



Электронная версия доступна на сайте  
[www.fmm.ru/Новые данные о минералах](http://www.fmm.ru/Новые_данные_о_минералах)

Минералогический музей  
имени А.Е. Ферсмана РАН

Новые данные о минералах, том 58, вып. 4 (2024), 95–107

НДМ

## Изучение характеристик изумрудов из фондов Минералогического музея РАН

Миденко Я.М.<sup>1</sup>, Шилова О.А.<sup>1</sup>, Пахомова С.Б.<sup>1</sup>, Терентьева А.С.<sup>1</sup>,  
Плечов П.Ю.<sup>2</sup>, Генералов М.Е.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Гохран России, Москва, [midenkoyana@gokhran.ru](mailto:midenkoyana@gokhran.ru)

<sup>2</sup>Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва

Данное исследование нацелено на изучение образцов изумрудов из коллекции Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана и подтверждение их региона происхождения. В ходе работы были применены различные неразрушающие методы исследования: спектроскопия оптического поглощения, инфракрасная спектроскопия, микрорентгенофлуоресцентный анализ, спектроскопия комбинационного рассеяния, люминесцентная спектроскопия и оптическая микроскопия.

**Ключевые слова:** изумруд, колумбийский тип, сланцевый тип, спектроскопия оптического поглощения, инфракрасная спектроскопия, микрорентгенофлуоресцентный анализ, спектроскопия комбинационного рассеяния.

### Введение

Создание надежных экспрессных и неразрушающих методик определения источников камнесамоцветного сырья – одна из приоритетных задач современной минералогии и геммологии. Разноплановые аспекты данной темы не раз обсуждались на международных минералогических и геммологических конференциях. Крупнейшие лаборатории мира, такие как GIA Lab (США), Gubelin Lab (Швейцария), SSEF (Швейцария), предполагают, что уже имеют надежные методики сертификации изумруда с установлением природного источника в сырье и в виде изделий. Эти организации используют для работы свои обширные коллекции, а также камни, добытые на месторождениях под наблюдением сотрудников лабораторий. Установление региона происхождения, помимо визуальных и органолептических методов (оптических и микроскопии), требует обширного арсенала аналитических методов исследования вещества, преимущественно неразрушающих. Кроме этого, еще возможны источники изумрудов, не попавшие в коллекции крупнейших

лабораторий. В первую очередь это относится к историческим камням, источником которых могли быть месторождения, которые сейчас не разрабатываются по различным причинам. Кроме этого, на рынке иногда появляется материал из месторождений, для которых изумруд еще недостаточно охарактеризован.

Коллекция Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН содержит 420 образцов, записанных как изумруд, и 2664 образца берилла. Это крупнейшее собрание минералов в России, в которое поступали образцы на протяжении 310 лет его существования. Изучение этой коллекции является уникальной возможностью исследования атрибутированных образцов, представляющих собой ювелирное сырье различных месторождений мира. Для многих можно гарантировать отсутствие облагораживания, поскольку они поступили в коллекцию задолго до появления современных методов облагораживания. Часть образцов – кристаллы в породе, что важно для изучения минеральных ассоциаций, сопутствующих изум-

руду. Образцы часто поступали в Музей в составе коллекций, принадлежащих различным людям, и атрибуция таких образцов может быть неточной или неполной. Само определение изумруда также менялось во времени, и часть исторических образцов могло быть записано как изумруд в соответствии с представлениями своей эпохи. Поэтому ревизия коллекции изумрудов Минмузея РАН с помощью современных аналитических методов представляется актуальной и интересной в первую очередь для старых образцов.

Лаборатория исследования драгоценных камней научно-исследовательского отдела Гохрана России по техническому оснащению соответствует уровню крупнейших геммологических лабораторий мира.

Эта и будущие работы по выявлению характерных особенностей изумрудов из различных источников мира, основанные на коллекции Минмузея РАН, помогут решить целый круг прикладных задач по сертификации, государственному контролю и научной инвентаризации в России. Помимо этого, полученные сведения пополнят всемирную базу аналитических данных по изумрудам. Мы надеемся, что данная статья открывает цикл совместных исследований Минералогического музея РАН и Гохрана России в области исследования природных драгоценных камней.

## Классификация генетических типов месторождений

Традиционно основные месторождения изумрудов подразделяются на два типа: «колумбийский»/«гидротермальный» и «сланцевый»/«грейзеновый» [Киевленко, 2001; Huong, 2008]. Классическими представителями «колумбийского» типа являются непосредственно месторождения Колумбии, «сланцевого» – месторождения Африканского континента.

