферробераунит (42) Fe²⁺Fe³⁺₅ (PO₄)₄(OH)₅·6H₂O Ферропапикеит (95) NaFe₂²⁺(Fe₃²⁺Al₂)(Si₅Al₃)O₂₂(OH)₂ Ферроферрихолмквистит (93) $\Box Li_2(Fe_3^{2+}Fe_2^{3+})Si_8O_{22}(OH)_2$ Феррофеттелит (20) [Ag₆As₂S₇][Ag₁₀FeAs₂S₈] Флэггит (72) Pb₄Cu²⁺₄Te⁶⁺₂(SO₄)₂O₁₁(OH)₂(H₂O) Фрэнксаусаит (77) PbCu(Se⁶⁺O₄(OH)₂) Фторсиганит (39) Ca₂Sr₃(PO₄)₃F Химанит-(Ce) (31) (K_{0.5}Ce_{0.5})TiO₃ Холениусит-(Ce) (23) CeOF *Хреновит* (50) Na₃Fe₂³⁺(AsO₄)₃ Цзинсуйит (4) TiB₂ Цинконигерит-2*N*1*S* (29) ZnSn₂Al₁₂O₂₂(OH)₂ Цинконигерит-6*N*6*S* (30) Zn₃Sn₂Al₁₆O₃₀(OH)₂ Цоизит-(Pb) (84) CaPbAl₃(SiO₄)(Si₂O₇)O(OH) Челлериит (90) □(Mn₂²⁺Al₆(Si₆O₁₈)(BO₃)₃(OH)₃(OH) Ченоветит (73) Mg(H₂O)₆[(UO₂)₂(SO₄)₂(OH)₂]·5H₂O Чукохенит (28) (Li_{0.5}Al_{0.5})Al₂O₄ Шахдараит (33) ScYNb₂O₈ Штойделит (104) (Na₃])[(K,Na)₁₇Ca₇]Ca₄(Al₂₄Si₂₄O₉₆)(SO₃)₆F₆·4H₂O Эльгоресиит $(82) - (Mg_5Si_2)O_9$

Работа выполнена в рамках Базовой темы Лаборатории петрографии ИГЕМ РАН "Петрология и минерагения магматизма конвергентных и внутриплитных обстановок: история формирования крупных континентальных блоков", регистрационный № ЕГИСУ НИОКТР 121041500222-4.

New Minerals. LXXVII

V. N. Smolyaninova*

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS, Moscow, Russia *e-mail: smolvernik@yandex.ru

The paper displays review of new minerals published in 2022. Data for each one mineral include its crystal-chemical formula, unit cell parameters, principal physical properties, chemical composition, type locality, etymology of its name, reference of the first publishing about it. In total, the review includes data on 106 newly discovered minerals approved by the IMA. There are also references for publications on questions of classification and nomenclature of minerals, improvements of composition and structure of known mineral species.

Keywords: new minerals

= МИНЕРАЛЫ И ПАРАГЕНЕЗИСЫ МИНЕРАЛОВ =

ХРОМИТ-ФЕРРИ-УЛЬВОШПИНЕЛЕВАЯ СЕРИЯ МИНЕРАЛОВ ЩЕЛОЧНЫХ ПИКРИТ-БАЗИТОВЫХ ПОРОД СЕВЕРА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ И ИХ ОКСИТЕРМОБАРОМЕТРИЯ

© 2023 г. Д. чл. А. В. Округин*

Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, Якутск, 677980 Россия *e-mail: okrugin@diamond.ysn.ru

> Поступила в редакцию 09.12.2022 г. После доработки 03.08.2023 г. Принята к публикации 02.10.2023 г.

Рассматриваются типохимические особенности шпинелей, образующих непрерывные серии от алюмо-хромшпинелей до ферришпинелей и ульвошпинели из базитультрабазитовых пород севера Сибирской платформы. На предлагаемой автором модифицированной объемной диаграмме в координатах Al–Cr–($Fe^{3+} + 2Ti$)– Fe^{2+} сравнивается состав этих шпинелей с шпинелями из щелочных базальтов океанических островов и лунных морских базальтов. Установление непрерывной изоморфной серии от хромшпинелей к ульвошпинели является одним из минералогических индикаторов возможной парагенетической связи между пикрит-базальтовыми, щелочными оливин-базальтовыми, щелочно-ультраосновными и кимберлитовыми формациями на севере Сибирской платформы. С помощью оливин-хромшпинелевого окситермобарометра показано, что для изученных пород величина летучести кислорода lg/O_2 на 2–4 порядка выше задаваемой буфером фаялит-магнетит-кварц (FMQ) и соответствует состоянию окисленности платиноносных дунит-клинопироксенитовых ассоциаций пород урало-аляскинского и алданского типов.

Ключевые слова: хромит, ульвошпинель, щелочные породы, пикриты, базиты, дуниты, окситермобарометрия, Сибирская платформа

DOI: 10.31857/S0869605523060035, EDN: GOOTPC

Хромшпинелиды являются типоморфными акцессорными и рудообразующими минералами мафит-ультрамафитовых комплексов и в силу своей широкой изоморфной изменчивости служат чутким минералом-индикатором геохимической специализации материнских пород, что может быть использовано для многих петрологических и поисково-прогностических целей. На севере Сибирской платформы широко развиты комплексы ультраосновных шелочных пород и карбонатитов (УЩК), кимберлитов, щелочных базальтоидов с необычной изоморфной серией хромит-ферри-ульвошпинелевых минералов. Такие шпинелиды были установлены разными исследователями в перидотитах, пикритах и меймечитах Маймеча-Котуйской провинции (Васильев и др., 1976; Соболев, 1978), в пикритовых долеритах Норильских месторождений (Генкин и др., 1979), кимберлитах Анабарского района (Бабушкина, 2008), а также в алмазоносных отложениях карнийского яруса верхнего триаса в низовьях р. Лены (Николенко и др., 2018).

При изучении платиновых металлов в россыпях севера Сибирской платформы автором в 1990-х годах в шлихах аллювия р. Уджа, в районе выхода Томторского масси-

ва, были обнаружены зерна, представленные в основном титанистым алюмохромитом, феррихромитом и хроммагнетитом (Округин, 2005). На этом основании было высказано предположение о возможности локализации в данном районе платиноносных мафит-ультрамафитовых комплексов близких по минералого-геохимическим признакам таковым Маймеча-Котуйской провинции. Позднее в бассейне р. Анабар шпинелиды подобного состава были установлены в пикробазальтах устья р. Анабар, трахидолеритах Эбехаинского дайкового пояса, оливиновых мелилититах и карбонатитах Томторского массива (Округин и др., 2012; Округин, Журавлев, 2020). Следует отметить находки Cr-Ti-ферришпинелидов в тефритах кайнозойских вулканов Балаган-Тас и о. Жохова в восточной Якутии (Мохначевский, Округин, 2015). В связи с этим в данном сообщении автором рассматривается типохимизм непрерывного ряда от алюмо-хромшпинелей до ферришпинелей и ульвошпинели из базит-ультрабазитовых пород севера-востока Сибирской платформы в сравнении с шпинелями из щелочных базальтов океанических островов и лунных морских базальтов на предлагаемой автором объемной диаграмме Al-Cr-(Fe³⁺ + 2Ti)-Fe²⁺. Обсуждается также более узкий круг вопросов относительно редокс-состояния появления ранних оливин-хромшпинелевых парагенезисов в щелочных ультрамафит-мафитовых породах северо-востока Сибирской платформы на основе оливин-шпинелевого окситермобарометра (Ballhaus et al., 1991).

СОСТАВ ХРОМИТ-УЛЬВОШПИНЕЛЕВОЙ СЕРИИ МИНЕРАЛОВ И МЕТОДИКА ИХ ИЗУЧЕНИЯ

Минералы хромит-ульвошпинелевой изоморфной серии могут формироваться в процессе фракционной дифференциации ультрамафит-мафитовой магмы. Часто они встречаются в виде разрозненных мелких оплавленных кристаллов октаэдрической формы, но иногда хромит и ферри-ульвошпинель наблюдаются в форме включений в крупных протокристаллах оливина. Закономерное расположение шпинелидов в зональных зернах оливина указывает на формирование парагенетической оливин-шпинелевой ассоциации, зависящей от химической специализации исходной магмы, *P*-*T* условий и фугитивности кислорода, определяющих порядок и длительность фазовой кристаллизации расплава. Присутствие серии минералов, состав которых меняется от хромшпинелей до высоко-титанистого магнетита и ульвошпинели было установлено нами в образцах малоизвестных триасовых покровов высоко-Ті щелочных пикритобазальтов, развитых в устье р. Анабар (табл. 1, обр. 10640–10642). Подобные минералы были также обнаружены в трахидолеритах Анабаро-Уджинского междуречья (обр. ЭХ-1), принадлежащих пермо-триасовому Эбехаинскому дайковому поясу (Томшин и др., 1997), и мелких сателлитных телах в южном обрамлении Томторского массива, представленных силлом щелочных пикритов (обр. То-4) и дайкой карбонатитов (обр. То-5). В табл. 1 приведены также составы тефритов кайнозойских вулканов о. Жохова (обр. Жх-2) и Балаган-Тас (обл. БТ-1) с Cr-Ті-ферришпинелью. Анализ силикатных пород, в которых изучались шпинелиды, выполнен методом мокрой химии в химико-аналитической лаборатории ИГАБМ СО РАН под руководством Л.Т. Галенчиковой.

Микроструктурные взаимоотношения фаз изучались на сканирующем микроскопе JSM-6480LV JEOL в ИГАБМ СО РАН. Химический состав минералов определялся на микрозондовом анализаторе Camebax-Micro. Съемка проводилась при ускоряющем напряжении 20 кВ и силе тока зонда 10 нА, а в качестве эталонов применялись стандартизированные минералы. Аналитики: Н.В. Лескова, Л.М. Попова, Н.В. Христофорова. Наиболее представительные анализы шпинелидов, охватывающие весь диапазон изменения составов приводится в табл. 2, где также указано содержание фаялито-

№ проб	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	CO ₂	п.п.п.	Сумма
10640	44.24	4.57	8.72	7.01	7.36	0.23	10.12	11.54	1.78	1.90	0.57	_	1.88	99.92
10641	40.24	4.42	6.63	5.32	8.69	0.25	16.48	11.52	2.01	1.39	0.60	_	1.68	99.23
10642	40.14	5.39	7.94	9.59	6.32	0.24	10.64	11.57	2.71	2.51	0.94	—	2.46	100.45
ЭХ-1	43.75	5.98	11.20	5.68	8.48	0.18	5.34	9.30	2.89	2.37	1.13	—	3.55	99.85
To-4	31.25	2.87	8.38	10.29	5.82	0.18	15.18	11.12	0.63	2.57	1.22	5.37	5.10	99.98
To-5	14.12	1.86	5.17	6.71	7.18	0.34	4.99	29.23	0.21	0.82	1.25	24.96	3.10	99.94
Жх-2	44.34	2.16	12.78	5.23	6.20	0.10	13.54	7.60	4.76	2.35	0.68	_	0.23	99.97
БТ-1	46.61	2.38	14.61	5.81	4.99	0.14	7.85	7.98	5.61	2.45	1.24	_	0.49	100.16

Таблица 1. Химический состав (мас. %) изученных проб **Table 1.** Chemical composition (wt %) of studied samples

вого (Fa) компонента в оливине, в котором находился анализированный минерал в виде включения.

В указанных породах хромшпинелиды обычно встречаются в штуфных пробах в виде редких мелких (размером 0.1–0.2 мм, реже до 0.5 мм) округлых зерен с реликтами октаэдрических кристаллических граней минерала. Иногда они наблюдаются в форме включений с полигональными кристаллическими очертаниями в протокристаллах оливина, пироксена и флогопита (рис. 1). В тефритах вулкана о. Жохова установлено, что если в центральных, наиболее магнезиальных, частях зональных вкрапленников оливина включения представлены хромшпинелями, то к периферийным зонам оливина тяготеет хромистый титаномагнетит, а в тонкозернистой основной массе вулканитов распространен типичный для базитов титаномагнетит (рис. 1, *в*).

Сравнительная характеристика шпинелидов разными исследователями рассматривается на многочисленных видах диаграмм из-за весьма широкой изоморфной измен-



Рис. 1. Включения шпинелей (белое) во вкрапленнике оливина (Fo₈₆) из пикритобазальта устья р. Анабар (ан. 44/163, табл. 2) (*a*); корродированном кристалле магнетита с хромшпинелевым (ан. 20-1, табл. 2) ядром (серое) в фенокристалле флогопита из дайки карбонатита (To-5) Томторского массива (*b*); во вкрапленнике оливина и микрозернистой основной массе тефритов о. Жохова (обр. Жх-2) (*b*). Фото в отраженных электронах.

Fig. 1. Spinel inclusions (white) in the olivine (Fo₈₆) phenocryst from the picrobasalt from estuary of the Anabar R. (sample 44/163, table 2) (*a*); corroded magnetite crystal with a Cr-spinel core (gray) in a phlogopite phenocryst of carbonatite dyke (To-5) of the Tomtor massif (δ); in the olivine phenocryst and groundmass of tephrite of the Zhokhov Island (Zh-2) (*a*). BSE images.

T and a state	TADAL DA		and yes	(0/ 1) 0										- 7	÷		
№ проб	№ ан.	Fа	TiO_2	Al_2O_3	Cr_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	Сумма	Ti	AI	Cr	Fe ²⁺	Fe⁺⊤	Mn	Mg
10639	39/3	26	8.82	9.02	17.82	26.71	29.94	0.64	6.77	99.72	0.228	0.366	0.485	0.692	0.862	0.019	0.348
10639	37 /3	18	4.13	13.29	30.50	19.41	22.18	0.08	9.92	99.52	0.102	0.517	0.796	0.482	0.612	0.002	0.488
10641	58/3	17	11.29	4.78	15.47	29.05	29.97	0.69	7.51	98.76	0.299	0.199	0.431	0.771	0.884	0.021	0.395
10641	55/3	14	7.94	4.83	28.28	24.68	24.40	0.07	9.92	100.12	0.204	0.194	0.764	0.634	0.697	0.002	0.505
10641	56/3	13	5.39	7.53	33.50	22.40	20.11	0.70	11.27	100.91	0.134	0.294	0.878	0.559	0.558	0.020	0.557
10642	163	6	10.11	1.33	18.83	29.60	36.01	0.77	2.55	99.20	0.282	0.058	0.552	0.826	1.117	0.024	0.141
10642	43	15	9.43	3.55	26.56	24.56	25.75	0.06	9.68	99.58	0.245	0.145	0.726	0.639	0.744	0.002	0.499
10642	44	14	6.85	4.95	36.88	17.08	23.15	0.70	9.57	99.19	0.177	0.201	1.003	0.442	0.666	0.020	0.491
10642	37/4	Ι	5.47	6.33	41.55	14.09	19.97	0.21	11.27	98.90	0.139	0.252	1.111	0.358	0.565	0.006	0.568
ЭХ-9 3	50	I	10.55	6.94	29.25	15.35	28.58	0.22	8.86	99.75	0.270	0.279	0.788	0.393	0.814	0.006	0.450
То-4	285	I	9.19	6.36	7.56	38.15	32.49	0.94	4.66	99.35	0.247	0.268	0.213	1.025	0.970	0.028	0.248
То-4	297	I	7.31	7.74	13.26	35.27	31.69	0.91	4.56	100.73	0.192	0.319	0.367	0.929	0.927	0.027	0.238
То-4	18	I	7.45	5.36	30.58	21.16	28.93	0.49	6.58	100.55	0.194	0.219	0.839	0.553	0.840	0.014	0.340
То-4	12	I	1.91	15.96	43.34	9.77	15.21	0.18	13.56	99.92	0.045	0.594	1.083	0.232	0.402	0.005	0.639
То-4	6	I	3.54	6.03	45.76	12.46	25.22	0.40	6.86	100.27	0.092	0.245	1.248	0.323	0.727	0.012	0.353
To-5	4-5	I	5.38	5.01	17.12	38.11	30.69	0.25	4.35	100.91	0.144	0.210	0.480	1.018	0.911	0.008	0.230
To-5	23-4	Ι	5.31	21.72	23.84	15.82	22.06	0.35	11.88	100.98	0.124	0.793	0.584	0.369	0.572	0.009	0.549
To-5	20-1	I	2.28	23.67	31.91	11.55	16.56	0.32	13.74	100.03	0.052	0.853	0.771	0.266	0.423	0.008	0.626
To-5	6	I	2.12	14.68	43.26	9.70	17.24	0.44	11.94	99.38	0.051	0.558	1.103	0.236	0.465	0.012	0.574
БТ-4	21/4	15	13.79	6.29	10.89	25.65	36.18	0.36	5.26	98.43	0.370	0.264	0.307	0.689	1.079	0.011	0.280
BT-4	22/4	17	9.03	8.47	12.52	31.49	31.30	0.26	6.02	90.09	0.238	0.349	0.346	0.829	0.916	0.008	0.314
БТ-4	20/4	17	4.84	13.16	20.57	27.21	26.40	0.22	7.47	99.87	0.122	0.521	0.546	0.688	0.742	0.006	0.374
BT-1	37	19	2.99	20.00	23.43	20.33	23.60	0.23	8.90	99.48	0.073	0.762	0.599	0.494	0.638	0.006	0.429
Жх-2	83	37	15.38	4.26	6.71	27.48	41.72	0.51	2.22	98.28	0.427	0.185	0.196	0.764	1.289	0.016	0.122
Жх-2	86	36	14.02	3.95	12.47	25.89	39.89	0.74	2.75	99.71	0.383	0.169	0.358	0.707	1.211	0.023	0.149
Жх-2	84	34	7.23	10.96	21.60	22.80	31.75	0.24	5.16	99.74	0.187	0.445	0.589	0.591	0.915	0.007	0.265
Жх-2	7	16	4.84	17.76	25.59	17.33	24.33	0.36	9.21	99.42	0.118	0.681	0.658	0.424	0.662	0.010	0.447
Жх-3	2-19	8	0.09	29.80	40.33	2.66	11.87	0.20	16.46	101.42	0.002	1.016	0.922	0.058	0.287	0.005	0.710
Жх-3	3-19	6	0.13	28.89	40.54	2.39	11.82	0.20	16.16	100.13	0.003	1.000	0.941	0.053	0.290	0.005	0.708
Примечан	ие. № п	po6: 1	10639-10	642 — шик	сритобаза	льты усть	я р. Анаб	iap; 3X-9	3 – Tpaxi	идолериты /	Анабаро-	Уджинско	го между	речья; Тс	о-4 – щел	и энные пи	ікриты и
То-5 – кар	бонатил	'bi To	мторског	о массиве	ι; БТ-4; Б	T-1 – Teф	риты вул	кана Бала	аган Таас	;; Жх-2 – те	фриты ву	лкана о.	Koxoba; >	<u>К</u> х-3 – кс	сенолиты	шпинеле	вых лер-
цолитов из	з тефрил	OB 0.	Жохова.	Fa – соде	ржание ф	оялитово	TO KOMITO	нента (мо	он. %) в о	ливине, сос	уществун	ощем со г	плинельк				

 Таблица 2. Представительные анализы (мас. %) шпинелей

 Table 2. Representative analyzes (wt %) of spinels

83



Рис. 2. Состав шпинелидов из пород севера Сибирской платформы. 1 - щелочные пикритобазальты устья р. Анабар; 2 - щелочные пикриты (*a*) и карбонатиты (*б*) Томторского массива; 3 - тефриты вулканов Балаган-Тас (*a*), о. Жохова (*б*) и ксенолиты лерцолитов (*в*) из лав о. Жохова; 4 - кимберлиты трубки Малокуонамская (Бабушкина, 2008); 5-9 - поля составов (*n* – количество анализов): 5 - алмазоносные верхнетриасовые гравелиты (*n* = 24) р. Лены (Николенко и др., 2018); 6 - алмазоносные кимберлиты (*a*) Якутии (*n* = = 118), в том числе хромиты алмазной ассоциации (*б*) (Соболев и др., 1975); 7 - дуниты, перидотиты, меймечиты и пикриты (*n* = 44) Гулинского массива (Васильев и др., 1976; Соболев, 1978); 8 - габбро-долериты (*n* = 4138) Норильского и Талнахского интрузивов (Генкин и др., 1976; Соболев, 1978); 9 - лунные морские базальты (*n* = 137) (Agrell et al., 1970; Хэггерти, 1974; Свешникова и др., 1980); 10 - изотермы (T, °C) сольвусов систем MgCr₂O₄-MgAl₂O₄-Mg₂TiO₄ (пунктирные линии) и FeCr₂O₄-FeAl₂O₄-Fe₂TiO₄ (штрих-пунктирные линии) по (Muan et al., 1972).