Относительно недавно была разработана более подробная классификация месторождений изумрудов [Giuliani, Groat, 2019; Giuliani et al., 2019]. По ней месторождения разделяются на две большие группы: «магматическую» (группа I) и «метаморфическую» (группа II). Они включают в себя различные типы вмещающих пород, если очень упрощенно: **IA** и **IIA** – основные и ультраосновные, **IB** и **IIB** – осадочные, **IC** – гранитоиды, **IIIC** и **IIID** – метаморфические породы.

**IA-тип** в идеальной модели формируется рядом с гранитными массивами, продуцирующими турмалинсодержащие и/или бериллсодержащие кварцевые жилы и пегматиты, внедряющиеся в базитовые (метабазальт) и/или ультрамафитовые (метапериidotит, серпентинит) вмещающие породы. Циркуляция флюидов превращает основные породы в богатые магнием флогопитовые слан-

цы (слюдиты), а пегматит – в богатый альбитом плагиоклазит. Изумруд чаще кристаллизуется в плагиоклазитах (десилицированных пегматитах) и флогопитовых сланцах. К этому типу относятся месторождения Бразилии (все, кроме Итаберай и Санта-Терезинья-де-Гояс), России (Изумрудные копи Среднего Урала), ЮАР, Мадагаскара и др.

**IB-тип** связан с гранитами, которые проникают в осадочные или метаосадочные породы. Декарбонизация во время образования скарна во вмещающих карбонатных породах, вероятно, вызывает локальное повышение давления и трещиноватость, которые позволяют проникать флюидам магматического происхождения и образовывать кварцевые кальцит-берилл-шеелит-турмалин-пиритовые жилы. К этому типу относятся месторождения Северного Казахстана и Норвегии, Китая и др.

**IC-тип** связан с гранитными комплексами, кристаллизация которых проходила в малоглубинных условиях. Как правило, это щелочные граниты с пертитовым K-полевым шпатом, натриевыми амфиболами и щелочным пироксеном. Изумрудная минерализация приурочена к единичным пегматитовым обособлениям в апикальных частях интрузии вместе с кварцем и полевым шпатом, а также топазом и акваарином ювелирного качества. Месторождения этого типа пока известны только в Нигерии.

**IIA-тип** локализован в метаморфических комплексах основного-ультраосновного состава, в которых по зонам тектонических разломов развиваются минерализованные жилы. Можно выделить два типа жил в этом типе месторождений: (1) богатая карбонатами порода, состоящая из доломита, талька, флогопита, кварца, хлорита, тремолита, шпинели, пирита и изумруда; (2) богатая флогопитом порода, состоящая из флогопита, кварца, карбонатов, хлорита, талька, пирита и изумруда. Также изумруд встречается во флогопитизованных тальк-карбонатных сланцах, в ядрах складок. К этому типу относятся месторождения Австрии, Бразилии (Итаберай и Санта-Терезинья-де-Гояс) и Пакистана.

**IIB-тип** приурочен к жилам в метаморфизованных осадочных толщах, содержащих черные сланцы. Ярким представителем этого типа являются месторождения Колумбии. Изумрудная минерализация формировалась в результате гидротермального роста, связанного с тектонической активностью как минимум в три этапа (135–116, 65 и 38–32 млн лет назад). Важную роль играли гидротермальные флюиды, циркулировавшие по разным породам осадочной толщи (черные сланцы, карбонаты, эвапориты). Кроме Колумбии, небольшие проявления этого типа отмечены в Канаде и США.

**ПС-тип** объединяет месторождения изумруда в разнообразных метаморфических породах, не относящихся к типам ПА (ультрасосновные-основные метаморфические породы) и ПВ (черносланцевая формация). Для этого типа характерны изумрудоносные кварцевые жилы в метаморфических толщах, сформированных при умеренном давлении. По составу метаморфические толщи разнородны и содержат широкий спектр пород (гнейсы, сланцы, амфиболиты, мрамора и др.). К типу относятся месторождения Афганистана, Китая и др.

**ПД-тип** объединяет все остальные месторождения изумруда, в том числе метаморфизованные и тектонизированные месторождения типа IA, месторождения с многостадийной минерализацией и неклассифицированные месторождения изумруда. Возможно, часть этих месторождений связана с невыявленными («скрытыми») гранитными интрузиями. К этому типу отнесены месторождения Египта, некоторые месторождения Бразилии (Санта-Терезинья-де-Гояс), Австрии (Хабахталь), Пакистана (Сват и др.) [Guliani et al., 2019].

Если сравнить обе классификации, то под «колумбийским» типом обычно подразумевают месторождения типа I-ПВ и IC, а под «сланцевым» – I-ПА и ПД, месторождения типа ПС в различных источниках упоминаются по-разному. Данное деление, как видно из описания типов, достаточно условно из-за большого разнообразия условий формирования изумрудов, однако используется во многих работах. Неразрушающими методами исследования на данный момент проблематично определить происхождение изумруда с точностью до региона, однако знание «колумбийского»/«сланцевого» типа образца позволяет сузить круг поиска и подтвердить заявленную привязку.

## Материалы и методы

Для работы были отобраны 16 образцов из основного фонда Минмузея РАН, поступившие в его коллекции с середины XIX в. по начало 2000-х годов. Изумруды представляют месторождения девяти стран. Ввиду исключительной ценности музейного материала применялись только неразрушающие методы исследования: оптическая микроскопия, УФ-Вид-БЛИК-спектроскопия, ИК-спектроскопия ближнего и среднего диапазона, КР-спектроскопия, оптическая люминесценция, микро-РФА. Результаты исследования сравнивались с обширными литературными данными для пополнения базы данных о характеристиках определенного генетического типа и для разработки методик надежного определения их в будущем.

Фотографии 16 образцов приведены на рис. 1, а их список – в табл. 1. Изумруды в основном

представлены необработанными кристаллами в том числе во вмещающей породе, за исключением ограненного (FMM\_5\_7703) и полированного (FMM\_5\_763) изумрудов из Австрии и Египта соответственно.

Изучение **онтогении минералов** и взаимоотношений в сростаниях проводилось визуально, а также с помощью стереомикроскопов Optica Optigem-2 и Olympus SZX16 в отраженном и проходящем свете. **Внешний вид и внутреннее строение**, минеральные и газовой-жидкие включения, характер распределения зональности, внешние дефекты изучены и сфотографированы с использованием исследовательского поляризационного микроскопа BX-51P и стереомикроскопа Leica S9D в проходящем и отраженном свете.

**Люминесцентная визуализация** в коротких (SW) и длинных (LW) волнах – 254 и 365 нм соответственно – определялась на стереомикроскопе Olympus SZX16 с геммологической люминесцентной лампой UVGL-25. Дополнительно мелкие образцы изучались в коротких волнах 225 нм на приборе Diamond View.

Спектры **комбинационного рассеяния** изумруда получены с помощью КР-спектрометра DXR Raman Microscope (длина волны лазера 455 нм, диапазон 60–3760  $\text{см}^{-1}$ , спектральное разрешение 3  $\text{см}^{-1}$ , диаметр луча падающего излучения 1.9 мм, мощность лазера 6 мВт, время съемки 3–5 мин). Для съемки были выбраны диапазоны 100–1500  $\text{см}^{-1}$  (кристаллическая решетка минерала) и 3500–3700  $\text{см}^{-1}$  (молекулярная вода в каналах берилла). Исследование проводилось при комнатной температуре.

Для изучения минеральных включений использовался микроспектрометр комбинационного рассеяния Renishaw inVia Qontor с возбуждающими твердотельными лазерами 532 нм (спектральный диапазон 50–9000  $\text{см}^{-1}$ , спектральное разрешение 1  $\text{см}^{-1}$ , мощность 100 мВт) и 785 нм (диапазон 50–6200  $\text{см}^{-1}$ , спектральное разрешение 1  $\text{см}^{-1}$ , мощность 120 мВт), диаметр пучка 0.7 мм. Применялись дифракционные решетки: 1200 линий/мм для 785 нм, 1200 и 1800 линий/мм – для 532 нм. Конфокальный режим использовался при съемке на лазере 532 нм. Исследование проводилось при комнатной температуре.

Определение **химического состава** образцов изумруда и примесей в нем произведено с помощью микрорентгенофлуоресцентного спектрометра M4 TORNADO (мощность трубки 20 Вт, вакуум 20 мБар). Параметры съемки: 400 мкА при 50 кВ, диапазон определяемых элементов – от Na до U. Исследование методом микро-РФА проводилось на естественных плоских гранях и сколах образцов. Количественное содержание элементов основного и примесного состава рассчитывалось



Рис. 1. Фото образцов.