Fig. 2. Composition of spinels from rocks in the north of the Siberian platform. I – alkaline picrobasalts from estuary of the Anabar River; 2 – alkaline picrite (a) and carbonatite (δ) of the Tomtor massif; 3 – tephrites of the volcanoes Balagan-Tas (a), Zhokhova (δ) and xenoliths of spinel lherzolites (a) from the lava of the volcano Zhokhova; 4 – kimberlite of Malokuonamskaya pipe (Babushkina, 2008); 5-9 – composition fields (n, number of analyzes): 5 – Upper Triassic diamondiferous gritstones of the Lena R. (Nikolenko et al., 2018); 6 – diamondiferous kimberlites (a) of Yakutia (n = 118), including chromite of diamond association (δ) by (Sobolev et al., 1975); 7 – dunites, peridotites, meimechites and picrites (n = 44) of Guli massif (Vasil'ev et al., 1976; Sobolev, 1978); 8 – gabbro-dolerites (n = 4138) of Norilsk and Talnakh intrusions (Genkin et al., 1976; Chayka et al., 2020); 9 – lunar marine basalts (n = 137) (Agrell et al., 1970; Haggerty, 1974; Sveshnikova et al., 1980); 10 – isotherms (T, °C) of solvus of systems MgCr₂O₄–MgAl₂O₄–Mg₂TiO₄ (dotted lines) and FeCr₃O₄–FeAl₂O₄–Fe₂TiO₄ (dash-dotted lines) according to (Muan et al., 1972).

чивости состава этих минералов. Для этого часто используются закономерности изменения атомных количеств катионов, занимающих различные позиции в структуре шпинелей, что позволяет выявить типоморфные особенности минералов из различных типов пород. С такой целью автором производился расчет эмпирических формул

85

шпинелей наиболее распространенным катионным методом (Кривовичев, Гульбин, 2022) в пересчете на 3 катиона, в соответствии с коэффициентами в формуле (к. ф.) шпинелей ^{IV}(\mathbb{R}^{2+})^{VI}(\mathbb{R}^{3+})₂O₄. При этом в алюмо- и хромшпинелях с нормальной структурой двухвалентные катионы занимают обычно позиции с четверной координацией, а трехвалентные металлы – с шестерным окружением. Для магнетита и ульвошпинели характерны обращенные (инверсионные или неупорядоченные) структуры типа ^{IV}($\mathbb{F}e^{3+}$)^{VI}($\mathbb{F}e^{2+}\mathbb{F}e^{3+}$)₂O₄ и ^{IV}($\mathbb{F}e^{2+}$)^{VI}($\mathbb{F}e^{2+}\mathbb{T}i^{4+}$)₂O₄ соответственно.

В случае определения методом рентгеноспектрального микроанализа общего железа, его разделение на Fe²⁺ и Fe³⁺ производится путем пересчета на кристаллохимическую формулу. Количество Fe³⁺ определяется по формуле: Fe³⁺ = 2 - Al - Cr - 2Ti. Содержание FeO по формуле: FeO = FeO_{tot} $- 0.9Fe_2O_3$. Как правило, после 1-3 итераций суммы двух и трехвалентных катионов приобретают правильное для формул шпинелей соотношение (1 : 2). Исключение составляют шпинели, образующие твердый раствор с гематитом, ильменитом или корундом; такие анализы в статье не рассматриваются. Результаты пересчета наиболее представительных анализов шпинелей приведены в табл. 2.

Изменение состава шпинелей удобно рассматривать на тройной диаграмме в координатах основных трехвалентных ионов: Al^{3+} , Cr^{3+} и ($Fe^{3+} + 2Ti^{4+}$) (рис. 2). Этим ионам соответствуют три главных семейства шпинелей: хром-, алюмо- и ферришпинели. При этом титан обычно включается в ферришпинелевый компонент, т.к. он проявляет преимущественно гетеровалентный изоморфизм по схеме $2Fe^{3+} \leftrightarrow (Fe^{2+} + Ti^{4+})$, образуя титаномагнетитовый тренд. С целью размежевания тренда Ti и Fe^{3+} , диаграмму $Al-Cr-(Fe^{3+} + 2Ti^{4+})$ дополняют диаграммой $Fe^{3+}-(Al + Cr)-2Ti$, поскольку Ti по кристаллохимическим свойствам более близок к Fe и Cr, а с Al он дает широкую область несмесимости (Muan et al., 1972). На этой треугольной диаграмме выделятся три поля шпинелей, крайние члены которых представлены магнетитом (Fe,Mg)(Fe^{3+})₂O₄, ульвошпинелью Fe($Fe^{2+}Ti^{4+}$)₂O₄ и Al-Cr-шпинелью (Fe,Mg)(Al,Cr)₂O₄.

К стороне диаграммы Al—Cr целесообразно приложить прямоугольную систему, показывающую соотношение основных двухвалентных катионов (Fe и Mg), находящихся в четверной координации, разделяя тем самым шпинели на железистые и магнезиальные. В итоге мы получаем мультидиаграмму (рис. 2), где видно, что поля составов шпинелидов из различных типов пород частично перекрываются, но они име-

Рис. 3. Вариации содержаний катионов (R, к.ф.) в формуле шпинелей относительно их титанистости (Ti, к.ф.) для различных пород. *a* – лунные морские базальты (Agrell et al., 1970; Свешникова и др., 1980; Хэггерти, 1994) и реголит из материкового района (Грунт..., 1979); *б* – щелочные пикриты и карбонатиты Томторского массива, меланефелениты и пикробазальты устья р. Анабар, тефриты вулканов Балаган-Тас и о. Жохова; *в* – базальты о. Лорд-Хау (Плошко, Тронева, 1979), о. Гавайи (Wilkinson, Hensel, 1988; Sobolev, Nikogosian, 1994), Императорских подводных гор (Claque et al., 1980) и Исландии (Муравьева и др., 1979); *е* – кимберлиты трубки Малокуонамская (Бабушкина, 2008). *I*–*3* – поля распределения содержаний (Al + Cr), Fe³⁺ и Fe²⁺ = (^{IV}Fe²⁺ + ^{VI}Fe²⁺) соответственно; *4* – поля распределения содержаний Mg; *5* – линия, показывающая прямую пропорциональность содержаний (^{VI}R²⁺ + Ti) и Ti (пояснения в тексте).

Fig. 3. Variations of contents of cations R, *apfu* in spinel formula versus content of Ti, *apfu* for various rocks. *a* – lunar marine basalts (Agrell et al., 1970; Sveshnikova et al., 1980; Haggerty, 1994) and regolith from the highland region (Regolith..., 1979); δ – alkaline picrite and carbonatites of the Tomtor massif, melanefelenites and picrobasalts of the Anabar River, tephrites of the volcanoes Balagan-Tas and Zhokhova; *e* – basalts of Lord Howe Island (Ploshko, Troneva, 1979), Hawaii Island (Wilkinson, Hensel, 1988; Sobolev, Nikogosian, 1994), Emperor Seamount (Claque et al., 1980) and Iceland (Muravyeva et al., 1979); *e* – kimberlites of the Malokuonamskaya pipe (Babushkina, 2008). *1–3* – fields of (Al + Cr), Fe³⁺ and Fe³⁺ = (^{IV}Fe²⁺ + ^{VI}Fe²⁺) respectively; *4* – values of Mg; *5* – line showing the direct proportionality of contents of (^{VI}R²⁺ + Ti) and Ti.



ют свои типохимические индикаторные особенности. Можно выделить три основных тренда: 1 – хромит-алюмошпинелевый изоморфный ряд, вытянутый вдоль Al–Cr стороны диаграммы (характерен для альпинотипных перидотитов и глубинных ксенолитов из кимберлитов и щелочных базальтов); 2 – хромит-магнетитовый ряд (свойственный дифференцированным мафит-ультрамафитовым интрузивам), 3 – хромит-ульвошпинелевый ряд (проявленный в щелочных базит-ультрабазитовых магматитах).

Изученные нами шпинели принадлежат хромит-ульвошпинелевому ряду и близки таковым из ультрамафитов Гулинского массива и кимберлитов Малокуонамской трубки. Особое положение занимают шпинели из лунных базальтов, состав которых трассируется от алюмо-хромшпинелей прямо к ульвошпинелевому углу, показывая минимальное содержание в них магнетитового компонента. Это свидетельствует об особо восстановительных условиях их кристаллизации и формировании ульвошпинелевого тренда лунных шпинелей по схеме $2Cr^{3+} \leftrightarrow (Fe^{2+} + Ti^{4+})$, в отличие от земных, где преобладает титаномагнетитовый тренд, заканчивающийся на границе магнетитового и ульвошпинелевого полей. Расширение области распространения шпинелей магнетит-ульвошпинелевого ряда (рис. 2), возможно, объясняется расположением сольвуса Fe_3O_4 — Fe_2TiO_4 в зоне с более низкой температурой (O'Neil, Navrotsky, 1984), что обуславливает сосуществование магнетита и ульвошпинели вплоть до позднемагматических этапов.

Зависимости содержаний катионов в шпинелях из различных лунных и земных пород от их титанистости показаны на рис. 3. Из этих диаграмм видно, что с повышением содержания Ті в шпинелях понижается их магнезиальность и возрастает содержание катионов Fe²⁺, входящих как в тетраэдрическую, так и октаэдрическую позиции. При этом отмечается, что содержание Fe²⁺, практически всегда больше чем Ті и поле Fe²⁺ находится выше пунктирной линии, показывающей прямую пропорциональность содержаний (^{VI}Fe²⁺ + Ti) и Тi. Таким образом, можно предположить, для формирования природной ульвошпинели всегда достаточно Fe²⁺ и вероятность вхождения магния в ульвошпинель, за редким исключением, очень низка.

Для более отчетливого восприятия тренда изменения таких минеральных серий автором предлагается объемная диаграмма (рис. 4) в координатах Al–Cr–(Fe²⁺ + 2Ti)–Fe²⁺_{tot}. Данная диаграмма отличается от шпинелевой призмы Джонстона, которую C.E. Хэггерти (1974) применяет для номенклатуры фаз из лунных пород, тем, что имеет форму призмы с треугольным основанием и со скошенной верхней плоскостью. Такая форма диаграммы обусловлена ординатой, которая соответствует содержанию двухвалентных катионов. Коэффициент в формуле составляет 2 в ульвошпинелевом Fe₂TiO₄ углу диаграммы и не превышает 1 на Al–Cr-шпинелевой (Fe²⁺,Mg)(Al,Cr)₂O₄ грани. Для отслеживания тренда по горизонтали точки составов проецируются на нижнее треугольное основание призмы, которое является по существу тройной Al–Cr–(Fe³⁺ + 2Ti) диаграмии (рис. 2), где выделены области хром-, алюмо- и ферри-ульвошпинелей (цифрами 1, 2, 3 в кружках соответственно).

На первой диаграмме (рис. 4, *a*) показаны составы лунных шпинелей, где видно, что шпинели из базальтов морских районов Луны преимущественно образуют непрерывный тренд от железистого хромита до практически чистой ульвошпинели Fe_2TiO_4 , тесно прилегающий к верхней наклонной поверхности диаграммы. В породах приподнятых материковых участков Луны, которые сложены в основном светлыми анортозитами, норитами и габброидами, присутствуют магно-алюминиевые шпинели, составы которых локализованы в ближнем нижнем левом (MgAl₂O₄) углу диаграммы. Пересечение областей составов "морских" и "материковых" шпинелей объясняется неоднородностью лунного реголита, в особенности, в приграничных участках.

На второй диаграмме (рис. 4, *б*) шпинели из щелочных пикритов и карбонатитов Томторского массива образуют единый протяженный ряд от Ті-содержащего умеренно железистого хромита до высоко-Ті магнетита, приближаясь к ульвошпинелевой области. Шпинели аналогичного состава обнаружены также в пикробазальтах и меланефеленитах устья р. Анабар. Подобные анабарским шпинели характерны и для тефритов кайнозойских вулканов Балаган-Тас и о. Жохова (рис. 4, *в*). Составы шпинелей ксенолитов лерцолитов (Сурнин и др., 1998) из лавы вулкана о. Жохова находятся обособленно в алюмошпинелевом углу.

По минералого-геохимическим характеристикам тефриты вулканов Балаган-Тас и Жохова относятся к щелочным базальтоидам внутриплитного типа (Мохначевский, Округин, 2015). По повышенным содержаниям TiO₂, P₂O₅ и K₂O они также близки вышеупомянутым высоко-Ti щелочным пикрито-базальтам бассейна р. Анабар, кото-



Рис. 4. Состав шпинелидов на Al–Cr–(Fe³⁺ + 2Ti)–Fe²⁺ диаграмме. a – лунные морские базальты (l) по (Agrell et al., 1970; Хэггерти, 1994; Свешникова и др., 1980) и реголит из материкового района (2) по (Грунт..., 1979); δ – шелочные пикриты и карбонатиты Томторского массива (l) и меланефелениты и пикробазальты (2) устья р. Анабар; a – тефриты вулканов Балаган-Тас (la), о. Жохова ($l\delta$) и ксенолиты шпинелевых лерцолитов (2) из лав вулкана о. Жохова; e – базальты (la) о. Лорд-Хау (Плошко, Тронева, 1979), о. Гавайи ($l\delta$) и ксенолиты из лавы Хуалалай (2) по (Wilkinson, Hensel, 1988; Sobolev, Nikogosian, 1994).

Fig. 4. Composition of spinels on Al–Cr–(Fe³⁺ + 2Ti)–Fe²⁺ diagram. *a* – lunar marine basalts (*I*) by (Agrell et al., 1970; Haggerty, 1994; Sveshnikova et al., 1980) and regolith from the highland region (*2*) by (Regolith..., 1979); δ – alkaline picrite and carbonatite of the Tomtor massif (*I*) and melanefelenites and picrobasalts (*2*) of the Anabar River; e – tephrites of the volcanoes Balagan-Tas (*Ia*), Zhokhova (*I* δ) and xenoliths of spinel lherzolites (*2*) from the lava of the volcano Zhokhova; e – basalts (*Ia*) of Lord-Howe Island (Ploshko, Troneva, 1979), Hawaii (*I* δ) and xenoliths from Hualalai lava (*2*) by (Wilkinson, Hensel, 1988; Sobolev, Nikogosian, 1994).

рые в свою очередь аналогичны таковым Маймеча-Котуйской провинции (Округин и др., 2012). Таким образом, породы вулкана Балаган-Тас, расположенного в Момской рифтовой зоне на границе Евроазиатсткой и Северо-Американской плит, и вулкана о. Жохова, находящегося на крыле Фадеевского рифта Северо-Американсой плиты, являются современными аналогами магматизма, проявлявшегося в PZ₂ и пермьтрисовое время на севере Сибирской платформы.

В других регионах ряд от Al-Cr-шпинелей до ульвошпинели наблюдается, например, в океанитах о. Лорд-Хау, лавах Килауэа и Мауна-Лоа о. Гавайи и щелочном базальте Исландии (Муравьева и др., 1979; Плошко, Тронева, 1979; Wilkinson, Hensel, 1988). Тренд изменения состава шпинелидов из базальтов данных океанических островов (рис. 4, *г*) занимает промежуточное положение между шпинелями лунных базальтов и пород Анабарского района, а также кайнозойских базальтов Якутии.

ОКСИТЕРМОБАРОМЕТРИЯ ЩЕЛОЧНЫХ ПИКРИТ-БАЗИТОВЫХ ПОРОД

Характеристика окислительно-восстановительного состояния магматических пород имеет большое значение для определения условий зарождения и эволюции рудномагматических систем в связи с их потенциальной рудогенерирующей способностью. Поскольку в изученных породах хромшпинель-ульвошпинелевая ассоциация наиболее часто встречается в виде включений во вкрапленниках оливина (табл. 2), оценка их редокс-состояния проводилась по оливин-хромшпинелевому окситермобарометру (Ballhaus et al., 1991). Расчет fO_2 производился по формуле, откорректированной авторами в 1994 г.:

$$\Delta \lg (fO_2)^{FMQ} = 0.27 + 2505/T - 400P/T - 6 \lg (X_{Fe}^{ol}) - 3200 (1 - X_{Fe}^{ol})^2/T + 2 \lg (X_{Fe^{2+}}^{sp}) + 4 \lg (X_{Fe^{3+}}^{sp}) + 2630 (X_{Al}^{sp})^2/T,$$

а температура определялась по уравнению:

$$T, K = \left[(6530 + 280P + 7000 + 108P) \left(1 - 2X_{\text{Fe}}^{\text{ol}} \right) - 1960 \left(X_{\text{Mg}}^{\text{sp}} - X_{\text{Fe}^2}^{\text{sp}} \right) + 16150X_{\text{Cr}}^{\text{sp}} + 25150 \left(X_{\text{Fe}^3}^{\text{sp}} + X_{\text{Ti}}^{\text{sp}} \right) \right] / \left(R \ln K_D^{\text{ol}-\text{sp}} + 4.705 \right),$$

где $K_D^{\text{ol-sp}} = (X_{\text{Mg}}^{\text{ol}} X_{\text{Fe}2}^{\text{sp}}) / (X_{\text{Fe}}^{\text{ol}} X_{\text{Mg}}^{\text{sp}}); X_{\text{Fe}}^{\text{ol}}, X_{\text{Mg}}^{\text{ol}}, X_{\text{Fe}^{2+}}^{\text{sp}} \text{ и } X_{\text{Fe}^{2+}}^{\text{sp}} - \text{отношения } \mathbb{R}^{2+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$ в оливине и шпинели; $X_{\text{Fe}^{3+}}^{\text{sp}}, X_{\text{Al}}^{\text{sp}}, X_{\text{Cr}}^{\text{sp}} - \text{катионные доли } \mathbb{R}^{3+}/(\text{Fe}^{3+} + \text{Al} + \text{Cr})$ в

формуле шпинели соответственно, $X_{\text{Ti}}^{\text{sp}}$ – число катионов Ti в шпинели, R – универсальная газовая постоянная 8.3144 Дж/(моль K). Давление (P) принято равным 1 ГПа.

Результаты выполненных расчетов показаны на диаграмме $\lg/O_2 - T$ (рис. 5). Как видно на графике, значения фугитивности кислорода для сосуществующих глубинных оливин-хром-ульвошпинелевых парагенезисов из пикробазальтов и меленефеленитов устья р. Анабар растягиваются вдоль линии (FMG +3), на 3 единицы \lg/O_2 превышающей буфер FMG, в интервале температур 900–1380 °C. Включения Cr-Ti-шпинелей в протокристаллах оливина из тефритов вулканов Балаган-Тас и о. Жохова дают подобный тренд заключенный в пределах +(2–3) логарифмических единиц выше FMG в интервале температур 850–1130 °C. Такой, довольно узкий диапазон вариации значений фугитивности O_2 в широком интервале температур свидетельствует о хорошей сопоставимости и достоверности полученных данных. Примечательно также то, что эти значения совпадают с полем значений \lg/O_2 и *T* для дунитов и хромититов Платиноносного пояса Урала, полученных с помощью того же окситермобарометра (Чащухин и др., 2002). Значения \lg/O_2 рассчитанные автором для дунитов, хромититов



Рис. 5. Диаграмма $\lg/O_2 - T$, построенная по данным, полученным с помощью оливин-хромшпинелевого окситермобарометра (Ballhaus et al., 1991). 1 -устье р. Анабар: пикробазальты (*a*), оливиновые меланефелениты (*b*), меланефелениты (*b*) р. Анабар; 2 -тефриты вулканов Балаган-Тас (*a*), о. Жохова (*b*) и ксенолиты лерцолитов (*b*) из лав о. Жохова; 3 -дуниты, хромититы, включения в изоферроплатине Инаглинского массива; 4 -ультрамафиты и хромититы Платиноносного пояса Урала (ППУ) (Чащухин и др., 2002); перидотиты массива Бени-Бушера (ББ) (Woodland et al., 1992), перидотиты и базальты срединно-океанических хребтов (COX) (Woodland, 1990); 5 -лавы Мауна-Лоа и Килауза о. Гавайи (Rhodes, Vollinger, 2005); 6 -точ-ка (C) – измеренная величина fO_2 в лавовом озере Килауза, (A–B) – предполагаемый тренд равновесной кристаллизации магмы (Hill, Roeder, 1974); 7 -фазовый состав в оливиновых толеитах Килауза по экспериментам (Hill, Roeder, 1974); 8 -кривые буферных реакций магнетит-гематит (MN), фаялит-магнетит-кварц (FMQ), углерод-кислород-СО (ССО) и железо-вюстит (IW), рассчитанные для давления 1 ГПа: MN (Schwab, Kistner, 1981), FMQ и IW (O'Neill, 1987) и ССО (Jakobsson, Oskarsson, 1994).

crobasalts (*a*), olivine melanefelenites (δ), melanefelenites (*a*) of the Anabar River; 2 – tephrites of the volcanoes Balagan-Tas (*a*), Zhokhova (δ) and xenoliths of spinel lherzolites (*b*) from the lava of the volcano Zhokhova; 3 – dunites, chromitites, inclusions in the isoferroplatinum of the Inagli massif; 4 – ultramafites and chromitites of the Platinumbearing Belt of the Urals (ППУ) (Chashchukhin et al., 2002); peridotites of the Beni-Bushehr massif (Bb) (Woodland et al., 1992), peridotites and basalts of the mid-oceanic ridges (COX) (Woodland, 1990); 5 – lavas of Mauna Loa and Kilauea, Hawaii (Rhodes, Vollinger, 2005); 6 – point (C) – measured value of fO_2 in the Kilauea lava lake, (A– B) – the assumed trend of equilibrium crystallization of magma (Hill, Roeder, 1974); 7 – phase composition in olivine toleites of Kilauea according to experiments (Hill, Roeder, 1974); 8 – oxygen buffer curves for magnetite-hematite (MN), fayalite-magnetite-quartz (FMQ), carbon-oxygen-CO (CCO) and iron-wustite (IW) calculated for pressures of 1 GPa: MN (Schwab, Küstner, 1981), FMQ and IW (O'Neill, 1987) and the CCO (Jakobsson, Oskarsson, 1994).