Таблица 1. Перечень исследованных образцов

Номер ММФ	Кол-во (шт.)	Масса (г/кар)	Месторождение
FMM_1_15626	1	0.28 г	Ю. Америка, Колумбия, месторождение Музо (Muso)
FMM_1_15627	1	0.44 г	Ю. Америка, Колумбия, месторождение Музо (Muso)
FMM_1_31248	1	1.48 г	Ю. Америка, Колумбия, Богота (Neu Granada, Santafe de Bogota)
FMM_1_31249	1	0.24 г	Ю. Америка, Колумбия, Богота (Neu Granada, Santafe de Bogota)
FMM_1_25643	1	0.9 г	Ю. Америка, Бразилия, штат Минас-Жерайс (Minas Gerais)
FMM_1_31251	1	38.98 г	Перу
FMM_1_29345	2	12.34 г 22.83 г	Ю. Африка, СВ Трансвааль, месторождения Лейдсдорп-Гравелотте (Gravelotte), рудник Сомерсет (Somerset mine)
FMM_1_29343	1	75.04 г	Ю. Африка, СВ Трансвааль, месторождения Лейдсдорп-Гравелотте (Gravelotte), рудник Сомерсет (Somerset mine)
FMM_5_763	1	0.76 г	Египет, регион Сикаит-Забара, Изумрудные рудники (Sikait-Zabara, Emerald mines)
FMM_1_70780	1	45.03 г	ЮЗ Африка
FMM_5_7703	1	0.16 кар	Австрия, область Хабахталь
FMM_1_32265	1	0.24 г	Россия, Изумрудные копи
FMM_1_91443	1	3.08 г	Афганистан, Панджшерское ущелье, месторождение Хенч (Khenj)
FMM_1_61474	2	5.98 г 0.05 г	Казахстан, месторождение Куу Южное

методом фундаментальных параметров с учетом минералогической формулы берилла  $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ .

Спектры в ближней и средней ИК-области получены на ИК-Фурье-спектрометрах Nicolet iS50 FT-IR ThermoScientific (разрешение  $4\text{ см}^{-1}$ , число сканов 256, диапазон  $12500\text{--}400\text{ см}^{-1}$ , скорость зеркал  $0.4747\text{ см/с}$ , светоделиитель KBr и InGaAs, детектор DTGS KBr и  $\text{CaF}_2$ ). Исследование образцов проводилось в диапазоне от  $12500$  до  $400\text{ см}^{-1}$ . Он разделяется на область ближнего ИК ( $12500\text{--}4000\text{ см}^{-1}$ ) и среднего ИК ( $4000\text{--}400\text{ см}^{-1}$ ). Область решеточных колебаний берилла  $400\text{--}2000\text{ см}^{-1}$ , далее идут области  $\text{CO}_2$  и валентных колебаний OH.

Спектры в УФ, видимой и ближней ИК-области получены при помощи спектрофотометра PerkinElmer UV/VIS/NIR Lambda 1050 WB (диапазон  $200\text{--}2500\text{ нм}$ , размер щели  $3\text{ нм}$ , шаг  $1\text{ нм}$ ). В исследуемом диапазоне находятся полосы хромофоров ( $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{V}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ) и воды в изумрудах.

### Исследование образцов

В исторических каталогах Минмузея РАН все изученные образцы записаны как изумруды. Цветовая гамма варьирует от бледно-голубовато-зеленого (Казахстан) до почти черного (ЮАР) из-за обилия минеральных включений и недостаточного препарирования.

В приложении 1 к статье даны содержания примесных элементов для всех образцов, приведенные в массовых процентах. Ниже мы представляем результаты изучения образцов, сгруппированных по их возможному источнику.

### ЮЖНАЯ АМЕРИКА

#### Колумбия

Четыре образца из изученной выборки (FMM\_1\_15626, FMM\_1\_15627, FMM\_1\_31248, FMM\_1\_31249) атрибутированы в музейных ката-

логах как изумруды из Колумбии. Колумбийские месторождения относятся к типу ПВ (гидротермальные) и являются одним из основных поставщиков изумрудов на мировой рынок с XVI века. Первые два образца записаны из старых подборок в 1926 году. Авторство не указано, но, судя по присутствию в привязке топонима «Перу», они добыты до 1824 г. в период существования вице-королевства Перу. Два других образца – из исторической коллекции Петра Аркадьевича Кочубея, формировавшейся во второй половине XIX в. и приобретенной Академией наук в 1913 году. Для них привязка указана: Neu Granada Santafe de Bogota, Колумбия. Очевидно, это связано с периодом существования вице-королевства Новая Гранада (1718–1821 гг.) и тоже может указывать на время добычи не позднее 20-х годов XIX века.

Образцы FMM\_1\_15626 и FMM\_1\_15627 представляют собой хорошо образованные прозрачные кристаллы призматической формы с гранями пинакоида и пирамиды,  $0,8\text{ см}$  и  $1,3\text{ см}$  в длину соответственно. Цвет FMM\_1\_15626 светло-голубой, а FMM\_1\_15627 – светло-зеленый. У образца FMM\_1\_15626 присутствуют вросстки крупных кристаллов пирита (рис. 2а), неровные «зазубренные» трехфазовые включения и единичные небольшие вуали двух- и трехфазовых включений. Во включениях методом КР-спектроскопии были диагностированы кварц, графит и газовая фаза  $\text{CO}_2$  в трехфазовом включении. В изумруде FMM\_1\_15627 присутствуют многочисленные трехфазовые включения с неровными краями, «зазубренные» (рис. 2б). С одной стороны кристалла есть остатки вмещающей альбит-берилл-карбонатной породы, поверхность изумруда частично покрыта кальцитовыми пленками.

Образец FMM\_1\_31248 является призматическим кристаллом берилла с явной цветовой зональностью от светло-зеленого у основания до

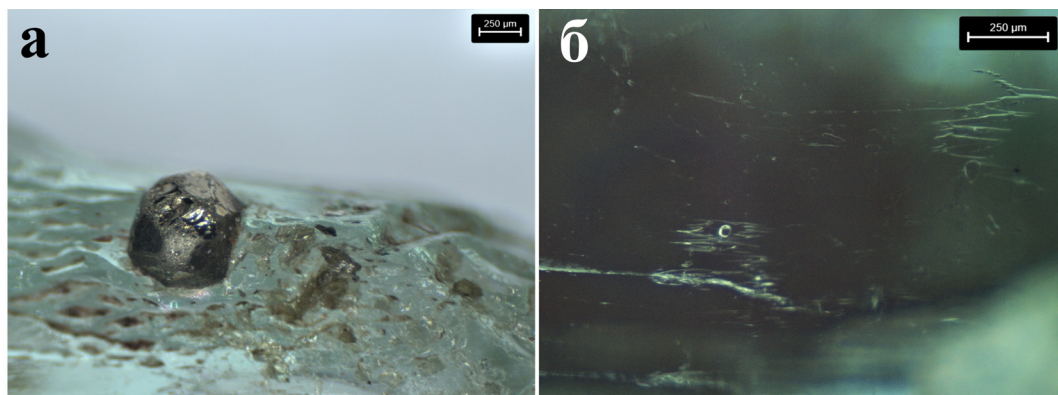


Рис. 2. а – включение пирита на поверхности изумруда (обр. FMM\_1\_15626), б – «зазубренное» трехфазовое включение (обр. FMM\_1\_15627). Масштабная линейка  $250\text{ мкм}$ .

зеленого у вершины. Поверхность с множественными выемками – «отпечатками» – и чешуйками флогопита, наблюдаются единичные двух- и трехфазовые включения с ровными краями, в газовой фазе КР-спектроскопией был определен  $\text{CO}_2$ .

Образец FMM\_1\_31249 является фрагментом гексагонально-призматического кристалла. На поверхности – зерна кварца и «отпечатки» вследствие роста сопутствующих минералов. Внутри кристалла наблюдаются единичные мелкие темные минеральные включения и трехфазовые включения с неровными краями, «засубренные».

В Diamond View (225 нм) образец FMM\_1\_15626 имеет умеренную красную люминесценцию. Внутренние дефекты светятся более интенсивно белесо-красным, внешние дефекты инертные, включения инертные. Люминесценция неоднородная, на одной половине кристалла наблюдается полосчатость. Изумруд FMM\_1\_15627 показывает зонально белесую и бело-голубую люминесценцию в длинных волнах (LW 365 нм). В Diamond View (225 нм) проявляется умеренная красная люминесценция. Внутренние дефекты светятся более интенсивно темно-красным, внешние инертные и темно-красные. Включения инертные либо подсвечиваются белесым. Образец FMM\_1\_31248 в Diamond View (225 нм) показывает слабую красную люминесценцию. Дефекты подсвечиваются темно-красным либо инертные. Включения инертные, иногда светятся темно-зеленым, бело-голубоватым. FMM\_1\_31249 обнаружил умеренную красную люминесценцию в Diamond View (225 нм). Дефекты светятся темно-красным.

Все образцы имеют низкое содержание Cr (ср. 0.2–0.09 мас.%) и V (ср. 0.04–0.09 мас.%) (приложение 1). Суммарное содержание Cr и V коррелирует с интенсивностью изумрудной окраски. Для трех образцов характерно низкое содержание Fe – ср. 0.04 мас.%, а в образце FMM\_1\_31248 содержание Fe существенно выше – ср. 0.16 мас.%. В этом же образце отмечено наиболее высокое отношение Cr/V (1.5), тогда как в других образцах из Колумбии оно лежит в диапазоне 0.2–1.2. В образце FMM\_1\_15626 обнаружено присутствие Sc (ср. 0.01 мас.%). Примесный состав образцов FMM\_1\_15626, FMM\_1\_15627, FMM\_1\_31249 согласуется с литературными данными по месторождениям Музо и Кокуэс [Karampelas et al., 2019; Saeseaw et al., 2014, 2019], тогда как состав FMM\_1\_31248 отличается более высоким содержанием Fe, что не характерно для месторождений колумбийского типа.