и включений оливина и хромита в изоферроплатине Инаглинского массива практически полностью соответствуют аналогичным значениям, полученным для платиноносных пород Урала.

Для оливин-шпинелевого парагенезиса из ксенолитов шпинелевых лерцолитов вулкана о. Жохова значение фугитивности O₂ соответствует буферу ССО с участием свободного углерода. Такие восстановительные условия характерны для формирования перидотитов сублитосферной мантии (в том числе графит- и алмаз-содержащих), например массива Бени-Бушера (Woodland et al., 1992), а также перидотитов и базальтов COX (Woodland, 1990). Полученные разными методами значения \lg/O_2 для щелочных базальтов о. Гавайи варьируют в широких пределах между буферами FMG и CCO (Rhodes, Vollinger, 2005). На диаграмме (рис. 5) вынесены также линии фазовых равновесий при кристаллизации оливиновых толеитов Килауэа в зависимости от фугитивности O_2 , определенные по экспериментальным данным (Hill, Roeder, 1974), где показаны точка (C) значения \lg/O_2 измеренного в лавовом озере и предполагаемая линия (A—B) кристаллизации магмы.

Из вышесказанного следует, что изучение типохимических особенностей парагенетических ассоциаций шпинелей и определение летучести кислорода на основе их состава может способствовать выявлению и разделению разных формационных типов магматических пород и их потенциальной рудоносности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В щелочных пикритах и карбонатитах Томторского массива, в пикритобазальтах и меланефеленитах устья р. Анабар, в тефритах кайнозойских вулканов Балаган-Тас и о. Жохова установлены шпинели, образующие необычно протяженный ряд от Ti-содержащего хромита до Cr-содержащего титаномагнетита и ульвешпинели. Они по химическому составу аналогичны шпинелидам из перидотитов и меймечитов Гулинского массива, а также щелочных базальтов океанических островов. По окислительно-восстановительным параметрам изученные магматиты соответствуют платиноносным ультрамафит-мафитовым породам урало-аляскинского и алданского типов, которые близки более окисленным перидотитам с долгой историей в литосфере (Frost, Mc-Cammon, 2008). Таким образом, определение редокс-состояния появления минеральных ассоциаций, наряду с выявлением их типохимических особенностей, может быть полезным для установления формационного типа материнских пород, что имеет не только петрологическое, но практическое поисковое значение. Существование непрерывной серии от хромшпинелей к ульвошпинели, по мнению автора, является одним из минералогических индикаторов возможной парагенетической связи между пикрит-базальтовыми, щелочными оливин-базальтовыми (трахидолеритовыми), щелочно-ультраосновными и кимберлитовыми формациями на севере Сибирской платформы.

Автор благодарен своим коллегам, способствовавшим проведению данных исследований, и искренне признателен анонимным рецензентам за конструктивные замечания по устранению недостатков в рукописи, что позволило значительно улучшить качество статьи. Работа выполнена в рамках проекта РНФ (региональный конкурс) № 22-27-20151.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бабушкина С.А. Состав микрокристаллов шпинелидов трубки Малокуонапская // Отечественная геология. **2008**. № 5. С. 85–95.

Васильев Ю.Р., Коненко В.Ф., Королюк В.Н. Акцессорные хромшпинелиды из ультраосновных пород Маймеча-Котуйского района / Материалы по генетической и экспериментальной минералогии. Новосибирск: Наука, **1976**. С. 7–16.

Генкин А.Д., Дистлер В.В., Лапутина И.П. Хромитовая минерализация дифференцированных трапповых интрузий и условия ее образования / Условия образования магматических рудных месторождений. М.: Наука, **1979**. С. 105–126.

Грунт из материкового района Луны. Ред.: Барсуков В.Л. и Сурков Ю.А. М.: Наука, **1979**. 708 с.

Кривовичев В.Г., Гульбин Ю.Л. Рекомендации по расчету и представлению формул минералов по данным химических анализов // Записки РМО. **2022.** Ч. 151. № 1. С. 114–124. *Мохначевский Г.В., Округин А.В.* Составы минералов из кайнозойских базальтовых вулканов Якутии // Геология и минерально-сырьевые ресурсы северо-востока России. Якутск. СВФУ, **2015**. С. 295–298.

Муравьева Н.С., Шевалеевский Н.Д., Шебровский Е.Я. Кристаллизация хромшпинелидов в четвертичных базальтах Исландии // Доклады АН СССР. **1979**. Т. 248. № 2. С. 452–456.

Николенко Е.И., Логвинова А.М., Изох А.Э., Афанасьев В.П., Олейников О.Б., Биллер А.Я. Ассоциация хромшпинелидов из верхнетриасовых гравелитов северо-востока Сибирской платформы // Геология и геофизика. 2018. Т. 59. № 10. С. 1680–1700.

Округин А.В. Значение типоморфизма хромшпинелидов для прогнозирования коренных источников россыпной платины восточной части Сибирской платформы // Отечественная геология. **2005**. № 5. С. 3–17.

Округин А.В., Журавлев А.И. Конвергентные минералогические особенности силикатных магматических пород и карбонатитовых пород Томторского массива на северо-востоке Сибирской платформы // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. **2020**. Т. 25. № 4. С. 42–58.

Округин А.В., Зайцев А.И., Борисенко А.С., Земнухов А.Л., Иванов П.О. Золото-платиноносные россыпи бассейна р. Анабар // Отечественная геология. **2012**. № 5. С. 11–21.

Плошко В.В., Тронева Н.В. Шпинелиды из океанитов о. Лорд-Хау (Тихий океан) // Геологический журнал. 1979. Т. 39. № 4. С. 69–76.

Свешникова Е.В., Богатиков О.А., Фрид-Хар Д.И., Ашихмина Н.А., Магидович Т.С., Лапутина И.П., Лазько Е.Е., Суханов М.Л., Удовкина Н.Г., Карпова О.В., Генкин А.Д. Некоторые результаты исследования вещественного состава двух проб реголита из моря Кризисов / Лунный грунт из Моря Кризисов. М.: Наука, **1980**. С. 110–137.

Соболев А.В. Фазовый состав меймечитов севера Сибири и некоторые проблемы их генезиса / Проблемы петрологии земной коры и верхней мантии. М.: Наука, **1978**. С. 330–347.

Соболев Н.В., Похиленко Н.П., Лаврентьев Ю.Г., Усова Л.В. Особенности состава хромшпинелидов из алмазов и кимберлитов Якутии // Геология и геофизика. **1975**. № 11. С. 7–24.

Сурнин А.А., Округин А.В., Зайцев А.И. Глубинные ксенолиты в базальтах Восточной Якутии // Отечественная геология. **1998**. № 6. С. 44–48.

Томшин М.Д., Округин А.В., Савинов В.Т., Шахотко Л.И. Эбехаинский дайковый пояс трахидолеритов на севере Сибирской платформы // Геология и геофизика. **1997**. Т. 38. № 9. С. 1475–1483.

Хэггерти С.Е. Изучение рудных минералов и систематическое исследование изменений состава шпинелей из моря Изобилия // Лунный грунт из моря Изобилия. М.: Наука, **1974**. С. 181–204.

Чащухин И.С., Вотяков С.Л., Пушкарев Е.В., Аникина Е.В. Миронов А.Б., Уймин С.Г. Окситермобарометрия ультрамафитов Платиноносного пояса Урала // Геохимия. 2002. № 8. С. 846–863.

Chromite-Ulvöshpinel Series of Minerals from Alkaline Picrite-Basic Rocks of the North Siberian Platform and Their Oxythermobarometry

A. V. Okrugin*

Diamond and Precious Metal Geology Institute, Siberian Branch RAS, Yakutsk, Russia *e-mail: okrugin@diamond.vsn.ru

The typochemical features of spinels forming continuous series from Al–Cr spinels to Timagnetite and ulvöshpinel from basic-ultrabasic rocks of the North Siberian platform are considered. Their comparative characteristics are carried out with similar minerals of alkaline basalts of oceanic islands and Lunar marine basalts on the modified 3D-diagram Al– $Cr-(Fe^{3+} + 2Ti)-Fe^{2+}$ proposed by the author. The identification of a continuous isomorphous series from chromian spinel to ulvöspinel is one of the mineralogical indicators of a possible paragenetic relationship between picrite-basalt, alkaline olivine-basalt, alkaline-ultrabasic, and kimberlite formations in the North Siberian platform. Using the Ballhaus-Berry-Green olivine-chromespinel oxythermobarometer, it was shown that for the studied rocks of the North Siberian platform, the oxygen volatility lg/O_2 is 2–4 orders of magnitude higher than that specified by the fayalite-magnetite-quartz (FMQ) buffer and corresponds to the oxidation state of platinum-bearing dunite-clinopyroxenite associations of rocks of the Ural-Alaskan and Aldan types.

Keywords: chromite, ulvöshpinel, alkaline rocks, basite, picrite, oxythermobarometry, Siberian platform

REFERENCES

Agrell S.O., Peckett A., Boyd F.R., Haggerty S.E., Bunch T.E., Cameron E.N., Dence M.R., Douglas J.A.V., Plant A.G., Traill R.J., James O.B., Keil K., Prinz M. Titanian chromite, aluminian chromite and chromian ulvöspinel from Apollo 11 rocks. In: Proc. Apollo 11 Lunar Science Conference. **1970**. Vol. 1. P. 81–86.

Babushkina S.A. The composition of microcrystals of spinelids of the Malokuonapskaya pipe. Russian Geology. 2008. Vol. 25. N 5. P. 85–95 (in Russian).

Ballhaus C., Berry R., Green D. High pressure experimental calibration of the olivine-orthopyroxene-spinel oxygen geobarometer: implication for the oxidation state of the upper mantle. *Contrib. Miner. Petrol.* **1991**. Vol. 107. N 1. P. 27–40.

Chashukhin I.S., Votyako, S.L., Pushkarev E.V., Anikina E.V., Mironov A.B., Uimin S.G. Oxythermobarometry of ultramafic platinum-bearing belt of the Urals. *Geochemistry.* **2002**. N 8. P. 846–863 *(in Russian).*

Chayka I.F., Zhitova L.M., Antsiferova T.N., Abersteiner A., Shevko A.Ya., Izokh A.E., Tolstykh N.D., Gora M.P., Chubarov V.M., Kamenetsky V.S. In-situ crystallization and continuous modification of chromian spinel in the "sulfide-poor platinum-group metal ores" of the Norilsk-1 intrusion (Northern Siberia, Russia). *Minerals.* **2020**. Vol. 10. P. 498.

Clague D.A., Fisk M.R., Bence A.E. Mineral chemistry of basalts from Ojin, Nintoku, and Suiko Seamounts, Leg 55 DSDP. In: *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project,* Washington (U.S. Government Printing Office). Vol. 55. P. 607–637.

Frost D.J., McCammon C.A. The redox state of Earth's mantle. Annu. *Rev. Earth Planet. Sci.* **2008**. Vol. 36. P. 389–420.

Genkin A.D., Distler V.V., Laputina I.P. Chromite mineralization of differentiated trap intrusions and conditions of its formation. In: Conditions of formation of magmatic ore deposits. Moscow: Nauka, **1979**. P. 105–126 (*in Russian*).

Haggerty S.E. Luna 16. An opaque mineral study and a systematic examination of compositional variations of spinels from Mare Fecunditatis. In: *Lunar soil from Sea of Fertility*. Moscow: Nauka, **1974**. P. 181–204 (*in Russian*).

Hill R., Roeder P. The crystallization of spinel from liquid as a function of oxygen fugacity. *J. Geol.* **1974.** Vol. 82. N 6. P. 709–731.

Jakobsson S., Oskarsson N. The system C–O in equilibrium with graphite at high pressure and temperature: An experimental study. *Geochim. Cosmochim. Acta.* **1994**. Vol. 58. P. 9–17.

Krivovichev V.G., Gulbin Yu.L. Recommendations for mineral formula calculations from chemical analytical data. *Zapiski RMO (Proc. Russian Miner. Soc.).* **1992.** Vol. 121. N 5. P. 51–59 (*in Russian*).

Mokhnachevsky G.V., Okrugin A.V. Mineral compositions from the Cenozoic basalt volcanoes of Yakutia. In: Geology and mineral resources of the North-East of Russia. Yakutsk: NEFU, **2015**. P. 295–298 (in Russian).

Muan A., Huack J., Loffal T. Equilibrium studies with a bearing on lunar rocks. In: Proc. Third Lunar Sci. Conf. 1972. Vol. 1. P. 185–196.

Muravyeva N.S., Shevaleevsky N.D., Zhebrovsky E.Ya. Crystallization of chromspinelides in quaternary basalts of Iceland. Doklady Acad. Sci. USSR. 1979. Vol. 248. N 2. P. 452–456 (in Russian).

Nikolenko E.I., Logvinova A.M., Izokh A.E., Afanas'ev V.P., Oleynikov O.B., Biller A.Ya. Cr-spinel assemblage from the Upper Triassic gritstones of the northeastern Siberian platform. Russian Geol. Geophys. 2018. Vol. 59. N 10. P. 1680–1700 (in Russian).

O'Neill H.St.C., Navrotsky A. Cation distributions and thermodynamic properties of binary spinel solid solutions. Amer. Miner. 1984. Vol. 69. P. 733–753.

O'Neill H.St.C. The quartz-fayalite-iron and quartz-fayalite-magnetite equilibria and the free energies of formation of fayalite (Fe_2SiO_4) and magnetite (Fe_3O_4). *Amer. Miner.* **1987**. Vol. 72. P. 67–75.

Okrugin A.V. The significance of the chromspinelide typomorphism for predicting the root sources of placer platinum in the eastern part of the Siberian Platform. *Arctic and Subarctic Natural Resources.* **2005**. N 5. P. 42–58 (*in Russian*).

Okrugin A.V., Zhuravlev A.I. Convergent mineralogical features of silicate igneous and carbonatite rocks of the Tomtor massif in the northeast of the Siberian platform. *Arctic and Subarctic Natural Resources.* **2020.** Vol. 25. N 4. P. 42–58 (*in Russian*).

Okrugin A.V., Zaitsev A.I., Borisenko A.S., Zemnukhov A.L., Ivanov P.O. Gold-platinum-bearing placers deposits in the river basin of Anabar and their possible relation to alkali-ultrabasic magmatic rocks in the northern Siberian platform. *Russian Geology*. **2012**. N 5. P. 11–20 (*in Russian*).

Ploshko V.V., Troneva N.V. Spinellides from the oceanites of Lord Howe Island (Pacific Ocean). *Geol. J.* **1979**. Vol. 39. N 4. P. 69–76 (*in Russian*).

Regolith from the highland region of the Moon. Eds. Barsukov V.L., Surkov Yu.A. Moscow: Nauka., **1979**. 708 p. (*in Russian*).

Rhodes J.M., Vollinger M.J. Ferric/ferrous ratios in 1984 Mauna Loa lavas: a contribution to understanding the oxidation state of Hawaiian magmas. *Contrib. Miner. Petrol.* **2005**. Vol. 149. P. 666–674.

Schwab R.G., Küstner D. Die Gleichgewichtsfugazitaten technologisch und petrologisc hwichtiger Sauerstoffpuffer. Neues Jahrb Mineral Abh. 1981. Vol. 140. P. 111–142.

Sobolev A.V. The phase composition of the meimechites of the North of Siberia and some problems of their genesis. In: *Problems of petrology of the Earth's crust and upper mantle*. Moscow: Nauka, **1978**. P. 330–347 (*in Russian*).

Sobolev N.V., Pokhilenko N.P., LavrentievYu.G., Usova L.V. Features of the composition of chromspinelides from diamonds and kimberlites of Yakutia. *Russian Geol. Geophys.* **1975**. N 11. P. 7–24 (*in Russian*).

Sobolev A.V., Nikogosian I.K. Petrology of long-lived mantle plume magmatism: Hawaii, Pacific and Reunion Island, Indian Ocean. *Petrology*. **1994**. N 2. P. 111–144.

Sveshnikova E.V., Bogatikov O.A., Frikh-Khar D.I., Ashikhmina N.A., Magidovich T.S., Laputina I.P., Lazko E.E., Sukhanov M.L., Udovkina N.G., Karpova O.V., Genkin A.D. Some results of study of composition of two regolith samples from Mare Crisium. In: Lunar Soil from Mare Crisium. Moscow: Nauka, **1980**. P. 110–137 (*in Russian*).

Surnin A.A., Okrugin A.V., Zaitsev A.I. Deep-derived xenoliths in East Yakutian basalts. Russian Geology. 1998. N 6. P. 44–48 (in Russian).

Tomshin M.D., Okrugin A.V., Savvinov V.T., Shakhot'ko L.I. The Ebe-Khaya dike belt of trachidolerites in the north of the Siberian platform. *Russian Geol. Geophys.* **1997**. N 9. P. 1511–1520 (*in Russian*).

Vasil'ev Yu.R., Konenko V.F., Korolyuk V.N. Accessory Cr-spinels from ultrabasic rocks of the Maimecha–Kotui region (northern Siberian Platform). In: *Materials on Genetic and Experimental Mineralogy.* Novosibirsk: Nauka, **1976**. P. 7–16 (*in Russian*).

Wilkinson J.F.G., Hensel H.D. The petrology of some picrites from Mauna Loa and Kilauea volcanoes, Hawaii. Contrib. Miner. Petrol. 1988. Vol. 98. P. 326–345.

Woodland B.J. Oxygen thermobarometry of abyssal spinel peridotites: the redox state and C–O–H volatile composition of the Earth's sub-oceanic upper mantle. *Amer. J. Sci.* **1990**. Vol. 290. P. 1093–1116.

Woodland A., Kornprobst J., Wood B. Oxygen thermobarometry of orogenic lherzolite massifs. J. Petrol. 1992. Vol. 33. N 1. P. 203–230.

= МИНЕРАЛЫ И ПАРАГЕНЕЗИСЫ МИНЕРАЛОВ =

МИНЕРАЛЫ НАДГРУППЫ АЛУНИТА В СЛОИСТЫХ КОЛЧЕДАННЫХ РУДАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЯМАН-КАСЫ, ЮЖНЫЙ УРАЛ: МОРФОЛОГИЯ, АССОЦИАЦИИ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ

© 2023 г. Н. П. Сафина^{1, *}, В. А. Котляров¹, И. А. Блинов¹

¹ Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, Институт минералогии, территория Ильменский Заповедник, 1, корп. 1, Миасс, Челябинская обл., 456317 Россия *e-mail: natali.safina2015@vandex.ru

> Поступила в редакцию 03.08.2021 г. После доработки 17.05.2023 г. Принята к публикации 22.05.2023 г.

В статье описаны находки минералов надгруппы алунита: крандаллита, гинсдалита и алунита в гематит-содержащих тонкослоистых колчеданных рудах с повышенными суммарными содержаниями РЗЭ (до 110 г/т). Крандаллит образует удлиненные агрегаты (размером до 120 мкм) с ритмично-зональным строением и неравномерным распределением в них РЗЭ. Реже встречаются сферолитовые агрегаты (размером до 120 мкм) в ассоциации с алунитом, кварцем, хлоритом и гематитом. Главная особенность крандаллита – высокие содержания Рb (7–19 мас. % PbO). Отдельные зерна крандаллита содержат (мас. %): до 1.84 La₂O₃, до 1.03 Ce₂O₃, 0.85-1.73 Nd₂O₃, 0.39-0.54 Pr₂O₃, а также 0.52-2.70 BaO, 0.99-2.50 SrO, 0.34-0.55 UO₂, 0.30-0.69 ThO₂ и 0.32-0.57 CuO. Гинсдалит и алунит в виде сферолитов размером до 30 мкм и пластинчатых агрегатов размером до 20-30 мкм в длину встречаются в интерстициях халькопирита, барита. В химическом составе алунита и гинсдалита установлена примесь V₂O₅ (до 0.3 и 0.1 мас. %, соответственно). Образование минералов рассматривается как результат мобилизации компонентов из гиалокластов и рудокластов в присутствии фосфора, поступающего из биогенного вещества, при формировании поздней кварц-гематитовой ассоциации.

Ключевые слова: надгруппа алунита, Рb, РЗЭ, слоистые руды, месторождение Яман-Касы, Южный Урал

DOI: 10.31857/S0869605523060047, EDN: HNIJVR

Слоистые обломочные руды, широко распространенные на флангах колчеданных залежей, характеризуются повышенными содержаниями литофильных элементов, включая редкоземельные и радиоактивные (U, Th) элементы (Масленников, 2006; Сафина, Масленников, 2009; Масленников и др., 2014; Аюпова и др., 2019; Maslennikov et al., 2019). Как правило, источником этих элементов является примесный гиалокластический материал, а минералами-концентраторами – аутигенные карбонаты, фторкарбонаты и фосфаты.

На месторождении Яман-Касы в гематитсодержащих слоистых колчеданных рудах обнаружены минералы надгруппы алунита. Ранее нами были рассмотрены единичные находки минералов этой надгруппы в составе алевро-песчаных руд (Сафина и др., 2019). В настоящей работе описаны многочисленные находки минералов надгруппы алунита в хлорит-кварц-гематитовых породах, которые ритмично чередуются с граве-

лито-песчаными и алевро-песчаными рудами. Они состоят из полностью окисленных рудокластов; гематитизированных, хлоритизированных и окварцованных гиалокластов; кристаллов аутигенного пирита, халькопирита, сфалерита, магнетита и барита в кварц-хлорит-гематитовой массе. Находки минералов надгруппы алунита приурочены как к сульфидам, так и нерудной массе. Высокие содержания Pb, присутствие примесей редкоземельных элементов (P3Э), Th, U, Ba, Sr, Cu обнаружены в крандаллите (группа плюмбогуммита). Наряду с крандаллитом были найдены гинсдалит (группа бедантита) и алунит (группа алунита). Цель настоящего исследования – характеристика минералов надгруппы алунита из тонкослоистых колчеданных руд месторождения Яман-Касы.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Яман-Касинское медно-цинково-колчеданное месторождение входит в состав Медногорского рудного района, который расположен на западном склоне Южного Урала в пределах Центрально-Уральского поднятия (Медноколчеданные..., 1985).

Рудовмещающей структурой является Блявинская синформа овальной формы поперечником около 10 км. В ней тектонически совмещены осадочные и вулканогенные серии, представленные различными толщами пород со стратиграфическим диапазоном ордовик—карбон (Рязанцев и др., 2008). В ядре Блявинской синформы располагаются отложения баулусской свиты (верхний ордовик), представленные эффузивами кислого, основного и среднего состава. К разрезу баулусской свиты приурочена рудная залежь месторождения Яман-Касы. Руды находятся в переходной части разреза от нижней базальт-андезит-риодацитовой толщи (мощность до 1000 м) к верхней базальтовой толще (мощность от 50 до 200 м).

Месторождение представлено линзовидной залежью длиной до 250 м и мощностью в центральной части 30—40 м. Ядерную часть сульфидного холма составляют массивные медно-цинково-колчеданные руды с реликтами труб черных курильщиков и оруденелых червей (Масленников, 2006; Масленникова, Масленников, 2007). В кровле и на флангах рудной залежи распространены брекчии колломорфных и массивных руд с признаками растрескивания и подводного разрушения. С удалением от сульфидного холма элювиальные рудные брекчии сменяются коллювиальными, а затем — мелкообломочными сульфидными песчаниками с градационной слоистостью, тонкослоистыми алевро-песчаными разностями. В этом направлении возрастает объем новообразованных сульфидов (псевдоморфный халькопирит и сфалерит, эвгедральные кристаллы пирита) и гиалокластического материала, уменьшается объем рудокластов с колломорфным, тонкозернистым, зональным и фрамбоидальным строением (Сафина, Масленников, 2009).

Тонкие слои (мощностью до 2 см), богатые халькопиритом, сфалеритом и гематитом, переслаиваются с гравелито-песчаными рудами, апосульфидными хлорит-кварцгематитовыми породами (госсанитами) — продуктами субмаринного окисления тонкообломочных сульфидных слоев (Теленков, Масленников, 1995) и реже хлоритизированными гиалокластитами (хлоритолитами) в составе ритмично-слоистой пачки мощностью 4 м на южной выклинке рудной залежи. В интенсивно преобразованных гематитсодержащих алевро-песчаных рудах нами обнаружены минералы надгруппы алунита (плюмбогуммит, крандаллит, гинсдалит, алунит) с переменным соотношением Са и Рb и примесями Pb, Si, Fe, Ba, Cu и Zn (Сафина и др., 2019). Эти минералы не типичны для зон субмаринного окисления колчеданных месторождений. Свинцовые (гинсдалит и плюмбогуммит) и кальциевые (крандаллит) члены надгруппы алунита концентрируются в гематитсодержащих халькопирит-пиритовых разновидностях тонкослоистых руд, тогда как калиевые (алунит), находятся в сфалерит-халькопиритовых слоях, ассоциирующих с хлоритолитами. Апатит присутствует в виде зерен размером до 10 мкм среди кварц-хлоритовой матрицы.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Материал, описанный в данной работе, собран в карьере месторождения в 2003–2005 гг. Из образцов были изготовлены аншлифы для минераграфических и рентгеноспектральных исследований.

Основные методы, использованные в настоящей работе – оптическая и растровая электронная микроскопия. Оптические исследования проведены на микроскопе Olympus BX 51 с цифровой приставкой для микрофотографирования. Морфология минералов и их химический состав определены на электронном сканирующем микроскопе РЭММА-202М с ЭДС LZ-5 Link с Si-Li-детектором (аналитик В.А. Котляров). Диаметр пучка 3 мкм, ток 15 нА, ускоряющее напряжение 20-30 кВ. Время набора спектров 120 с. Для достоверного химического состава отдельных минералов, в том числе, определения содержаний РЗЭ, проведены дополнительные исследования на электронно-зондовом микроанализаторе JEOL-733 с рентгеновским волновым спектрометром. Диаметр пучка 1-2 мкм, ток 20 нА, ускоряющее напряжение 20 кВ. Время набора спектра 10 с. Определявшиеся элементы, аналитические рентгеновские линии и стандарты: Si (K α , SiO₂), Al (K α , ZnAl₂O₄), Fe (K α , Fe₂O₃), Ca и P (K α , апатит), К (К α , микроклин), Ba (L α , BaSO₄), Sr (L α , CELEST), Ce (L α , CeO₂), La (L α , LaF₃_f), Pr (Lb, PrP₅O₁₄), Nd (Lα, NdP₅O₁₄), Sm (Lα, SmP₅O₁₄), Pb (Lα, PbTiO₃), S (Kα, CELEST), U (Ma, UO₂), Th (Ma, ThO₂), V и Cu (Ka, Cu₅(VO₄)₂(OH)₄), Zn (Ka, ZnO). Содержание H₂O прямым методом не определялось.

Рентгенофазовый анализ проб гранулометрических разновидностей обломочных руд выполнен на дифрактометре SHIMADZUXRD-6000, Cu-анод, графитовый монохроматор; расчет содержаний проведен в программном продукте SIROQUANTV4 (аналитики П.В. Хворов, Е.В. Зенович). Валовые содержание РЗЭ, U, Th были определены с помощью ИСП-МС анализа на приборе Agilent 7700x (аналитик К.А. Филиппова) в пробах после разложения в смеси кислот.

СЛОИСТЫЕ СУЛЬФИДНЫЕ РУДЫ

Слоистые руды месторождения Яман-Касы представляют собой чередование гравелито-песчаных, алевро-песчаных сульфидных руд и хлорит-кварц-гематитовых пород (рис. 1, a, δ). Минеральный состав разновидностей обломочных руд и пород отражен в табл. 1. В ряду от гравелито-песчаных руд к хлорит-кварц-гематитовым породам постепенно снижается количество сульфидной составляющей, возрастает количество кварца и гематита.

Гравелито-песчаные сульфидные руды сложены угловатыми обломками пирита, марказита, халькопирита, сфалерита в разных соотношениях и размером от первых мм до 2 см. Их количество может составлять 90%. Цемент обломочных руд кварцевый (10– 20%). Мощность слоев достигает 10 см. Границы между слоями волнистые, за счет продавливания обломков руды в нижележащий слой.

В алевро-песчаных рудах количество сульфидной составляющей снижается до 50%, но при этом возрастает роль кварца (44–47%) и гематита (до 7%). Микроскопические наблюдения показывают, что обломки пирита, марказита, халькопирита и сфалерита, а также псевдоморфного халькопирита интенсивно замещаются гематитом, хлоритом и кварцем. Мощность слоев может достигать 2 см. В их кровле преобладают кристаллы пирита и диагенетический халькопирит с включениями акцессорных минералов (галенита, алтаита, самородного золота и самородной сурьмы), замещаемые хлоритом, гематитом и кварцем. Установлены две морфологические разновидности гемати-



Рис. 1. Слоистые руды месторождения Яман-Касы. *а*–*б* – переслаивание гравелито-песчаных сульфидных руд (*1*) с гематитсодержащими алевро-песчаными рудами (*2*) и хлорит-кварц-гематитовыми породами (*3*). Длина линейки 1 см.

Fig. 1. Layered ores of the Yaman-Kasy deposit. $a-\delta$ – intercalation of gravel–sandy sulfide ores (1) with hematitebearing silty-sandy ores (2) and chlorite-quartz-hematite rocks (3). Scale bar is 1 cm.

та: сростки облаковидного гематита-1 с кварцем и хлоритом в нерудной массе и кристаллические агрегаты пластинчатого гематита-2, приуроченного, преимущественно, к халькопириту. Халькопирит срастается с пластинчатыми агрегатами хлорита, в которых сосредоточены сферолиты гинсдалита (Сафина и др., 2019). В цементирующей матрице в ассоциации с хлоритом и кварцем присутствуют удлиненные сростки плюмбогуммита и крандаллита размером не более 15 мкм.

В *хлорит-кварц-гематитовых породах* содержание сульфидной минерализации, по сравнению с гравелито-песчаными и алевро-песчаными рудами, снижается и составляет 20–30%. Наоборот, возрастает количество кварца (до 55%), гематита (до 24%) и барита (до 5%). Мощность слоев может изменяться от первых мм до 1 см. Микроско-пическими исследованиями установлено, что в составе хлорит-кварц-гематитовых пород, помимо новообразованных кристаллов пирита, халькопирита, сфалерита, ге-

	i eompe	, (/U)	01 0140410 0	es of the fully	an naoj a	opoon			
Порода	Пирит	Марказит	Сфалерит	Халькопирит	Галенит	Кварц	Магнетит	Гематит	Барит
Хлорит-кварц-	11	6	2	2	_	55	3	16	5
гематитовая	22	12	4	7	_	31	_	24	-
Алевро-пес-	22	9	12	6	1	44	2	4	-
чаная	24	12	8	7	-	45	3	1	-
	17	8	12	7	1	46	2	7	—
	16	9	11	9	1	47	2	5	-
Гравелито-	38	15	25	12	_	10	_	-	-
песчаная	28	16	22	5	—	19	2	—	7

Таблица 1. Минеральный состав (%) обломочных руд месторождения Яман-Касы Table 1. Mineral composition (%) of clastic ores of the Yaman-Kasy deposit

Примечание. Прочерк – ниже предела обнаружения.

Номер образца	Минерал	Te	Bi	Au	Ag	Pb	S	Сумма	Кристаллохимиче- ская формула
1	Теллуровисмутит	47.67	52.33	-	-	-		100.00	Bi _{2.02} Te _{3.00}
2		47.59	51.76	_	_	_	—	99.35	Bi _{1.99} Te _{3.00}
3		47.12	47.62	—	—	4.36	—	99.10	Bi _{1.85} Pb _{0.17} Te _{3.00}
4	Самородное	—	—	81.64	18.36	—	—	100.00	Au _{0.71} Ag _{0.29}
5	золото	—	—	80.16	18.29	—	—	99.02	Au _{0.71} Ag _{0.29}
6	Галенит	—	—	—	—	85.34	12.20	99.70	$Pb_{1.00}S_{0.93}Se_{0.07}$
7		_	—	—	—	85.87	13.59	100.05	$Pb_{1.00}Fe_{0.02}S_{1.02}$

Таблица 2. Химический состав (мас. %) акцессорных минералов из хлорит-кварц-гематитовых пород

Table 2. Chemical composition (wt %) of accessory minerals

Примечание. Прочерк – элемент не обнаружен. Анализы № 5 и 7 содержат 0.57 мас. % Си и 0.59 мас. % Fe, соответственно. В анализе № 6 обнаружена примесь Se (2.16 мас. %), в анализе № 7 – примесь Fe (0.59 мас. %). Формулы минералов рассчитаны на сумму атомов, равную пяти (теллуровисмутит), одному (самородное зо-лото), двум (галенит).

матита-1 и 2, гематитизированных и окварцованных гиалокластов, присутствуют конкреции размером до 70 мкм, которые сложены тонкими сростками пирита, халькопирита, гематита-1, кварца и хлорита (рис. 2, a, δ). В промежуточной зоне конкреций сохраняются реликтовые включения халькопирита и пирита, в центральной части и кайме концентрируется гематит-2. Также пирит и халькопирит замещают трубчатые организмы, для которых характерна эллипсовидная форма с концентрически-зональным строением (рис. 2, в). Размер поперечных сечений трубок достигает 100–150 мкм и более в продольном сечении. Центральную часть трубок заполняет кварц, реже сульфиды. Наряду с новообразованными кристаллами пирита, встречены фрамбоиды пирита, которые ассоциируют с халькопиритом и гематитом (рис. 2, г). Ковеллин и халькозин образуют каймы вокруг зерен халькопирита. Часто халькопирит образует сростки с хлоритом и гематитом (рис. 2, д, е). К сросткам халькопирита и хлорита приурочены сферолиты крандаллита и алунита. Состав хлорита соответствуют железисто-магнезиальному шамозиту (FeO 27.04-30.24 мас. %, MgO 8.12-10.23 мас. %). Температура образования хлорита, рассчитанная по хлоритовому геотермометру (Котельникова и др., 2012), составляет 170–190 °С. В цементирующей нерудной матрице помимо хлорита, присутствуют гематит, кварц и барит. Именно в ассоциации с этими минералами обнаружены обособления крандаллита. К кварцу приурочены редкие скопления кристаллов барита размером до 10 мкм. Содержание Sr в барите достигает 2.5 мас. %. Отмечаются сростки барита и хлорита, содержащие включения гинсдалита и, предположительно, алтаита (рис. 3, a).

Из редких аутигенных рудных минералов в хлорит-кварц-гематитовых породах были обнаружены самородное золото, теллуровисмутит, алтаит и галенит спримесью Se (2.16 мас. %) в виде сростков с магнетитом, халькопиритом в хлорит-гематит-кварцевой массе или включений в пирите (рис. 3, δ –*e*). Размер зерен минералов составляет не более 10 мкм. Галенит помимо включений в пирите и халькопирите образует редкие гипидиоморфные кристаллы без примеси Se размером до 15 мкм среди алунита (рис. 3, δ). Химический состав теллуровисмутита, самородного золота и галенита приведен в табл. 2.



Рис. 2. Взаимоотношения минералов в хлорит-кварц-гематитовых породах месторождения Яман-Касы. a – гематитизированные (hem) и окварцованные обломки пород среди кристаллов пирита (py) и халькопирита (chp) в кварце (qtz); δ – замещение сульфидной конкреции гематитом-1, кварцем и гематитом-2; e – эллипсовидная псевдоморфоза сульфидов (пирит, халькопирит, сфалерит (sph)) по трубчатому организму среди сульфидов в кварц-гематитовой матрице; e – фрамбоиды пирита, кристаллы халькопирита и пирита, сегрегации марказита (mcs) и халькопирита среди микрозернистого гематита-1; ∂ – ассоциация халькопирита с хлоритом (chl), содержащим алунит и крандаллит; e – ассоциация халькопирита гематитом-1, -2 и кварцем. Изображения в отраженном свете.

Fig. 2. Inter relationships of minerals in chlorite-quartz-hematite rocks of the Yaman-Kasy deposit. a – hematitized (hem) and silicified rock fragments among newly formed crystals of pyrite (py) and chalcopyrite (chp) in quartz matrix (qtz); δ – replacement of sulfide nodules by hematite-2, quartz and hematite-1; e – ellipsoid pseudomorphosis of sulfides (pyrite, chalcopyrite, sphalerite (sph)) after tubular organism among sulfides in quartz-hematite matrix; e – pyrite framboids, crystals of chalcopyrite and pyrite, segregations of marcasite (mcs) and chalcopyrite among hematite-1; ∂ – assemblage of chalcopyrite and chlorite (chl) containing alunite and crandallite; e – assemblage of chalcopyrite and pyrite.



Рис. 3. Акцессорные минералы в хлорит-кварц-гематитовых породах месторождения Яман-Касы. a – алтаит (?) (te + pb) и гинсдалит (hsd) в барите (ba) в ассоциации с хлоритом (chl), гематитом (hem) и кварцем (qtz); δ – кристалл галенита (gn) среди пористой массы алунита (aln) с реликтами сфероидов гинсдалита и кварцем; e – теллуровисмутит (tv) в срастании с магнетитом (mgt) в кварце; e, d – кристаллы халькопирита (chp) с включениями галенита (e) и алтаита (alt) (d) в кварц-гематитовой матрице; e – включение самородного золота (au) в пирите в окружении хлорита, кварца и гематита. СЭМ-фото.

Fig. 3. Accessory minerals in chlorite-quartz-hematite rocks of the Yaman-Kasy deposit. a – altaite (?) (te + pb) and hinsdalite (hsd) in barite (ba) in association with chlorite (chl), hematite (hem) and quartz (qtz); δ – galena crystal (gn) among alunite (aln) with relics of hinsdalite and quartz; e – tellurobismuthite (tv) intergrown with magnetite (mgt) in quartz; e – chalcopyrite crystals (chp) with inclusion of galena (e) and altaite (alt) (∂) in the quartz-hematite matrix; e – inclusions of native gold (au) in pyrite surrounded by chlorite, quartz and hematite. SEM images.

МИНЕРАЛЫ НАДГРУППЫ АЛУНИТА

Морфология и ассоциации. Наблюдаемые минералы представлены несколькими морфологическими разновидностями, относящимися к разным минеральным ассоциациям.

Крандаллит наиболее широко распространен в хлорит-кварц-гематитовой массе в промежутках между зернами сульфидов и реже встречается в интерстициях сфалеритпирит-халькопиритовых агрегатов (рис. 4, a-3). Минерал образует: (1) сростки сфероидальных зерен размером до 100 мкм (рис. 4, a- δ), (2) отдельные сферолиты, характеризующиеся концентрически-зональным или микроглобулярным внутренним строением и размером не более 20 мкм (рис. 4, e-e), (3) удлиненные агрегаты с ритмичным строением (рис. 4, d-ж).

Наиболее крупные (до 100 мкм) сростки сферолитов характеризуются зональным строением (рис. 4, δ). В отдельных сферолитах между округлым центром и каймой отмечаются включения гематита, галенита размером до 5 мкм (рис. 4, ϵ). В корродированных сфалерит-пирит-халькопиритовых агрегатах сферолиты крандаллита размером до 7 мкм находятся в срастании со сферолитами алунита и поздним кварцем (рис. 4, ϵ).

Удлиненные агрегаты крандаллита размером до 120 мкм по удлинению и до 25 мкм по ширине (рис. 4, $\partial - \omega$) характеризуются зональным строением. В обратно-рассеянных электронах отмечается ритмичное чередование светло- и темноокрашенных зон (рис. 4, ω). Местами темные зоны очень тонкие (1–2 мкм), что затрудняет их анализ. Границы между зонами четкие, а контуры чаще всего волнистые. При большом увели-



Рис. 4. Морфологические разновидности крандаллита и алунита в хлорит-кварц-гематитовых породах месторождения Яман-Касы. a – сферолитовые агрегаты крандаллита (crd) в кварце (qtz) и в ассоциации с пиритом (py), халькопиритом (chp) и гематитом (hem); δ – неоднородные по составу сферолитовые агрегаты крандаллита; s – сростки сферолитов алунита (aln) и крандаллита, пластинчатых кристаллов алунита в пирите, замещенном халькопиритом и гематитом; r – сферолиты крандаллита с включениями гематита; d – e – удлиненные ритмично-зональные агрегаты крандаллита в кварц-гематитовой матрице; ж – ритмично-зональные агрегаты крандаллита в кварц-гематитовой матрице; w – ритмично-зональные и трещиноватые агрегаты крандаллита с включениями гематита; d – e – удлиненные и окварцованные (в центре снимка) и удлиненные агрегаты крандаллита; u – деталь снимка з. Мельчайшие включения апатита (?) (apt) в гематитизированном и окварцованном обособлении. СЭМ-фото.

Fig. 4. Morphological types of crandallite and alunite in chlorite-quartz-hematite rocks of the Yaman-Kasy deposit. a – spherulites aggregates of crandallite (crd) in quartz (qtz) and in assotiation with sulfides (gray); δ – reniform crandallite aggregates of heterogeneous composition; e – intergrowths of spherulites of alunite (aln) and crandallite, lamellar alunite crystals in pyrite (py) replaced by chalcopyrite (chp) and hematite (hem); e – spherulites of crandallite with hematite inclusions in quartz; $\partial - e$ – elongated rhythmically zoned crandallite aggregates in quartz-hematite matrix; π – zoned and fractured crandallite aggregates with hematite inclusions; 3 – fragments of fractured hematitized rocks (in the center of the image) and elongated crandallite aggregates in hematite-quartz matrix; u – detail of the image 3. The smallest inclusions of apatite (apt?) in hematitized and silicified segregation. SEM images.