По данным КР-спектроскопии все четыре изученных образца содержат молекулярную воду I типа: основной интенсивный пик  $3608 \text{ см}^{-1}$  и колебание  $3599 \text{ см}^{-1}$ , имеющее вид плеча [Kloprogge, Frost, 2000; Lodzinski et al., 2005]. В спектре образ-

ца FMM\_1\_15626 присутствует  $\text{CO}_2$  ( $1244 \text{ см}^{-1}$  и  $1388 \text{ см}^{-1}$ ).

По данным ИК-спектроскопии образцы FMM\_1\_15626, FMM\_1\_15627, FMM\_1\_31249 имеют характерные черты молекулярной воды колумбийского типа: острый пик на  $5272 \text{ см}^{-1}$  ( $\pm 4 \text{ см}^{-1}$ ), окруженный двумя закругленными плечами на 5445 и  $5100 \text{ см}^{-1}$ . В то время как спектр образца FMM\_1\_31248 имеет острый основной пик  $5275 \text{ см}^{-1}$ , пик  $5442 \text{ см}^{-1}$ , небольшой пик  $5097 \text{ см}^{-1}$ , что более характерно для спектров воды «сланцевого» типа [Van Meerbeeck, 2009–2010; Aurisicchio et al., 1994; Huong et al., 2008; Kloprogge, Frost, 2000; Lodzinski, 2005].

В образцах FMM\_1\_15626 и FMM\_1\_15627 по данным УФ-Вид-БЛИК-спектроскопии цветообразующими элементами выступают  $\text{Cr}^{3+}$  и  $\text{V}^{3+}$ . Полоса поглощения  $\text{Fe}^{2+}$  имеет слабую интенсивность, а полоса  $\text{Fe}^{3+}$  практически отсутствует. Полосы молекулярной воды имеют расщепленный вид «зубчиков», что определяет I тип. Для образца FMM\_1\_31249 был снят диапазон воды только в ближнем ИК, в котором полосы молекулярной воды имеют тот же вид, что и у первых двух образцов. Данный вид спектра характерен для изумрудов Колумбии [Smith, Darenius, 2010; Karampelas et al., 2019; Fridrichova et al., 2018; Saeseaw et al., 2014, 2019]. В спектре образца FMM\_1\_31248 достаточно сильно проявлена полоса поглощения  $\text{Fe}^{2+}$  и наблюдается небольшое плечо полосы поглощения  $\text{Fe}^{3+}$ , которое обычно отсутствует у изумрудов Колумбии. Более того, полосы воды имеют сглаженный вид, нет характерных «зубчиков». Все проявленные черты не характерны для генетического типа IIb.

### Бразилия

Образец FMM\_1\_25643 атрибутирован как изумруд из штата Минас-Жерайс (Minas Gerais), Бразилия. В штате расположено несколько месторождений (Itabira, Belmont, Caroiherana), на которые приходится большая часть добычи изумрудов в Бразилии. Образцы из данного штата относятся к генетическому типу IA (сланцевому) [Giuliani et al., 2019]. В коллекцию Музея этот образец записан в 1927 г., а источником указан Krantz (немецкая фирма, поставлявшая коллекционные образцы и основанная в 1833 г.). На оригинальной этикетке от Rheinissces Mineralen-Kontor Dr. F. Krantz привязка указана: Santa Amada Ferros, Minas Geraes, Brasilien.

Изученный образец представлен сростком двух прозрачных кристаллов берилла слегка голубовато-зеленого цвета, 1.7 и 1.3 см длиной соответственно. Оба кристалла сростка имеют хорошо образованные природные грани: две гексагональные призмы, гексагональная пирамида и пина-

коид. Данный факт может указывать на процесс свободного роста кристаллов. Макроскопически наблюдаются небольшие внутренние трещины. В кристаллах присутствуют трехфазовые включения, вытянутые и с неровным краем, а также единичные вуали из двух- и трехфазовых (газ + жидкость + твердое) включений. Был получен КР-спектр включения графита. На поверхности – кальцитовая пленка, затрудняющая анализ другими методами исследования. Данный набор включений, а также их малое количество не характерны для изумрудов типа IA.

Образец инертен при коротковолновом излучении (SW 254 нм), в длинных волнах имеет белесую люминесценцию, связанную с кальцитовой пленкой на поверхности минерала. Дополнительно образец снимался в более коротких волнах (225 нм) и демонстрировал умеренную красную люминесценцию, которая обусловлена содержанием Sr. Включения подсвечиваются бело-зеленым и голубым цветом.

FMM\_1\_25643 отличается низкими концентрациями примесных элементов: Sr, ср. 0.03 мас.%, V присутствует в следовых количествах, Fe, ср. 0.02 мас.% (приложение 1). Также в образце зарегистрированы примеси K (ср. 0.05 мас.%) и Ca (ср. 0.04 мас.%). Такие содержания примесных элементов не характерны для месторождений типа IA. Хотя изумруды штата Минас-Жерайс менее железистые, чем в остальных сланцевых месторождениях, для них полученные значения также достаточно низкие [Karampelas et al., 2019; Saeseaw et al., 2019].

На КР-спектрах у образца присутствует  $\text{CO}_2$ , спектр молекулярной воды I типа:  $3598 \text{ см}^{-1}$ , имеет вид плеча,  $3609 \text{ см}^{-1}$  – интенсивный пик. Результаты укладываются в литературные данные, так как у изумрудов бразильских месторождений встречаются КР-спектры воды разных типов [Fridrichova et al., 2018; Huong et al., 2008, 2010; Karampelas et al., 2019].

ИК-спектры имеют аналогичный со спектрами колумбийских изумрудов вид по областям ОН-колебаний: острый пик на  $5270 \text{ см}^{-1}$ , окруженный двумя закругленными плечами на  $5443$  и  $5107 \text{ см}^{-1}$ . Такой вид спектра указывает на низкую щелочность, что согласуется с типом воды I, полученным посредством КР-спектроскопии.

В качестве цветообразующего элемента в данном изумруде выступает только  $\text{Cr}^{3+}$ , поскольку  $\text{V}^{3+}$  в следовом содержании и не влияет на вид УФ-Вид-БЛИК-спектра, полосы поглощения  $\text{Fe}^{2+}$  отсутствуют. Полосы воды имеют расщепленный вид, свойственный изумрудам типа ПВ [Smith, Darenius, 2010; Karampelas et al., 2019; Fridrichova et al., 2018; Saeseaw et al., 2019].

## Перу

Один из исследуемых образцов (FMM\_1\_31251) атрибутирован в музейном каталоге как перуанский. Известно, что добычу изумрудов на территории Перу вели еще с древности инки. Изумруды имелись в провинциях Манта и Арекипа [Гарсиласо, 2023; Petersen, 2010]. Однако на сегодняшний день не было найдено описаний самих месторождений и непосредственно изумрудов. Но вероятнее, этот образец попал в коллекцию П.А. Кочубея из старых сборов и топоним «Перу» относится не к современной территории этой страны, а к существовавшему с XVI в. до 1824 г. вице-королевству Перу, куда был включен ряд территорий, ныне относящихся к Чили, Боливии, Перу, Колумбии.

Образец  $3.5 \times 4$  см представляет собой гексагонально-призматический кристалл размером около 0.5 см, находящийся на фрагменте кальцитовой жилы в углистом сланце. У него матовая плохо просматриваемая поверхность с многочисленными следами травления (рис. 3).

FMM\_1\_31251 инертен в SW и имеет красноватую люминесценцию в LW из-за большого содержания Sr.

Образец имеет достаточно необычный состав (приложение 1). Среднее содержание Sr 0.18 мас.%, V 0.10 мас.%, Fe 0.05 мас.%, отношение Cr/V 1.8. Соотношения элементов в целом можно выразить как  $\text{Cr} > \text{V} > \text{Fe}$ . Также в анализе выявлен Mn (ср. 0.03 мас.%) и присутствует Ca с большим разбросом содержания 0.11–0.66 мас.% (ср. 0.40 мас.%) и K с содержанием 0.02–0.29 мас.% (ср. 0.09 мас.%). Есть предположение, что полученный набор элементов и их содержания связаны с небольшим размером кристалла и плохой препарированностью поверхности изумруда. Повышенные содержания Ca, Mn и Fe могут относиться к вмещающей породе, которая преимущественно состоит из кальцита (элементный состав приле-



Рис. 3. Поверхность изумруда со следами травления (обр. FMM\_1\_31251). Масштабная линейка 2.5 мм.