чении в составе светлоокрашенных зон просматриваются сферолиты размером до 7— 10 мкм, которые нарастают на темные зоны. Вблизи удлиненных агрегатов крандаллита встречаются самостоятельные обособления подобных сферолитов. Иногда удлиненные агрегаты крандаллита разбиты трещинами, залеченные этим же минералом светлой окраски, кварцем, гематитом или галенитом (рис. 4, \mathcal{M}). Гематит также развивается вокруг обособлений крандаллита, формируя каймы обрастания. В ассоциации с агрегатами крандаллита встречены гематитизированные и окварцованные обособления с мельчайшими (первые микрометры) включениями Р- и Са-содержащих фаз (апатит?) (рис. 4, *з*–*и*). Такие включения равномерно располагаются по поверхности обособлений. Их контуры заливчатые за счет замещения кварцем и гематитом. Трещины также выполнены кварцем.

Гинсдалит приурочен к зернам барита или алунита в хлорит-кварц-гематитовой массе. Минерал формирует ксеноморфные выделения размером до 10 мкм в сростках с гематитом, хлоритом и редким алтаитом в барите (рис. 3, *a*). Вторая разновидность — сферолиты — обнаружена в пористой массе алунита вблизи гипидиоморфных кристаллов галенита и кварца размером до 15 мкм (рис. 3, δ). Сферолиты гинсдалита размером не более 10 мкм интенсивно замещаются алунитом, сохраняя при этом реликты первичного радиально-лучистого строения.

Алунит обнаружен в интерстициях агрегатов сфалерит-халькопирит-пиритового состава в виде сферолитов размером до 15 мкм и пластинчатых агрегатов размером до 20 мкм по удлинению и 5–7 мкм по ширине (рис. 4, δ). Сферолиты алунита находятся в срастании со сферолитами крандаллита, хлоритом, гематитом и кварцем. Зерна имеют вытянутую и участками сдавленную форму. Также алунит отмечается в виде пористых ксеноморфных зерен размером до 250 мкм в хлорит-кварц-гематитовой массе. В ассоциации с алунитом обнаружены гинсдалит, галенит и кварц (рис. 3, δ).

Химический состав. В изученных хлорит-кварц-гематитовых породах установлены минералы со следующими характеристиками: (1) преобладанием фосфора над серой и переменным соотношением Pb/Ca, которые по преобладающему миналу можно формально отнести к крандаллиту, вудхаузиту, гинсдалиту или плюмбогуммиту, и (2) преобладанием серы над фосфором и значительным присутствием калия, что позволяет формально отнести их к алуниту.

Полученные анализы минералов не всегда удовлетворительно пересчитываются на формулу, обнаруживая систематическое завышение содержаний катионов и занижение — анионообразующих элементов (серы, фосфора). Это обусловлено мелкими размерами зерен, наличием микровростков окружающих минералов и вынужденно большим временем измерений, необходимым для учета всех элементов, входящих в состав минералов. Тем не менее, удалось выделить анализы, максимально соответствующие составу минералов надгруппы алунита. В табл. 3 приведена выборка анализов, отражающих вариации химического состава крандаллита, гинсдалита и алунита.

В составе сферолитов крандаллита, распространенных в хлорит-кварц-гематитовой матрице, установлены высокие содержания PbO (17–19 мас. %, Pb 0.41–0.51 к.ф.), присутствие примесей ThO₂ (0.30–0.41 мас. %, Th 0.01 к.ф.) и UO₂ (0.34–0.55 мас. %, U 0.01 к.ф.). Сферолиты крандаллита из интерстиций сульфидных агрегатов отличаются повышенными содержаниями SO₃ (16.39–16.83 мас. %, S 0.86–0.89 к.ф.), пониженными – P_2O_5 (до 17.14 мас. %, P до 1.03 к.ф.) и отсутствием BaO (табл. 3, ан. 1). Количества примесей K, Fe, Sr, Cu достигают 0.1 к.ф. и, в единичных случаях, повышаются до 0.18 к.ф. Содержание Ce₂O₃ колеблется от 0.32 до 0.38 мас. % (Ce 0.01 к.ф.).

В составе удлиненных агрегатов крандаллита, в отличие от сферолитов, отмечаются повышенные содержания P_2O_5 (до 22 мас. %), широкие вариации содержаний PbO (от 7.52 до 16.67 мас. %, Pb 0.17–0.40 к.ф.) (табл. 3, ан. 2–7, всего получено 22 анализа). Вариации содержаний элемента связаны с ритмично-зональным строением агрегатов крандаллита (рис. 4, *e*–*ж*). Чередующиеся зоны отличаются по содержаниям Pb. Количества примесей K, Fe, Cu, Sr, Ba достигают 0.11 к.ф. Только в этой разновидности установлено присутствие устойчивых примесей P3Э (мас. %): La₂O₃ до 1.84 (La до 0.06 к.ф.), Ce₂O₃ до 1.03 (Ce до 0.03 к.ф.), Nd₂O₃ от 0.85 до 1.73 (Nd от 0.03 до 0.06 к.ф.), Pr₂O₃ от 0.39 до 0.54 (Pr от 0.01 до 0.02 к.ф.), а также ThO₂ от 0.33 до 0.69 (Th 0.01 к.ф.). В некоторых составах суммарное содержание P3Э (La + Nd) достигает 0.09 к.ф. Рас-

Table 3. Cl	nemical compositio	n (wt %)	of minera	als of the	alunite	supergr	dno									
Номер образца	Минерал	Al_2O_3	SO_3	P_2O_5	K_2O	CaO	$\mathrm{Fe}_{2}\mathrm{O}_{3}$	CuO	SrO	BaO	ОqЧ	SiO ₂	Ce ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	ThO ₂	Сумма*
1	Крандаллит	33.28	16.39	17.14	1.78	6.39	1.73	1.87	1.34	I	11.67	1.26	0.32	I	I	93.17
2		31.23	5.57	21.74	0.31	7.39	0.83	0.46	1.60	1.89	8.10	2.25	0.45	0.51	0.03	82.36
3		31.46	6.28	21.48	0.40	7.47	1.01	I	1.69	1.57	9.76	1.42	0.14	0.56	I	83.24
4		30.32	5.74	19.39	0.36	5.90	0.97	I	1.14	1.61	13.62	2.37	0.52	I	Ι	81.84
5		33.12	6.79	20.13	0.43	6.47	1.07	I	1.58	2.04	12.56	3.69	0.44	I	Ι	88.32
9		30.71	6.25	19.01	0.37	5.74	0.88	0.32	1.53	1.75	15.63	3.85	I	0.35	Ι	86.40
7		30.58	7.08	21.86	0.44	7.49	1.81	I	2.40	1.51	7.52	0.74	0.51	0.45	Ι	82.39
8	Гинсдалит	23.70	16.48	14.08	0.73	3.80	3.93	2.12		1.02	20.23	I	Ι	I	I	86.09
6		26.29	17.62	12.00	1.28	2.94	1.47	0.35	I	0.93	22.55	I	Ι	I	I	80.45
10	Алунит	38.28	32.58	8.56	6.80	3.62	1.48	1.31	0.51	I	I	1.33	I	I	I	94.79
			_	_	-	-	Kp	исталлс	ыммихо	еские с	рормуль		_	_	-	
1	Крандаллит	(Ca _{0.49}]	$Pb_{0.22}K_{0.1}$	₁₆ Sr _{0.06} C	e _{0.01})Σ ₀	.94(Al _{2.}	₇₉ Cu _{0.1}	0Fe _{0.09})	Σ2.99[(]	PO4)1.03	3(SO ₄) _{0.8}	8(SiO ₄)	0.09] Σ2.0	₀ (OH) _{6.0}	0	
2		(Ca _{0.64}]	$Pb_{0.18}Sr_{0.0}$	07Ba _{0.06}	K _{0.03} Ce	0.01Nd ₀	·.01)Σ1.01	(Al _{2.96} I	Ge0.05C	u _{0.03})Σ3	04](PO	() _{1.48} (SC)4) _{0.34} (S	iO ₄) _{0.18}]	Σ2.00(OH)6.00
3		(Ca _{0.66}]	$Pb_{0.22}Sr_{0.1}$	08 Ba $_{0.05}$	K _{0.04} Νc	$1_{0.02})_{\Sigma 1.}$	07(Al _{3.0}	₆ Fe _{0.06}	Σ3.11[(]	PO4) _{1.5(})(SO ₄) _{0.3}	9(SiO4)	0.12] <u>5</u> 2.00	₀ (OH) _{6.0}	0	
4		(Ca _{0.55}]	$Pb_{0.32}Sr_{0.32}$	06Ba0.05	K _{0.04} Ce	^{0.02} Σ1.0	03(Al _{3.0}	9Fe _{0.06})	Σ3.15[(I	PO4)1.42	(SO ₄) _{0.3}	9(SiO ₄)	0.21]Σ2.00	₀ (OH) _{6.0}	0	
5		(Ca _{0.54}]	$Pb_{0.26}Sr_{0.1}$	07Ba0.06	K _{0.04} Cε	^{20.01})Σ0.	99(Al _{3.0}	² Fe _{0.06})	Σ3.08[(]	PO ₄) _{1.32}	$2(SO_4)_{0.3}$	9(SiO4)	0.29] Σ2.0	₀ (OH) _{6.(}	0	
9		(Ca _{0.50}]	$Pb_{0.34}Sr_{0.34}$	07Ba0.06	K _{0.04} Nt	$1_{0.01})_{\Sigma 1}$	02(Al _{2.9}	4Fe _{0.06}	Cu _{0.02})	Σ3.02[(P	O4) _{1.31} (5	SO4) _{0.38}	(SiO ₄) ₀	.31]Σ2.00(OH) _{6.00}	
7		(Ca _{0.65}]	$Pb_{0.17}Sr_{0.1}$	${}^{11} m K_{0.05} m B_{1}$	a _{0.05} Ce ₍).02Nd ₀ .	01)Σ1.06	(Al _{2.93} F	^{ະຄ} 0.11Cາ	¹ 0.04)Σ3.	.04[(PO4) _{1.51} (SO	4) _{0.43} (S)	iO ₄) _{0.06})] _{Σ2.00} (OF	() _{6.00}
8	Гинсдалит	(Pb _{0.49} (Ca _{0.37} K _{0.0}	$_{38}Ba_{0.04}$	IA)86.0Ζ	l _{2.51} Fe ₀ .	27Cu _{0.1}	5) <u>22.92</u> [(PO ₄) _{1.}	07(SO4)	^{0.93}]Σ2.0	0(HO)	00.			
6		$(Pb_{0.57})$	$\mathbb{C}a_{0.30}K_{0.1}$	15Ba _{0.03})	Σ1.06(Al	2.92Fe ₀ .	10) Σ3.02	[(SO ₄) ₁ .	$_{04}(PO_{2})$	J _{0.96})]Σ	2.00(OH)	6.00				
10	Алунит	(K _{0.52} C	$a_{0.23}Sr_{0.0}$	12)Σ0.77(^f	$M_{2.71}Fe_{\rm c}$	_{0.07} Cu _{0.}	06)Σ 2.85	[(SO ₄)]	.47(PO	4) _{0.44} (S)	iO ₄) _{0.08} (VO ₄) _{0.01}	J _{Σ2.00} (C	0H) _{6.00}		
Примечани установлени	не. Прочерк – элеме о присутствие прим	нт не обн еси V ₂ O ₅	аружен. К (0.31 мас.	ристаллс %).	этимиче	ские фо	pmyлы į	рассчита	ны на с	ymmy an	ионов ра	вную 2.	* Сумма	і без учет	а Н ₂ О. В а	інализе № 10

Таблица 3. Химический состав (мас. %) минералов надгруппы алунига Table 3. Chemical composition (wt %) of minerals of the alunite supergroup

считанная типовая формула минерала, на сумму анионов равную 2, имеет вид: $(Ca_{0.64}Pb_{0.18}Sr_{0.07}Ba_{0.06}K_{0.03}Ce_{0.01}Nd_{0.01})_{\Sigma 1.01}(Al_{2.96}Fe_{0.05}Cu_{0.03})_{\Sigma 3.04}[(PO_4)_{1.48}(SO_4)_{0.34}$ (SiO₄)_{0.18}]_{$\Sigma 2.00$} (OH)_{6.00}. Вариации содержаний видообразующих компонентов, указывают на то, что по формальному отношению, по крайней мере, часть индивидов крандаллита содержит значительное количество минала гинсдалита (часто), другая часть – минала вудхаузеита (реже).

Зональность была рассмотрена на примере сростков сферолитов и удлиненных агрегатов крандаллита (рис. 4, δ , ω), обнаруженных в хлорит-кварц-гематитовой матрице. В удлиненных агрегатах были проанализировали участки, где ширина разноокрашенных зон превышала 5 мкм. Установлено, что темные фазы обогащены P_2O_5 , Al_2O_3 и CaO, в светлых выше содержания PbO, Fe₂O₃, K₂O и BaO, а также присутствует Nd₂O₃. По всей видимости, по мере кристаллизации минерала содержания Pb увеличивалось, а Ca, Al и P – уменьшалось.

В химическом составе гинсдалита установлены следующие вариации содержаний элементов (n = 5, мас. %): PbO 20.23–23 (Pb 0.49–059 к.ф.), K₂O 0.67–2.94 (K 0.07–0.30 к.ф.), CaO 0.47–3.98 (Ca 0.05–0.41 к.ф.), Fe₂O₃ 1.47–4.85 (Fe 0.10–0.34 к.ф.). Содержания примесей Na, Ba, V и Ti не превышают 0.05 к.ф. В единственном анализе содержание примеси BaO достигает 6.85 мас. % (Ba 0.31 к.ф.).

В формулах гинсдалита в позиции первого катиона отмечается большая доля Ca, а в позиции аниона содержания S и P практически равны (табл. 3, ан. 8–9). Это может свидетельствовать о присутствии в составе минерала миналов вудхаузеита, крандаллита. В составе сосуществующего с гинсдалитом барита отмечены примеси PbO (4.05 мас. %) и SrO (0.85 мас. %), в составе хлорита – примеси PbO (2.63 мас. %), BaO (1.76 мас. %) и V_2O_5 (0.51 мас. %).

В составе сферолитов алунита установлены следующие содержания элементов (n = 9, мас. %): Al₂O₃ 34.29–38.28, SO₃ 29.71–35.04, P₂O₅ 7.60–9.59, K₂O 5.81–6.93, CaO 2.85–3.62, SiO₂ 0.9–6.87. Содержания примесей Fe, Cu, Sr и V достигают 3.80, 2.76, 0.72 и 0.31 мас. % соответственно.

В целом химические составы крандаллита, гинсдалита и алунита в хлорит-кварцгематитовых породах близки к известным находкам данных минералов в алевро-песчаных колчеданных рудах (Сафина и др., 2019), но отличаются от них по набору примесей. Так, в крандаллите отмечается накопление РЗЭ, Сu, Sr и Ba, отсутствие – Zn. Общим является присутствие Pb. В химическом составе гинсдалита отмечены V, Ti, Na, Si и Ba, отсутствуют Cu и Zn. В составе алунита установлены Ca, Cu, Sr и V, отсутствуют – Pb, Ba и Zn.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Позиция минералов в разновидностях обломочных руд. Наличие обломочных колчеданных руд на флангах месторождений свидетельствует о разрушении холмообразной сульфидной постройки на морском дне с образованием шлейфа рудокластических отложений и преобразовании в условиях субмаринного гипергенеза (Maslennikov et al., 2021). С уменьшением крупности обломочного материала в ряду от брекчий к песчаникам и алевролитам снижается объем обломков первичных руд, возрастает количество аутигенных рудных и нерудных минералов (Сафина, Масленников, 2009). На южном фланге колчеданной залежи месторождения Яман-Касы минералы надгруппы алунита обнаружены в гематитсодержащих алевро-песчаных колчеданных рудах, которые относятся к интенсивно преобразованным в условиях гальмиролиза и диагенеза рудокластическим отложениям. В их минеральном составе установлено присутствие окисленных рудокластов; гематитизированных, хлоритизированных и окварцованных гиалокластов; псевдоморфоз сульфидов по биогенным остаткам; кристаллов аутиген-

105
ного пирита, халькопирита, сфалерита, магнетита и барита в тонко-мелкообломочной хлорит-кварц-гематитовой массе.

Крандаллит, гинсдалит, алунит установлены в ассоциации с новообразованными сульфидами, хлоритом, баритом, гематитом и кварцем. Ориентированное согласно слоистости расположение удлиненных обособлений крандаллита среди хлорит-кварц-гематитовой массы, признаки деформации (трещины, сдавленная форма сферолитов), свидетельствуют о происхождении минералов в литифицированном осадке на стадии позднего диагенеза.

Особенности минерального состава. Морфологические особенности и минеральные ассоциации минералов надгруппы алунита в слоистых рудах месторождения Яман-Касы отличаются от находок, известных в гидротермальных рудах различных генетических типов месторождений, измененных околорудных породах медно-порфировых месторождений, зонах континентального окисления колчеданных и колчеданно-полиметаллических месторождений. Так, в урансодержащих медных рудах месторождения Олимпик-Дэм (Австралия) минералы надгруппы алунита формируют субгедральные зональные агрегаты размером до 30-40 мкм (Owen et al., 2019). В гидротермальноизмененных породах Cu-Au эпитермального месторождения Челопеч (Болгария) распространены таблитчатые зональные кристаллы (размером до 200 мкм), в центре которых находятся включения минералов ряда крандаллит-сванбергит-вудхаузеит, окруженные алунитом (Georgieva, Velinova, 2012). Аналогичные по строению и составу кристаллы обнаружены в продуктах извержения вулкана Онтаке в Японии (Imura et al., 2019). Секториальная и мозаичная зональность установлена для кристаллов флоренсита Au-РЗЭ рудопроявлений Приполярного Урала и золоторудных месторождений Бодайбинского района (Репина, 2011; Palenova et al., 2014). В изученных слоистых колчеданных рудах месторождения Яман-Касы зональные кристаллические формы не установлены, а обнаруженные минералы надгруппы алунита в виде концентрических и сфероидальных комков, колломорфно-зональных, а также микроконкреционных структур, редко формируют сростки.

В зоне континентального окисления колчеданных месторождений Южного Урала минералы надгруппы алунита находятся в бурых железняках и интенсивно ожелезененных вулканических породах (Новоселов, 2000; Белогуб, 2010; Блинов, 2015). Морфология минералов различная и включает сферолиты и зональные пластинчатые кристаллы. В зоне окисления колчеданных месторождений (Амурское и Александринское, Южный Урал) минералы надгруппы алунита (плюмбогуммит, крандаллит, ярозит) установлены в ассоциации с фосфатами (пироморфитом), сульфатами (баритом, англезитом), оксидами и гидроксидами железа (гетитом, гематитом), карбонатами (церусситом). В зоне континентального окисления месторождения Яман-Касы минералы надгруппы алунита представлены плюмбоярозитом в ассоциации с обильным галенитом (Трофимов, 1994). Таким образом, ассоциации минералов в зоне континентального окисления отличаются от ассоциации в продуктах субмаринного окисления как на месторождении Яман-Касы, так и на других месторождениях Урала.

Последовательность формирования минералов. Исходя из полученных данных и ранее опубликованной информации, можно охарактеризовать вероятную последовательность кристаллизации минералов в слоистых рудах на месторождении Яман-Касы. Наиболее богатые Pb гинсдалит и плюмбогуммит формируются раньше крандаллита и алунита, одновременно с баритом и хлоритом. На это указывают их морфология и стабильная примесь Pb в составе железисто-магнезиального хлорита (PbO 2.63 мас. %) и барита (PbO 4.05 мас. %). Затем кристаллизуются крандаллит и алунит. Эти минералы формируют сростки в интерстициях халькопирита. Для самостоятельных обособлений крандаллита среди хлорит-кварц-гематитовой массы характерна зональность, которая указывает на уменьшение содержаний P_2O_5 , Al_2O_3 , CaO и BaO в процессе формирования минерала. Признаки замещения отмечаются только для пары минералов: гинсдалит — алунит. Вероятно, здесь же происходило формирование кристаллов гематита, галенита, алтаита и теллуровисмутита. Наложенный характер минералов подтверждается присутствием гематита в: (1) межзерновом пространстве сферолитовых агрегатов крандаллита, (2) трещинах в удлиненных обособлениях крандаллита, (3) в виде кайм обрастания; а также алтаита, галенита на контакте гинсдалита и барита. Установленная нами последовательность формирования обнаруженных минералов надгруппы алунита (гинсдалит–плюмбогуммит — крандаллит— алунит) отражает тенденцию к последовательной смене видообразующих катионов Pb — Ca — K в процессе кристаллизации. Таким образом, в гематитсодержащих слоистых рудах месторождения Яман-Касы наблюдаются изоморфные ряды, крайними членами которых служат минералы групп бедантита (гинсдалит, вудхаузеит), плюмбогуммита (крандаллит, плюмбогуммит) и алунита (алунит).

Особенности химического состава. В химическом составе изученных апосульфидных хлорит-кварц-гематитовых пород отмечается накопление РЗЭ, Ва, Sr, V и Ti. Суммарные содержание РЗЭ в них достигают 80–110 г/т, что значительно выше, чем в алевропесчаных (40 г/т) и гравелито-песчаных рудах (14 г/т).

Исключительно в крандаллите установлено присутствие примесей Ce, La, Nd, Gd, а также Pr. Содержания Nd и Pr превышают или сопоставимы с содержаниями Ce, а концентрации La в единичных точках достигает 1.84 мас. %, но в большинстве случаев ниже предела чувствительности анализа. Зональность в распределении P3Э в крандаллите слабо выражена, что связано, в целом, с низкими содержаниями P3Э. Находки крандаллита с примесью P3Э известны в гидротермально-измененных породах Cu-Au эпитермального месторождения Челопеч (Болгария) (Georgieva, Velinova, 2012). Содержания примесей P3Э (Ce, Nd и La) составляют не более 0.02 к.ф., что сопоставимо и даже ниже, чем, в изученном крандаллите месторождения Яман-Касы.

Отчетливая зональность в крандаллите установлена в распределении Ca, Pb, Al, P и связана с изоморфными замещениями в катионной (Ca \leftarrow Pb, Sr, Ba, P3Э, Th, U, Fe³⁺ \leftarrow Al) и анионной (P \leftarrow S, Si) подрешетках минералов. В удлиненных ритмично-зональных агрегатах крандаллита с увеличением доли крандаллитового минала содержание P3Э (Ce + La + Pr + Nd) и P возрастает. В крандаллите между содержаниями Pb и Ca установлена отрицательная зависимость (r = -0.73) и положительная связь между Ca и P3Э (r = 0.62).

Источники вещества. Основным источником Al, Ca, K, P, a также P3Э и других элементов является гиалокластический материал с примесью карбонатного, биогенного и органического вещества (Теленков, Масленников, 1995; Масленников, 1999; Аюпова и др., 2015). Изученные хлорит-кварц-гематитовые породы обогащены фосфором (до 1.02% P₂O₅) по сравнению с мелкообломочными и крупнообломочными разновидностями рудокластитов (Сафина, Масленников, 2009). Накопление фосфора свидетельствует о разложении биогенного вещества и частичном растворении карбонатов в условиях гальмиролиза и диагенеза и фиксировании фосфора в форме апатита или других минералов (Теленков, Масленников, 1995). Участие органического и биогенного вещества в изученных рудах подтверждается находками фрамбоидов пирита в виде изолированной вкрапленности в хлорит-кварц-гематитовой массе; оруденелых биогенных остатков, представленных мелкими трубчатыми червями, которые заместились аутигенными сульфидами, гематитом и кварцем.

Источником Pb, а также Cu, Zn служили рудокласты с обильными включениями галенита, Pb-содержащих теллуридов и сульфосолей, широко распространенные в гравелито-песчаных рудах, которые ритмично чередуются с алевро-песчаными рудами и кварц-хлорит-гематитовыми породами (Сафина, Масленников, 2009). Вероятно, окислительные процессы в условиях гальмиролиза и диагенеза приводили к растворению рудокластов, что способствовало высвобождению элементов и их вхождению в состав аутигенных минералов. В свою очередь, окисление гиалокластов приводило к высвобождению Al, Ca, K, P, а также РЗЭ и других примесных элементов. В полностью окисленных хлорит-кварц-гематитовых породах рудные элементы могут образовывать как самостоятельные минеральные формы в нерудной массе, так и входить в состав нерудных минералов, в том числе минералов надгруппы алунита.

Отмечается избирательное концентрирование V, U и Th — элементов гидрогенной ассоциации (Butler, Nesbitt, 1999). Ванадий, а также Ti, концентрируется в гинсдалите и алуните, тогда как U и Th приурочены к крандаллиту. При этом содержание U в изученных породах (1.28 г/т) в несколько раз превышает содержание Th (0.25 г/т). Вероятно, при формировании минералов надгруппы алунита и поздней кварц-гематитовой ассоциации в слоистых рудах преимущественно мобилизуется U.

выводы

Крандаллит, гинсдалит и алунит обнаружены в гематитсодержащих тонкослоистых колчеданных рудах месторождения Яман-Касы. Минералы образуют сферолиты и удлиненные ритмично-зональные агрегаты в срастании с диагенетическими сульфидами и в кварц-хлорит-гематитовой массе. Особенностью их химического состава являются высокие содержания Pb, а также примеси P3Э, Ba, Sr, U, Th и Cu. Морфология и ассоциации минералов надгруппы алунита не типичны для зон континентально-го окисления колчеданных месторождений, а также гидротермальных обстановок минералобразования. Химический состав обнаруженных минералов отражает особенности состава исходных рудокластов и примесного гиалокластического материала в присутствии фосфора, поступающего из биогенного вещества. Таким образом, полученные данные являются важными для понимания направленности процессов перераспределения вещества в условиях субмаринного преобразования колчеданных руд.

Авторы благодарят за помощь в работе Е.В. Белогуб, И.Ю. Мелекесцеву, М.А. Рассомахина, К.А. Филиппову, П.В. Хворова, Е.Д. Зенович. Исследования выполнены в рамках госбюджетной темы Южно-Уральского федерального научного центра минералогии и геоэкологии УрО РАН (122031600292-6).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аюпова Н.Р., Масленников В.В., Котляров В.А., Никандрова Н.К. Минеральные преобразования гиалокластитов в процессе литогенеза в колчеданоносных районах Урала // Минералогия. **2015**. № 2. С. 18–30.

Аюпова Н.Р., Масленников В.В., Филиппова К.А. Геохимия и минералогия редкоземельных элементов в рудах Талганского медно-цинково-колчеданного месторождения, Южный Урал // Докл. АН. **2019**. Т. 487. № 6. С. 659–662.

Белогуб Е.В. Минералогия гипергенеза сульфидных месторождений Южного Урала / Мат. XI Съезда Российского минералогического общества "Современная минералогия: от теории к практике", Санкт-Петербург, **2010**. С. 142–144.

Блинов И.А. Самородные металлы, селениды, галогениды и ассоциирующие минералы из бурых железняков Амурского и Верхне-Аршинского месторождений (Южный Урал) // Лито-сфера. **2015**. № 1. С. 65–74.

Котельникова А.Р., Сук Н.И., Котельникова З.А., Щекина Т.И., Калинин Г.М. Минеральные геотермометры для низкотемпературных парагенезисов // Вестник ОНЗ РАН. 2012. Т. 4. NZ9001.

Масленников В.В. Седиментогенез, гальмиролиз и экология колчеданоносных палеогидротермальных полей (на примере Южного Урала). Миасс, Геотур, **1999**. 348 с.

Масленников В.В. Литогенез и колчеданообразование. Миасс: ИМин УрО РАН, **2006**. 383 с. Масленникова С.П., Масленников В.В. Сульфидные трубы палеозойских "черных курильщиков" (на примере Урала). Екатеринбург: УрО РАН, **2007**. 317 с.

Масленников В.В., Аюпова Н.Р., Масленникова С.П., Третьяков Г.А., Мелекесцева И.Ю., Сафина Н.П., Белогуб Е.В., Ларж Р.Р., Данюшевский Л.В., Целуйко А.С., Гладков А.Г., Крайнев Ю.Д. Токсичные элементы в колчеданообразующих системах. Екатеринбург: РИО УрО РАН, **2014**. 340 с.

Медноколчеданные месторождения Урала: Геологические условия размещения / Прокин В.А., Нечеухин В.М., Сопко П.Ф. и др. Свердловск: УНЦ АН СССР, **1985.** 288 с.

Новоселов К.А. Зоны окисления над слепыми колчеданными залежами Александринского и Западно-Озерного месторождений (Южный Урал). Автореф. дис. ... канд. г.-м.н. СПб.: **2000**. 16 с.

Репина С.А. Фракционирование РЗЭ в парагенезисе ксенотима и флоренсита на Au-REE рудопроявлениях Приполярного Урала // Геохимия. **2011.** № 9. С. 919–938.

Рязанцев А.В., Дубинина С.В., Кузнецов Н.Б., Белова А.А. Ордовикские структурно-формационные комплексы в аллохтонах Южного Урала // Геотектоника. **2008.** № 5. С. 368–395.

Сафина Н.П., Масленников В.В. Рудокластиты колчеданных месторождений Яман-Касы и Сафьяновское (Урал). Миасс, УрО РАН, **2009**. 260 с.

Сафина Н.П., Котляров В.А., Блинов И.А. Минералы надгруппы алунита в рудных диагенитах колчеданного месторождения Яман-Касы, Южный Урал // Минералогия. Т. 5. № 4. **2019**. С. 19–29.

Теленков О.С., Масленников В.В. Автоматизированная экспертная система типизации кремнисто-железистых отложений палеогидротермальных полей Южного Урала. Миасс: ИМин УрО РАН, **1995**. 200 с.

Трофимов О.В. Первые данные о зоне окисления колчеданного месторождения Яман-Касы // Уральский минералогический сборник. **1994**. № 3. С. 150–154.

Minerals of the Supergroup of Alunite in Layered Ores of the Yaman-Kasy Sulfide Deposit, Southern Urals: Morphology, Assemblages, and Chemical Composition

N. P. Safina^a, *, V. A. Kotlyarov^a, and I. A. Blinov^a

^aSouth Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology Ural Branch RAS, Institute of Mineralogy, Miass, Russia *e-mail: natali.safina2015@yandex.ru

The article describes the findings of minerals of the alunite supergroup: crandallite, ginsdalite, and alunite in hematite-containing thin-layered pyrite ores with increased total REE contents (up to 110 ppm). Crandallite forms elongated aggregates (up to 120 microns) with a rhythmically zonal structure and an uneven distribution of REE in them. Less common are spherulite aggregates (up to 120 microns) in association with alunite, quartz, chlorite, and hematite. The main feature of crandallite is high Pb contents (7–19 wt % PbO). Individual grains of crandallite contain (wt %) up to 1.84 La₂O₃, up to 1.03 Ce₂O₃, 0.85–1.73 Nd₂O₃, 0.39–0.54 Pr₂O₃, as well as 0.52–2.70 BaO, 0.99–2.50 SrO, 0.34–0.55 UO₂, 0.30–0.69 ThO₂, and 0.32–0.57 CuO. Ginsdalite and alunite in the form of spherulites up to 30 microns in size and lamellar aggregates up to 20–30 microns in length are found in interstitials of chalcopyrite, barite. The chemical composition of alunite and ginsdalite contains minor V₂O₅ (up to 0.3 and 0.1 wt %, respectively). The formation of minerals is considered as a result of the mobilization of components from hyaloclasts and ore-clasts in the presence of phosphorus coming from biogenic matter during the formation of a late quartz-hematite association.

Keywords: alunite supergroup, Pb, REE, layered ores, Yaman-Kasy massive sulfide deposit, South Urals

REFERENCES

Ayupova N.R., Maslennikov V.V., Kotlyarov V.A., Nikandrova N.K. Mineral transformations of hyaloclastites during lithogenesis in sulfide-bearing areas of the Urals. *Mineralogy.* **2015**. N 2. P. 18–30 (*in Russian*).

Ayupova N.R., Maslennikov V.V., Filippova K.A. REE geochemistry and mineralogy of ores from the Talgan Cu-Zn massive sulfide deposit, South Urals. *Doklady Earth Sciences.* **2019**. Vol. 487. N 2. P. 973–975 (*in Russian*).

Belogub E.V. Mineralogy of hypergenesis of sulfide deposits in the Southern Urals. In: Proc. XI Congress of the Russian Mineralogical Society "Modern mineralogy: from theory to practice". Saint-Petersburg, **2010**. P. 142–144 (in Russian).

Blinov I.A. Native metals, selenides, halogenides and brown ore associated minerals from the Amur and Verkhnyaya Arsha deposits (Southern Urals). *Lithosphere.* **2015**. N 1. P. 65–74 (*in Russian*).

Butler I.B., Nesbitt R.W. Trace element distributions in the chalcopyrite wall of black smoker chimney: insights from laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICP-MS). Earth Planet. Sci. Lett. **1999.** Vol. 167. N 3. P. 335–345. *Georgieva S., Velinova N.* Alunite from the advanced argillic alterations in the Chelopech high-sulphidation epitermal Cu-Au deposit, Bulgaria: Chemistry, morphology audgenetic significance. *Bull, Miner. Petrol. Geochem.* **2012**. Vol. 49. P. 17–31.

Imura T., Minami Y., Ohba T., Matsumoto A., Arribas A., Nakagawa M. Hydrothermal aluminumphosphate-sulfates in ash from the 2014 hydrothermal eruption at Ontake volcano, Central Honshu, Japan. *Minerals.* **2019**. Vol. 9. P. 462.

Kotelnikova A.R., Suk N.I., Kotelnikova Z.A., Shchekina T.I., Kalinin G.M. Mineral geothermometers for low-temperature paragenesis. Vestnik ONZ RAS. 2012. Vol. 4. NZ9001 (in Russian).

Maslennikov V.V. Sedimentogenesis, halmyrolysis and ecology of massive sulphide-bearing paleohydrothermal fields (after example of the South Ural). Miass: Geotur, **1999**. 348 p. (*in Russian*).

Maslennikov V.V. Lithogenesis and pyrite formation. Miass: Institute of Mineralogy of the Ural Branch RAS. **2006**. 383 p. (*in Russian*).

Maslennikov V.V., Maslennikova S.P. Paleozoic black smoker sulfide chimney (a case of Ural). Yekaterinburg-Miass, RIO UB RAS, 2007. 312 p. (in Russian).

Maslennikov V.V., Ayupova N.R., Maslennikova S.P., Tretyakov G.A., Melekestseva I.Yu., Safina N.P., Belogub E.V., Larzh R.R., Danyushevsky L.V., Tseluiko A.S., Gladkov A.G., Krainev Yu.D. Toxic elements in pyrite-forming systems. Yekaterinburg: RIO UB RAS, **2014.** 340 p. (in Russian).

Maslennikov V.V., Ayupova N.R., Safina N.P., Tseluyko A.S., Melekestseva I.Yu., Large R.R., Herrington R.J., Kotlyarov V.A., Blinov I.A., Maslennikova S.P., Tessalina S.G. Mineralogical features of ore diagenites in the Urals massive sulfide deposits, Russia. *Minerals.* **2019**. Vol. 9. 150 p. https://doi.org/10.3390/min9030150

Massive sulfide deposits of the Urals: geological conditions of placement Eds. Prokin V.A., Necheukhin V.M., Sopko P.F. et al. Sverdlovsk, **1985**. 288 p. (*in Russian*).

Novoselov K.A. Oxidation zones over the blind massive sulfide deposits of Aleksandrinskoe and Zapadno-Ozernoe deposits (Southern Urals). PhD thesis syn. Saint-Petersburg, **2000**. 18 p. (*in Russian*).

Owen N., Cook N., Rollog M., Ehrig K.J., Schmandt D.S., Ram R., Brugger J., Ciobanu C.L., Wade B., Guagliardo P. REE-, Sr-Ca-aluminum-phosphate-sulfate minerals of the alunite supergroup and their

role as hosts for radionuclides. Amer. Miner. 2019. Vol. 104. P. 1806–1819.

Palenova E.E., Belogub E.V., Lebedeva S.M., Shtenberg M.B., Mironov A.B., Khvorov P.V. Florencite from gold bearing black shale from Lena gold province, Eastern Siberia, Russia. In: Proc. XXI Meeting of the IMA-2014. Johannesburg, **2014.** P. 344.

Repina S.A. Fractionation of REE in the paragenesis of xenotime and florencite on the Au-REE of ore occurrences of the Subpolar Urals. *Geochemistry.* **2011.** N 9. P. 919–938 (*in Russian*).

Ryazantsev A.V., Dubinina S.V., Kuznetsov N.B., Belova A.A. Ordovician structural-formation complexes in allochthons of the Southern Urals. *Geotectonics.* **2008.** N 5. P. 368–395 (*in Russian*).

Safina N.P., Maslennikov V.V. Ore clastic sediments from Yaman-Kasy and Saf'yanovka massive sulfide deposits, the Urals. Miass: IMin UB RAS, **2009**. 260 p. (*in Russian*).

Safina N.P., Kotlyarov V.A., Blinov I.A. Mineralogy of the alunite supergroup in ore diagenites of the Yaman-Kasy massive sulfide deposit, South Urals. *Mineralogy*. **2019**. Vol. 5. N 4. P. 19–29 (*in Russian*).

Telenkov O.S., Maslennikov V.V. Automated expert system of typification of siliceous-ferruginous deposits of paleohydrothermal fields of the Southern Urals. Miass: IMin UrO RAS, **1995**. 200 p. (*in Russian*).

Trofimov O.V. First data on the oxidation zone of the massive sulfide deposit Yaman-Kasy. *Ural Miner. Coll.* **1994**. N 3. P. 150–154 (*in Russian*).

= ИСТОРИЯ НАУКИ =

О БЕСКОНЕЧНОМ, ЕСТЕСТВЕННО СОДЕРЖАЩЕМСЯ В КОНЕЧНОМ

© 2023 г. Почетный член Ю. Л. Войтеховский^{1, 2, *}

¹Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, наб. р. Мойки, 48, Санкт-Петербург, 191186 Россия ²Российское минералогическое общество, 21-я линия, 2, Санкт-Петербург, 199106 Россия *e-mail: vojtehovskij@herzen.spb.ru

> Поступила в редакцию 20.07.2023 г. После доработки 27.09.2023 г. Принята к публикации 02.10.2023 г.

Статья посвящена истории представлений о форме кристаллического полиэдра и его структуре. Показано, как идеи поясов граней и кристаллической решетки естественным образом вводят бесконечности в науку о кристаллах, всегда конечных в практике минералогов. Статья приурочена к 2000-летию со дня рождения Плиния Ст., 385-летию – Н. Стенона, 280-летию – Р.Ж. Гаюи, 180-летию – П.Г. Грота, 170-летию – В.М. Гольдшмидта, Е.С. Фёдорова и А.М. Шенфлиса. Все они в своем творчестве пытались овладеть, казалось бы, бесконечными многообразиями объектов согласно найденным принципам.

Ключевые слова: Плиний Ст., Н. Стенон, Р.Ж. Гаюи, П.Г. Грот, В.М. Гольдшмидт, Е.С. Фёдоров, А.М. Шенфлис, пояс граней, закон поясов, закон компликации, кристаллическая решетка, история кристаллографии

DOI: 10.31857/S0869605523060060, EDN: XQRGYV

Этот год богат на юбилеи, круглые и полукруглые даты.¹ Чего стоит 2000-летие со дня рождения Плиния Ст. (23–79)! Далее следуют: 385-летие Н. Стенона (1638–1686), 280-летие Р.Ж. Гаюи (1743–1822), 180-летие П.Г. Грота (1843–1927), 170-летие В.М. Гольдшмидта (1853–1933), Е.С. Фёдорова (1853–1919) и А.М. Шенфлиса (1853–1928). Каждый внес значимый вклад в естественные науки, в частности, в минералогию и тот ее раздел, который благодаря им оформился в кристаллографию. Каждый заслуживает отдельной статьи, но трудно что-либо добавить к текстам И.И. Шафрановского (1978, 1980). Попробуем увязать деяния наших героев в необычный сюжет. И он найдется, если посмотреть на них немного отстраненно. Тогда можно видеть, что все они пытались упорядочить огромные многообразия занимавших их предметов природы.

В названии статьи очевидна параллель с названием книги "О твердом, естественно содержащемся в твердом" (Стенон, 1957). Она намекает на дату со дня рождения ее автора и акцентирует главную идею статьи: в современных представлениях о форме и структуре кристаллов, всегда конечных в руках минералогов, естественно содержатся разные бесконечности. О них обычно не успеваешь сказать в досадно коротких университетских курсах кристаллографии и минералогии для геологов. Но о них стоит говорить, ибо, если кристаллическая решетка транслируема, то бесконечный космос не

¹ Помню из студенческой поры, как на лекции по кристаллографии И.И. Шафрановский заметил, что древние считали юбилеями 25, 50, 75 и 100 лет, а современные любители "симпосиев и сатурналий" (по-смотрев на нас строго) добавили прочие даты, оканчивающиеся на 0 (круглые) и 5 (полукруглые). Поясним, что симпосии и сатурналии – пиршества с дионисийским акцентом...

где-то далеко, абстрактно и потенциально, но в каждом кристалле, конкретно и актуально. А это определяет стиль мышления будущего геолога: оно приземленно и ограничено или свободно...

ПЛИНИЙ СТ.

"Естественная история" Плиния Ст. – об этом, ибо для просвещенного римлянина, унаследовавшего мировоззрение греков, бесконечно разнообразный космос – не хаос, и надо понять его порядок. Горным породам и минералам посвящены две последние книги энциклопедии: XXXVI. Камни, скульптуры; XXXVII. Драгоценные камни и изделия из них. Римляне были практичны, но все же Плиний Ст. приметил и нечто бесполезное – совершенные кристаллы суть многогранники. И.И. Шафрановский сказал осторожно: "У древних авторов кристаллические формы многогранников почти не упоминаются. Даже в <...> "Естественной истории" Плиния <...> употребляются лишь лаконичные и неточные эпитеты: золото и алмаз – "четырехугольные", горный хрусталь – "шестиугольный"" (Шафрановский, 1956, с. 213).

Вот эти описания в переводе В.М. Севергина: "Алмаз. <...> При гладких своих шести сторонах оканчивается заострением, в двух противоположных концах как бы две кегли соединяются вместе наиболее широкими своими плоскостями" (Плиний Ст., 1819, с. 4). "Амфитан. <...> Находится в той части Индии, где муравьи выкапывают золото, и где он подобно золоту находится четыреугольного вида" (там же, с. 28–29). "Берилл. <...> Все бериллы, по домыслу художников, полируются в виде шестиугольников. <...> Некоторые думают, что они уже родятся угловатые" (там же, с. 68–69). "Горный хрусталь. <...> Почему он родится шестисторонний, сему трудно найти причину, тем более, что и концы не одинаковый вид имеют, и гладкость боков столь совершенна, что того никаким искусством произвести не можно" (там же, с. 116–117). Здесь еще нет научной мысли, нет даже эмпирического обобщения. Но в констатации полиэдрических форм совершенных природных кристаллов через указание их атрибутов (граней, ребер и вершин) Плиний Ст. был первым.

H. CTEHOH

Разве в последней цитате не прозвучал вопрос о форме и происхождении горного хрусталя? На 16 столетий он за ненадобностью как бы пропал. Но невозможно, чтобы он не возникал всякий раз там, где рудокопы находили ограненные кристаллы, то есть в самых разных частях света. А ответ в научной форме был дан в 1669 г. в трактате "О твердом, естественно содержащемся в твердом" (Стенон, 1957) и лег в основание генетической минералогии и минералогической кристаллографии. Мы имеем в виду идею о том, что минералы растут последовательным наложением слоев, и 1-ый эмпирический закон кристаллографии о постоянстве углов между соответственными гранями кристаллов одного вида. Бесконечное разнообразие форм кристаллов Н. Стенон классифицировал уже тем, что соотнес их с минеральными видами.

Р.Ж. ГАЮИ

Р.Ж. Гаюи сделал важный шаг именно в этом направлении, задавшись вопросом: как возможны столь разные формы на кристаллах не только разных, но и одного вида? В итоге – стройная теория о первичных и вторичных формах, впервые апеллирующая к первоэлементам, то есть связывающая форму и структуру кристалла. Первичные формы получаются делением кристалла по спайности до "интегрирующих молекул", вторичные – наложением их слоев на первичные формы согласно "теории убывания". Концепция сочеталась с его же "законом рациональных отношений параметров" и запретила в кристаллографии платоновы додекаэдр и икосаэдр. "Геометрическая клас-

сификация вторичных форм по Гаюи весьма сложна. <...> Далее появляются 30-гранные и даже 90-гранные (!) комбинации. Так как комбинаций может существовать неограниченное множество, то лишь благодаря счастливой случайности список названий вторичных комбинаций по числу их граней не разросся у Гаюи до бесконечности" (Шафрановский, 1956, с. 225).

Но заметим, что он как раз и хотел объяснить это разнообразие форм, кажущееся бесконечным. На кристалле везувиана он действительно насчитал 90 граней (там же, с. 223), так ведь природные 48-гранники описал и сам И.И. Шафрановский (1968). Теория Р.Ж. Гаюи пала под ударами внутренних (геометрических) и внешних (физических) противоречий. Такова логика науки, одна парадигма уступила другой. И все же это – оставшаяся в истории попытка овладения бесконечным разнообразием кристаллических форм. Заметим, что 2-ой эмпирический закон Р.Ж. Гаюи был принят не сразу, а после его доработки и опубликования в "Трактате о кристаллографии" У. Миллером в 1842 г. (Пущаровский, 2022).

П.Г. ГРОТ

П.Г. Гроту мы обязаны тем, что он издал в своем журнале "Zeitschrift für Krystallographie und Mineralogie" статьи Е.С. Фёдорова, распространив в мире его систематику и номенклатуру 32 видов симметрии, устоявшуюся к началу ХХ века после долгих борений. Он же первый оценил работы Е.С. Фёдорова и А.М. Шенфлиса, приведшие к теории 230 пространственных групп симметрии, и рекомендовал Е.С. Фёдорова в Баварскую академию наук. Главные труды П.Г. Грота: "Табличный обзор минералов", "Физическая кристаллография" и "Химическая кристаллография" в 5 томах (сводка кристаллических форм и физических свойств нескольких тысяч веществ) – привели к признанию методов кристаллографии в органической химии. Он же "вернул" атомы в узлы кристаллических решеток, после работ М.Л. Франкенгейма и О. Браве представлявших собой абстрактные геометрические образы, и тем самым сделал кристаллографию физической. Избран членом (1877) и почетным членом (1890) Императорского Санкт-Петербургского минералогического общества, членом-корреспондентом Императорской Санкт-Петербургской академии наук (1883) и почетным членом Российской академии наук (1925). Дело жизни П.Г. Грота – тоже упорядочение составов, форм и структур огромных многообразий неорганических и органических химических соединений, в том числе минералов.

С именем П.Г. Грота связано и производство полиэдрических моделей, полезных в обучении кристаллографии. Методика преподавания была подхвачена Ленинградским горным институтом и Московским университетом. История сохранила фамилии мастеров: в институте – В.П. Будаев, в университете – И.Э. Петц. "При участии работников кристаллографической модельной мастерской Ленинградского горного института во главе с непревзойденным мастером В.П. Будаевым создается коллекция моделей атомных структур кристаллов для музея <...> (эта коллекция с большим успехом демонстрировалась на Международном геологическом конгрессе в Ленинграде в 1937 г.). Впоследствии такая же коллекция была выполнена для Института кристаллографии Академии наук СССР (Шафрановский, 1996, с. 32). "Огромным достижением Фёдоровского института явилась организация по инициативе А.К. Болдырева единственной в нашем Союзе экспериментальной модельной мастерской, изготовлявшей кристаллические модели простых форм и комбинаций, а затем с успехом приступившей к созданию первых моделей кристаллических структур. Душой этого дела явился замечательный мастер и талантливый конструктор-изобретатель В.П. Будаев. Им был создан специальный прибор для выпиливания полиэдрических моделей, в основе которого лежала федоровская идея о двукружном (теодолитном) гониометре" (там же, с. 89).

Об И.Э. Петце есть записи на оборотах двух фото в архиве Д.П. Григорьева, хранящемся в Российском минералогическом обществе: (рукой Д.П. Григорьева) "Петц Иосиф Эдуардович, специалист по изготовлению шлифов и кристаллографических моделей, был препаратором у П. Грота в Мюнхене, в Россию его ввез акад. В.И. Вернадский, много лет работал в АН при Минералогическом музее, умер в 1942" и (рукой И.Э. Петца, поскольку от первого лица) "Petz Josef, geb. 1865 zu München. Ich war bei Prof. Dr. Groth von 1888 bis 1899, Akademie der Wissenschaften Peterburg von 1900 bis 1935" (Петц Йозеф, род. в 1865 в Мюнхене. Я был при профессоре, докторе Гроте с 1888 до 1899, при Академии наук в Петербурге с 1900 до 1935 – пер. с нем. авт.).

Непреходящую важность начинания П. Грота показывает следующее письмо из архива Д.П. Григорьева: "20.02.1968. Заведующему кафедрой минералогии. Я слышала, что при Вашем институте имеются мастерские, изготовляющие кристаллографические модели. Техникум дважды запрашивал институт о возможности приобретения этих моделей, но ответа не поступало. Может быть, эти мастерские уже ликвидированы? Я просто не знаю, куда еще писать. Считая, что Ваша кафедра, безусловно, в курсе дела, я позволила себе обратиться лично к Вам с просьбой сообщить, существуют ли у Вас такие мастерские и их адрес. Приношу извинения за беспокойство. С уважением (подпись). Мой адрес: Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Революции, 51, Геологоразведочный техникум, кабинет минералогии, Левашевой И.И.".

Итак, напрашивается вывод: как угодно большое природное многообразие всегда удается организовать в некоторую систему. Так, для форм и структур минералов имеем: 3 категории, 7 сингоний,² 47 простых форм, 32 точечные группы симметрии Гесселя—Гадолина, 14 решеток Браве, 230 пространственных групп симметрии Фёдорова-Шенфлиса... Список констант можно продолжить. Он радует, ибо говорит о фундаментальности нашей науки. Так что же, всякая форма кристалла (с точностью до движения граней вдоль нормалей или до комбинаторного типа, имея в виду принцип диссимметрии Кюри) и структура (малой деформацией углов и параметров, имея в виду закон пределов Фёдорова—Грота) сводима к одному из конечного числа типов? Покажем, что в наших представлениях о минералах есть и неустранимые бесконечности.

В.М. ГОЛЬДШМИДТ

В связи с этим именем вспоминаются фундаментальные сводки "Индексы кристаллических форм минералов" в 3 томах, "Кристаллографические таблицы углов" и "Атлас кристаллических форм" в 18 томах (по 9 с рисунками и описаниями). Последние издавались с 1913 по 1923 гг. и свидетельствуют о титаническом труде. Но далее речь пойдет о другой работе.

17.VIII.91 автор послал письмо И.И. Шафрановскому с предложением перевести и издать к юбилею В.М. Гольдшмидта его натурфилософскую книгу (Goldschmidt, 1921) из фонда А.Е. Ферсмана в библиотеке Кольского НЦ РАН.³ В письме от 27.IX.91 наставник не преминул заметить, что 140 лет – не юбилей, а круглая дата, и сообщил, что "в целом ряде своих очень ранних статей широко пользовался его законом компликаций <...> в частности, в <...> истолкованиях округлых форм алмаза", что пере-

² До Е.С. Фёдорова их было 6, в расширенной кристаллографии, узаконившей квази-кристаллы и фуллерены, нужна 8-я, додекаэдро-икосаэдрическая с 8 простыми формами. Она не согласуется с трансляциями, но оправдывает поворотные оси 5-го и инверсионные 10-го порядков. Расширение кристаллографии странными фазами началось не с открытия квазикристаллов Д. Шехтманом в 1982 г. Еще в 1931 г. В. Гольдшмидт выделил на кристаллах калаверита неиндицируемые грани и заключил, что закон Р.Ж. Гаюи не учитерстании и странными странируру и изу исторати неиндицируемые грани и заключил, что закон Р.Ж. Гаюи не учитерстание странируемые грани и заключил, что закон Р.Ж. Гаюи не учитерстание странируру и изу местора странируемые страни и заключил, что закон Р.Ж. Гаюи не учитерстание странируемые страни и заключил, что закон Р.Ж. Гаюи не учитерстание странируемые страни и заключил, что закон Р.Ж. Гаюи не учитерстание странируемые странируемые странируемые странируемые странируемые странируеми странируеми и странируеми и странируемые странируемые странируемые странируеми странируем

универсален. Сегодня эти структуры называются несоразмерно модулированными (Пущаровский, 2022). ³ По окончании Московского университета А.Е. Ферсман проходил стажировку в Гейдельберге у В.М. Гольдшмидта, который затем всю жизнь посылал ученику свои книги, осевшие в библиотеке научно-исследовательской базы "Тиетта" в Хибинах, ныне – Кольский НЦ РАН.

Doporon Hopun reonndolut! 27/1×91 C Sonsmum unreperon aporen Bame auch 20 Когда-то я нитая работу В. Гомбилидта и в целом ряде своих очень ранних статей широко пользовался его закоком Иомпликовий Но исклогительно по линии кристалоградии (& yacono 54, & non ucion kolorus orynus арора алтаза в осповном истолозоройся иден колтпикации). Всё это было очень давно. Dynan, to nephodure Tonodunudia re crout (The Theratare?) a crown Ban Harricarto хорошую статью с Бересказот идей Torbdumedig UTak - Fremente clastro a nochenante ee 1 Ban, Mun. Od-la um & Munepanorus. reypnan (Kuel). Bas hee, 250 I nory Ban nocoberolart. Baro Bun canno xapomero. U. Madopanoberun

Рис. 1. Начало и окончание письма И.И. Шафрановского. **Fig. 1**. Beginning and end of the I.I. Shafranovsky's letter.

водить книгу не надо, а стоит "написать хорошую статью с пересказом идей Гольдшмидта" (рис. 1).

Позднее книга все же была переведена и издана с предисловием Н.П. Юшкина (Гольдшмидт, 1998). Он отметил, что "на растворяющихся кристаллах серы <...> символы всех без исключения граней 1-го и 2-го и около 60% 3-го притупления выводятся из исходных путем компликации" (Юшкин, 1968, с. 94–95), что "на кристаллах пирита отсутствуют притупления 1-го и упорно выступают притупления 2-го порядка" (Шафрановский, 1946, 1951), что "Е.С. Фёдоров как-то очень быстро перешагнул" через идеи компликации, но это "не отвергает <...> перспективы для разработки <...> новых эвристических подходов".

Primärflächen: A								В
$N_0 = 0$		•	•		•			$\infty =$ Normalreihe 0.
1. Complication: A				С				В
$N_1 = 0$		•	•	1	•			∞ = Normalreihe 1.
2. Complication: A		D	•	С		E		В
$N_2 = 0$		1/2	•	1	•	2		∞ = Normalreihe 2.
3. Complication: A	F	D	G	С	Н	Е	J	В
$N_3 = 0$	1/3	1/2	2/3	1	3/2	2	3	∞ = Normalreihe 3.

Рис. 2. Нормальные ряды (Normalreihe) N_1 , N_2 и N_3 получаются из N_0 , заданного первичными гранями (Primärflächen) A и B, компликациями 1, 2 и 3 (Goldschmidt, 1921, с. 7). Грани обозначены латинскими буквами, их символы – дробями.

Fig. 2. Normal rows (Normalreihe) N_1 , N_2 and N_3 are obtained from N_0 given by the primary facets (Primärflächen) A and B by the complications 1, 2 and 3 (Goldschmidt, 1921, p. 7). The faces are labelled with Latin letters, their symbols with fractions.

По Х.С. Вейсу, пояс – это множество граней на кристалле, пересекающихся по параллельным ребрам. Но в какой очередности образуются грани? В.М. Гольдшмидт и пытался ответить на этот вопрос своим "законом компликации", использовав математическую структуру, сегодня называемую "деревом Штерна-Броко".⁴ Если даны дроби a/b и c/d, то "медианта" (a + c)/(b + d) всегда заключена между ними.⁵ В.М. Гольдшмидт приписал исходным граням символы 0/1 и 1/0. Срезая их общее ребро, получим грань с символом 1/1. Пояса быстро заполняются промежуточными гранями. Для получения их символов берем две соседние дроби и делим сумму числителей на сумму знаменателей. № 0: 0/1, 1/0 \rightarrow № 1: 0/1, 1/1, 1/0 \rightarrow № 2: 0/1, 1/2, 1/1, 2/1, 1/0 \rightarrow № 3: $0/1, 1/3, 1/2, 2/3, 1/1, 3/2, 2/1, 3/1, 1/0 \rightarrow \mathbb{N}_{2}$ **4**: $0/1, 1/4, 1/3, 2/5, \frac{1}{2}, \frac{3}{5}, 2/3, 3/4, 1/1, 4/3, 2/5, \frac{1}{2}, \frac{$ 3/2, 5/3, 2/1, 5/2, 3/1, 4/1, 1/0... (рис. 2). Эти числовые последовательности (ряды) В.М. Гольдшмидт назвал гармоническими, если они полны (без пропусков) – нормальными. На реальных кристаллах пояса более высоких, чем № 4, порядков не встречаются, да и в четырех первых бывают пропуски. В связи с наблюдениями И.И. Шафрановского и Н.П. Юшкина заметим, что пояса все более высоких порядков дают кристаллу все больше возможностей для расположения граней. Но из математики вовсе не следует (а физику процесса В.М. Гольдшмидт не пояснил), что они должны реализоваться последовательно и полно. Далее нас интересует даже не это, а целая серия наличных бесконечностей.

Первая предъявляется заменой исходного символа 1/0 на ∞ без пояснений (рис. 2). Но процедура построения поясов символична. Символы не "складываются", а "взаимодействуют". Лишь обращаясь к упорядочению на числовой прямой, мы "узнаем" в них дроби: в символе первой грани — начало координат 0/1 = 0, в первой медианте — единицу 1/1 = 1. Символ 1/0 на каждом шаге порождает очередное натуральное число,

 ⁴ В честь немецкого математика М.А. Штерна (1807–1894) и французского часовщика и математика-любителя Л.А. Броко (1817–1878). Первый использовал его в теории чисел, второй – при расчете передаточных чисел часовых механизмов.
⁵ Такое "сложение" дробей невольно напоминает школьные уроки арифметики, ошибки и последствия...

² Такое "сложение" дробей невольно напоминает школьные уроки арифметики, ошибки и последствия... Лучше сразу отказаться от термина "сложение", заменив его на "операцию". Если a/b < c/d, то: a/b = a(1 + d/b)/b(1 + d/b) = (a + ad/b)/(b + d) < (a + c)/(b + d) < (a + c)/(a/c + d) = (a/c + 1)c/(a/c + 1)d = c/d.

в целом – их последовательность 1, 2, 3..., то есть потенциальную (появляющуюся добавлением все новых членов) счетную (это ее имя, мы как бы считаем предметы, последовательно присваивая им числа натурального ряда) бесконечность, самую малую из возможных. Символ 0/1 порождает последовательность дробей, обратных к натуральным числам. Р. Генон (2013) называет их симметричными. Числа n/1 и 1/n в рядах симметричны относительно 1, но обратны по величине. Их последовательности лучше называть инверсионными. Симметричными были бы последовательности чисел *n* и -*n*. Р. Генон прав в другом: если нас озадачивает бесконечность $1/0 = \infty$, которая не число (ее нельзя получить арифметически), то почему нам понятно симметричное ей в рядах число 0/1 = 0 (получаемое вычитанием любого числа из равного ему)?⁶ Следовало бы различать два нуля – как меру чего-либо и как метафизическое "ничто".

Оценим, как быстро засеваются дробями промежутки между натуральными числами n/1 и обратными им 1/n. Если компликация продолжается неограниченно, номера поясов образуют счетную бесконечность 1, 2, 3... Число граней в поясе № *n* равно 2^{*n*} + 1 (находится как сумма первых членов геометрической прогрессии). Символ 2^{n} настораживает, в теории множеств он очень важен. Для множества с n элементами 2^n – это мощность "булеана", то есть множества всех его подмножеств.⁷ Если n – счетная бесконечность, то 2^n – континуум, например, число точек на прямой, плоскости, в пространстве... (Кантор, 1985). Неужели в схеме компликации кроется континуум? Нет, хотя число граней в поясе действительно растет как 2^n . Но оно всегда конечно, а счетное множество конечных множеств "всего лишь" счетно.

Проследим за числовыми последовательностями, порождаемыми шагами компликации. Выше отмечено, что символ 0/1 (число) порождает последовательность убывающих чисел 1/n, сходящуюся в точном математическом смысле к пределу 0/1 = 0. Символ 1/0 (не число) генерирует последовательность натуральных чисел n/1, "стремящуюся к бесконечности". На нелогичность этого выражения тоже обратил внимание Р. Генон: нельзя стремиться к чему-то столь неясному, "что больше любого наперед заданного числа". Этим разнообразие не заканчивается. Можно показать, что к пределам сходятся только "алгоритмические" последовательности дробей, в которых каждый новый член, начиная с некоторого, в очередных компликациях взаимодействует только с левым или правым.⁸ Иначе числовая последовательность не имеет предела именно из-за непоследовательного (прыгающего то влево, то вправо) очередного шага. Итак, компликации В.М. Гольдшмидта порождают потенциальные счетные бесконечности в форме гармонических поясов на кристаллах и отвечающих им сходящихся и расходящихся последовательностей рациональных дробей.

Е.С. ФЁЛОРОВ И А.М. ШЕНФЛИС

В фундаментальной теории кристалла бесконечность присутствует актуально, так как любая пространственная группа симметрии содержит трансляцию на конечную величину. Как любая операция симметрии, она должна совмещать его с собой. А это возможно лишь для бесконечного кристалла. В любом репере решетки трансляции

⁶ Еще более обескураживает геометрическое преобразование – инверсия относительно окружности (сферы), когда весь мир снаружи отображается вовнутрь, при этом вся бесконечность – в ее центр. Чтобы соблюсти поточечное соответствие, математики говорят о бесконечно удаленной точке. Нет пугающе необъятной бесконечности. Есть бесконечно удаленная точка, инверсионно-симметричная центру окружности (сферы). К ней можно идти вдоль любого радиуса, все пути ведут к ней. И это навязывает космологическое представление о замкнутости пространства без того даже, чтобы придать ему кривизну физическими 7 действиями масс, зарядов...

⁷ Это равенство опирается на бином Ньютона, а именно, сумма его коэффициентов, то есть сочетаний из *n* по 0 (пустое множество), 1, ..., *n*, равна: $C_n^0 + C_n^1 + ... + C_n^n = (1 + 1)^n = 2^n$. ⁸ Они порождают числовые последовательности Фибоначчи в числителях и знаменателях дробей, причем

те и другие связаны между собой. Это интересный раздел теории чисел.

вдоль осей (в обе стороны от начала) дадут последовательности целых чисел ... -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3... – счетные бесконечности. Еще одна бесконечность возникает в связи с понятием элементарной ячейки кристалла. Строя его вокруг начала координат последовательными оболочками ячеек, примыкающих по целым граням (эхо теории Р.Ж. Гаюи), получим счетную последовательность оболочек (1, 2, 3...), в каждой – конечное число ячеек, вместе – снова счетную бесконечность.

Рассматривая в последнем примере наложение последовательных оболочек как модель роста кристалла (в смысле Н. Стенона), получим потенциальную, не ограниченную в своем становлении бесконечность. Но теоретико-групповое преобразование решетки, содержащее трансляцию, совершается в сознании мгновенно и не предполагает ее "дорастания" ради того, чтобы некий фрагмент совместился со своей копией, находящейся точно там, где нужно. Иначе говоря, в фундаментальной теории Е.С. Фёдорова и А.М. Шенфлиса кристалл бесконечен актуально.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы пытались показать, что в наших представлениях о многообразиях минералов и структурах кристаллов бесконечности присутствуют не только как метафоры, но и как строго определяемые данности. Мы верим, что приближаемся к истине, время от времени меняя старую парадигму на новую (Т. Кун). А все же согласимся с философской максимой, что кристаллография и минералогия — науки о том, каковы кристаллы и минералы не "в себе и для себя", а "для нас" (Г. Гегель). И разве не верно, что за этими "феноменами", как бы глубоко и всесторонне мы их не изучали, маячат "ноумены" (И. Кант)? Мы пользуемся математикой, гарантирующей строгость определений, вычислений и самого мышления. В ней обнаруживаем иерархию бесконечностей (Г. Кантор). Но не попадаем ли в ловушку этого специфического языка (Л. Витгенштейн)? Мы верим, что он не искажает наши представления о мире.

И все же, откуда берутся бесконечности, если сказать без формул и чисел? Опыт описания огромных природных многообразий классиками естествознания⁹ показывает следующее. Их понимание возможно лишь в свете принципа, объемлющего все многообразие, но диалектически отрицающего его каждый индивид. Идеальный кристалл – отрицание всех реальных кристаллов: конечных, сплошных, с физическими свойствами, всегда несовершенных, с индивидуальной анатомией, в которых идеал лишь угадывается. И если найден принцип, то за ним следует удивление – в развернутом виде он всегда бесконечен и даже избыточен для описания эмпирики, всегда конечной в лаборатории исследователя. Наконец, после разговоров о бесконечностях как понять, что мы всегда держим в руках конечный минеральный индивид? А просто пересеклись две онтогенические траектории – его и наша. До того первая уж точно была направлена в бесконечность. Продолжится ли – зависит от нас...

Автор благодарен рецензентам за весьма профессиональные рекомендации, способствовавшие лучшему изложению материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Генон Р. Наука чисел. СПб.: Владимир Даль, 2013. 270 с.

Гольдшмидт В. О компликации и диспликации / Пер. с нем. Ю.Л. Войтеховского, предисловие Н.П. Юшкина. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, **1998**. 69 с.

Кантор Г. Труды по теории множеств. М.: Наука, 1985. 430 с.

⁹ Из числа биологов назовем хотя бы "отца современной ботанической систематики", автора категорий индивида и вида (в том числе минеральных) К. Линнея (1707–1778), зоолога Э. Геккеля (1834–1919), энтомолога Ж. Фабра (1823–1915). Кстати, ему в этом году – 200 лет со дня рождения.

Плиний Ст. Кая Плиния Секунда естественная история ископаемых тел, преложенная на российский язык в азбучном порядке, и примечаниями дополненная трудами В. Севергина. СПб.: Имп. Акад. наук, **1819**. 364 с.

Пущаровский Д.Ю. Современная кристаллография: полезна ли она наукам о Земле? // Вестник Московского ун-та. Сер. 4. Геология. **2022**. № 1. С. 3–23.

Стенон Н. О твердом, естественно содержащемся в твердом. М.: Изд. АН СССР, **1957**. 151 с. Шафрановский И. И. К вопросу о статистическом распределении граней на кристаллах // ЗВМО. **1946**. № 3. С. 163–166.

Шафрановский И.И. Распределение второстепенных граней по кристаллографическим поясам и их минерагенетическое значение / Кристаллография. М.: Металлургиздат, **1951**. С. 245–250.

Шафрановский И.И. История учения о формах кристаллических многогранников / Кристаллография. М.: Металлургиздат, **1956**. С. 213–247.

Шафрановский И.И. Сорокавосьмигранники на кристаллах минералов // ЗВМО. **1968**. № 2. С. 249–251.

Шафрановский И.И. История кристаллографии с древнейших времен до начала XIX столетия. Л.: Наука, **1978**. 296 с.

Шафрановский И.И. История кристаллографии. XIX век. Л.: Наука, **1980**. 324 с. Шафрановский И.И. Кристаллография в СССР. 1917–1991. СПб.: Наука, **1996**. 191 с.

Юшкин Н.П. Минералогия и парагенезис самородной серы в экзогенных месторождениях. Л.: Наука, **1968**. 187 с.

Goldschmidt V. Über Complikation und Displikation. Heidelberg: Carl Winter, 1921. 90 s.

On the Infinite Naturally Contained in the Finite

Yu. L. Voytekhovsky^{a, b, *}

^aHerzen Russian State Pedagogical University, Saint-Petersburg, Russia ^bRussian Mineralogical Society, Saint-Petersburg, Russia *e-mail: vojtehovskijj@herzen.spb.ru

The article is devoted to the history of ideas about the shape of the crystal polyhedron and its structure. It is shown how the ideas of face belts and crystal lattice naturally introduce infinities into the science of crystals, always finite in the practice of mineralogists. The article is timed to the 2000th anniversary of the birth of Pliny the Elder, the 385th – of N. Stenon, the 280th – of R.J. Haüy, the 180th – of P.G. Groth, the 170th – of V.M. Goldschmidt, E.S. Fedorov, and A.M. Schönflies. All of them in their work tried to master the seemingly infinite varieties of objects according to found principles.

Keywords: Pliny the Elder, N. Stenon, R.J. Haüy, P.G. Groth, V.M. Goldschmidt, E.S. Fedorov, A.M. Schönflies, facet belt, law of belts, law of complication, crystalline lattice, history of crystallography

REFERENCES

Cantor G. Works on set theory. Moscow: Nauka, 1985. 430 p. (in Russian).

Guénon R. The science of numbers. Saint Petersburg: Vladimir Dal', 2013. 270 p. (in Russian).

Goldschmidt V. Über Complikation und Displikation. Heidelberg: Carl Winter. 1921. 90 s.

Goldschmidt V. On Complication and Displication / Transl. from German by Yu.L. Voytekhovsky, foreword by N.P. Yushkin. Apatity: KSC RAS, **1998**. 69 p. (*in Russian*).

Pliny the Elder. Natural history of fossil bodies of Caius Plinius Secundus, put into Russian in the alphabetical order, and with notes supplemented by the works of V. Severgin. Saint Petersburg: Imp. Acad. Sci., **1819**. 364 p. (*in Russian*).

Puscharovsky D. Yu. Modern crystallography: is it useful for Earth sciences? Vestnik of Moscow University. Ser. 4. Geol. 2022. N 1. P. 3–23 (in Russian).

Shafranovsky I.I. To the question of statistical distribution of faces on crystals. Zapiski RMO (Proc. Russian Miner. Soc.). **1946**. N 3. P. 163–166 (in Russian).

Shafranovsky I.I. Distribution of minor facets by crystallographic belts and their mineralogenetic significance. In: Crystallography. Moscow: Metallurgizdat, **1951**. P. 245–250 (*in Russian*).

Shafranovsky I.I. History of the doctrine of the forms of crystalline polyhedra. In: *Crystallography.* Moscow: Metallurgizdat, **1956**. P. 213–247 (*in Russian*).

Shafranovsky I.I. Fourty-eight-hedrons on mineral crystals. Zapiski RMO (Proc. Russian Miner. Soc.). 1968. N 2. P. 249–251 (in Russian).

Shafranovsky I.I. History of crystallography from the most ancient times to the beginning of the XIX century. Leningrad: Nauka, **1978**. 296 p. (*in Russian*).

Shafranovsky I.I. History of crystallography. XIX century. Leningrad: Nauka, **1980**. 324 p. (*in Russian*).

Shafranovsky I.I. Crystallography in the USSR. 1917–1991. Saint Petersburg: Nauka, **1996**. 191 p. (*in Russian*).

Stenon N. On the solid naturally contained in the solid. Moscow: Acad. Sci. USSR, **1957**. 151 p. (*in Russian*).

Yushkin N.P. Mineralogy and paragenesis of native sulphur in exogenous deposits. Leningrad: Nauka, **1968**. 187 p. (*in Russian*). = ХРОНИКА ==

О МИНЕРАЛОГИИ И ГЕОХИМИИ ЛАНДШАФТА, СОВРЕМЕННОМ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИИ И РАЦИОНАЛЬНОМ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИИ КАК ИНТЕГРАЦИИ ЗНАНИЙ О МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ГЕОСИСТЕМАХ

© 2023 г. Почетный чл. Г. А. Юргенсон

Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения РАН, ул. Бутина, 26, Чита, 672090 Россия

> Поступила в редакцию 07.09.2023 г. После доработки 07.09.2023 г. Принята к публикации 02.10.2023 г.

Очередной IX Всероссийский симпозиум "Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий" и XVI Всероссийские чтения памяти акад. А.Е. Ферсмана "Рациональное природопользование" и "Современное минералообразование" являются традиционным научным мероприятием, проводимым с 2006 г. Институтом природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Читинским отделением Российского минералогического общества и Комиссией по современному минералообразованию, а также Лабораторией минералогии и геохимии ландшафта, созданной решением ученых советов ИПРЭК СО РАН и Забайкальского государственного университета в 2001 г. и функционирующей на общественных началах. Они прошли в Чите с 26 августа по 2 сентября 2023 г. и были посвящены 300-летию Российской академии наук и 300-летию открытия месторождения самоцветов и цветных и редких металлов Шерловая Гора в Юго-Восточном Забайкалье. В рамках этих мероприятий была проведена (31.08–2.09) экскурсия на Адун-Челон и Шерловую Гору. Материалы мероприятий опубликованы в печатном и электронном виде.¹

DOI: 10.31857/S0869605523060072, EDN: HSDRGZ

В работе Симпозиума и Чтениях приняло участие 66 ученых и специалистов из Санкт-Петербурга, Выборга, Воронежа, Черноголовки, Москвы, Новосибирска, Томска, Иркутска, Улан-Удэ, Читы, Мирного (Якутия), Благовещенска и Магадана, представляющих институты РАН, вузы, производственные организации, органы государственной власти. Представлено, обсуждено и публиковано 37 докладов по взаимосвязанным проблемам условий локализации, закономерностям размещения и процессам образования месторождений полезных ископаемых, а также связанных с ними проблемам минералогии и геохимии природно-антропогенного ландшафта, биогеохимии, геоэкологии, рационального природопользования, истории науки и научного туризма. Тематика Симпозиума и Чтений относится к приоритетным направлениям науки, определенным Правительством РФ.

Ниже перечислены основные научные направления работы Симпозиума и Чтений.

1. Геология, закономерности размещения и процессы образования рудных месторождений.

¹ Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Рациональное природопользование. Современное минералообразование. Под ред. Г.А. Юргенсона. Чита: Экспресс-издательство, 2023. 200 с.

2. Коры выветривания и зона окисления в ландшафтах горнорудных территорий.

3. Минералого-геохимические процессы в природных и антропогенных ландшафтах. Современное минералообразование.

- 4. Биогеохимия природных ландшафтов и зоны геотехногенеза.
- 5. Рациональное природопользование.
- 6. Вклад Российской академии наук в познание природы Сибири и Забайкалья.
- 7. Научный туризм.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБСУЖДЕНИЯ

1) В докладах, представленных на Симпозиум и Чтения, рассмотрены и обсуждены различные аспекты проблем состояния изученности, условий и процессов формирования, закономерностей размещения и минералогии месторождений грейзеновой формации и самоцветов, в том числе, алмазов, а также месторождений золота, цветных металлов, кварцевого и других видов минерального сырья как на Сибирской платформе, так и в пределах Монголо-Охотского орогенного пояса, минералогии и геохимии природных и антропогенных ландшафтов в полях развития рудных месторождений и геосистем, формирующихся в процессе и результате их разработки. В таком аспекте дан анализ состояния изученности месторождений Шерловогоской рудномагматической и горнопромышленной геосистемы в целом за 300 лет с момента открытия и в процессе освоения. Получила дальнейшее развитие концепция геомологической минерагении на примере Монголо-Охотской камнесамоцветной провинции.

2) Одной из важных проблем, обсужденных на Симпозиуме, является классификация орогенных месторождений золота. Показано, что орогенные месторождения золота объединяют пять геодинамических типов с различной минералого-геохимической и металлогенической нагрузкой, обусловленной разнообразием геодинамических обстановок формирования руд.

3) В рамках XVI Чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана рассмотрены вопросы современного гипергенного минералообразования в геотехногенных ландшафтах, проблемы природных и техногенных геохимических барьеров. Полнее, чем обычно, рассмотрены вопросы экспериментального и физико-химического моделирования процессов образования минеральных ассоциаций и руд в гипергенных и гипогенных условиях, в т.ч. возможные перемещения химических элементов в процессе метаморфизма руд и горных пород с образованием рудных тел в пределах крупнейшего полиметаллического месторождения Озерное в Республике Бурятия.

4) В ландшафтах геосистем горнорудных районов рассматриваются биогеохимические потоки химических элементов в природно-техногенной цепи: горные породы (руды) → коры выветривания (зоны окисления) → почвы (рыхлые отложения отходов обогащения и переработки руд в хвостохранилищах и на почве) → растительная биота. Наиболее ярко они продемонстрированы на примере Джидинской горнопромышленной геосистемы, сформировавшейся в результате функционирования крупнейшего молибден-вольфрамового ГОКа в Республике Бурятия.

В растительных сообществах раздельно рассмотрено поведение химических элементов в подземных и наземных органах, в системе: корни \rightarrow стебли \rightarrow листья \rightarrow семена. На основе анализа величин коэффициента биологического поглощения определенных химических элементов растениями, подтвержден фундаментальный вывод о том, максимальные содержания элементов содержатся в корневых системах, непосредственно контактирующих с почвами и отходами горного производства, и в листьях, где происходит фотосинтез, а минимальные — в стеблях, выполняющих транспортные функции, и несоизмеримо малы в семенах, что обусловлено действием еще не познанного биохимического барьера, обеспечивающего сохранение чистоты вида в потомках. Другой важный вывод, полученный в результате изучения коэффициента биологического поглощения химических элементов растениями, заключается в том, что все они по особенностям корневых систем подразделяются на две группы: барьерные и безбарьерные относительно определенных химических элементов. Особенностью проведенного Симпозиума является рассмотрение зависимости состава органов человека от геохимии ландшафта обитания на примере Забайкальского края.

5) В разделе рациональное природопользование рассмотрены принципиальные подходы к решению задачи извлечения полезных компонентов, в том числе ценнейших скандия и индия, из лежалых хвостов обогатительной фабрики Шерловогорского ГОКа на основе использования физико-химической геотехнологии, в основе которой — знания о минеральном составе отходов горного производства. Показана также возможность использования искусственных геохимических барьеров для очистки минерализованных вод, циркулирующих в Джидинской горнопромышленной геосистеме, и извлечения полезных компонентов из них. Один из важных практических выводов относительно барьерности-безбарьерности корневых систем растений заключается в том, что растения с высокой их барьерностью можно использовать для рекультивации отходов горного производства.

6) Впервые в программу мероприятия включены проблемы памятников природы как способа создания условий для сохранности гео- и биоразнообразия в природных ландшафтах и горнопромышленных геосистемах, а также научного туризма как важнейшего метода научного просвещения.

О НЕКОТОРЫХ ПРОБЛЕМАХ СОСТОЯНИЯ МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1) Выявлена трудность сопоставления результатов анализов для получения достоверных сравнительных биогеохимических данных в связи с использованием различных методов подготовки проб к анализу и аналитических методов с разными значениями пределов обнаружения ряда химических элементов и ошибок. Поэтому необходимо выполнение анализов только в аттестованных лабораториях.

2) При изучении мелких классов почв и прочих рыхлых отложений для диагностики минеральных фаз почти не применяются проверенные столетним опытом иммерсионные микроскопические методы с измерением показателей преломления, практически всегда дававшие однозначные результаты. Этот подход заменен электронно-зондовым методам, позволяющим выявлять и изучать состав и строение мелких индивидов, недоступных оптическим микроскопам, а также освобождающим от отбора монофракций минералов. Но и этот современный метод не лишен известных недостатков.

3) К сожалению, абсолютное большинство молодых и среднего возраста геологов не владеют этими традиционными надежными методами. Поэтому они должны оставаться обязательной частью программы обучения студентов геологических специальностей. Если до первой половины 1990-х в геологоразведочных организациях и отраслевых институтах Министерства геологии изучение минерального состава выполняли минералогические лаборатории, то последние четверть века после их ликвидации, изучение минералогии в необходимом объеме стало проблемным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1) В результате обсуждения широкого круга проблем выявлены некоторые негативные особенности состояния минералого-геохимической науки в России, связанные с отсутствием у Правительства РФ понимания необходимости воссоздания разрушенной в начале 1990-х геологической отрасли и важности минералогии, как основы знаний о недрах и планете Земля в целом. 2) Определено, что в Законе о недрах РФ до сих пор не отражено пожелание большинства недропользователей о необходимости введения в него нормы о праве инвестора, претендующего на разработку и рекультивацию отходов горного производства, принимать решение о целесообразности проведения геологоразведочных работ, поскольку он вкладывает средства на свой страх и риск.

3) Проведенные дискуссии и обсуждение основных положений, изложенных в докладах, показали целесообразность рассмотрения проблем минерагении, как науки о месторождениях полезных ископаемых в широком понимании. По своей сути они являются основополагающей частью геосистем горнопромышленных территорий, включающих природно-антропогенные и геотехногенные ландшафты, изучение минералогии и геохимии которых с целью познания процессов миграции и концентрирования в них химических элементов, обусловливающих современное гипергенное минералообразование, представляется весьма важным. Изучение этих процессов вытекает из необходимости познания природных ресурсов и определения влияния их освоения на экологическое состояние природной окружающей среды, включая воды, почвы и биоту, включая человека.

4) Выработаны новые подходы к пониманию формирования и функционирования природных и природно-антропогенных геосистем, являющихся основой для выводов о взаимодействии социума и геологической среды, на основе которых должны быть выработаны управленческие решения для рационального природопользования и добычи ценнейшего стратегического сырья из отходов горного производства.

5) Подтверждена важность, целесообразность и плодотворность проведения и впредь Симпозиума "Минералогия и геохимия ландшафта" с Чтениями памяти акад. А.Е. Ферсмана, на которых происходит интеграция знаний о минералого-геохимических геосистемах горнопромышленных территорий. Предлагается провести следующие Симпозиум и Чтения в 2025 г. с привлечением в качестве организаторов Читинское (г. Чита), Бурятское (г. Улан-Удэ) и Восточно-Сибирское (г. Иркутск) отделений, комиссий по Современному минералообразованию и Камнесамоцветному сырью и геммологии Российского минералогического общества и учреждений науки и образования Читы, Улан-Удэ и Иркутска.

About Mineralogy and Geochemistry of the Landscape, Contemporary Mineral-Forming and the Rational Environmental Management as an Integrated Knowledge on Mineralogical-Geochemical Mining Geosystems

G. A. Yurgenson

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia

Regular IX All-Russian symposium "Mineralogy and geochemistry of the landscape of mining" and the XVI All-Russian readings in the memory of Academician A.Ye. Fersman "Rational environmental management" and "Contemporary mineral-forming" become traditional scientific event carrying out since 2006 by the Institute of natural resources, ecology and cryology (INREC) of Siberian Division of the RAS, the Chita division of the Russian Mineralogical Society and Commission on contemporary mineral-forming processes, as well as by the Laboratory of mineralogy and geochemistry of the landscape, which was created by resolution of Scientific Councils of INREC and the Zabaikalsky state university in 2001 and is functioning on the non-for-profit base. These conferences have been carried out in Chita from August 26 to September 2, 2023, they were dedicated to the 300th Anniversary of the Russian Academy of Sciences and the same 300 years dating from discovery of Sherlova Gora (Schörl Mountain) – well known deposit of gem-stones and rare metals in the Southeastern Transbaikalia. The program of these events included the excursion in Adun-Chelon and the Schörl Mountain. Materials of these conferences are published in printing and in electronic format.