гающей породы Са 83.90 мас.%, Fe 15.24 мас.%, Mn 0.85 мас.%). В точности определений К также нет полной уверенности, так как его содержание в разных точках сильно отличается. Из-за этого достаточно сложно сказать, какая концентрация данных примесных элементов относится непосредственно к бериллу. Полученные результаты по главным примесным элементам (Cr, V, Fe) и их соотношения наиболее соответствуют изумрудам генетического типа ИВ [Karampelas et al., 2019; Saeseaw et al., 2014, 2019].

Изумруд содержит молекулярную воду I типа – пик  $3608\text{ см}^{-1}$  является более интенсивным, чем пик  $3599\text{ см}^{-1}$ . Данный вид соответствует колумбийским и некоторым бразильским изумрудам [Fridrichova et al., 2018; Huong et al., 2008, 2010; Karampelas et al., 2019].

Образец не был проанализирован методами ИК- и УФ-Вид-БЛИК-спектроскопии из-за крупного размера.

## АФРИКА

### ЮАР

Образцы FMM\_1\_29343 и FMM\_1\_29345 (2 шт.) атрибутированы в архивах Музея как изумруды из СВ Трансвааля, месторождение Лейдсдорп-Гравелотте (Gravelotte), рудник Сомерсет (Somerset mine). Образцы относятся к генетическому типу IA (сланцевому) [Giuliani et al., 2019; Grundmann, Giuliani, 2002]. Записаны эти образцы в коллекцию Музея в 1929 г. от бывшего в то время директором Музея А.Е. Ферсмана. Сам Ферсман в Южной Африке не бывал и, вероятно, приобрел образцы в какой-то из поездок в Европе.

FMM\_1\_29343 представляет собой сросток кристаллов изумруда в слюдите. Из-за матовой поверхности камня включения не просматриваются. Были получены КР-спектры апатита, флогопита и кварца на поверхности минерала. В длинноволновом излучении образец зонально белесый.

Под номером FMM\_1\_29345 числятся два крупных кристалла: FMM\_1\_29345-1 длиной 3.5 см и FMM\_1\_29345-2 длиной 2.9 см. Кристаллы насыщенного изумрудно-зеленого цвета, частично покрытые чешуйками темноцветной слюды, и в них присутствуют явно выраженные зоны травления, на поверхности флогопит, подтвержденный методом КР-спектроскопии.

Образцы показали следующие содержания цветообразующих элементов-примесей: Cr 0.03–0.74 мас.% (ср. 0.27 мас.%), V – ср. 0.02 мас.%, Fe 0.08–0.94 мас.% (ср. 0.39 мас.%). Соотношение элементов  $\text{Fe} \geq \text{Cr} \gg \text{V}$ , близкие значения Cr и Fe при значительно более низком содержании V. Отношение Cr/V составляет от 9 (FMM\_1\_29345-2) до 49 (FMM\_1\_29343).

Во всех образцах определяются значимые содержания щелочных и щелочноземельных элементов: K 0.01–0.98 мас.% (ср. 0.24 мас.%), Cs 0.04–0.28 мас.% (ср. 0.16 мас.%) и Са 0.01–0.71 мас.% (ср. 0.10 мас.%). У изумруда FMM\_1\_29345-1 дополнительно отмечены Mg, нпо–2.21 мас.% (ср. 0.37 мас.%), Na, нпо–1.32 мас.% (ср. 0.12 мас.%); следовые значения Rb и Sc (0.01 мас.%) находятся на пределе возможностей используемого метода. Примесный состав образцов соответствует изумрудам из ЮАР [Lum et al., 2016; Grundmann, Morteani 1989]. Такой большой набор элементов и разброс в их содержаниях может быть из-за примазок вмещающей породы на поверхности изумрудов.

Изумруды преимущественно содержат молекулярную воду I типа – пики  $3608\text{ см}^{-1}$  и  $3599\text{ см}^{-1}$  близки по интенсивности, но первый доминирует. Для ЮАР данные спектры совсем не характерны из-за повышенного содержания щелочных элементов. Однако часть кристаллов из сростка FMM\_1\_29343 содержит воду II типа, что согласуется с генетическим типом IA [Fridrichova et al., 2018; Huong et al., 2008, 2010; Karampelas et al., 2019].

ИК-спектры имеют вид, характерный для изумрудов типа IA: острый основной пик  $5275\text{ см}^{-1}$ , пик  $5599\text{ см}^{-1}$ , небольшой пик  $5210\text{ см}^{-1}$  и плечо  $5445\text{ см}^{-1}$ . Результаты соответствуют литературным данным [Van Meerbeeck, 2009–2010; Aurisicchio et al., 1994; Huong et al., 2008; Klopogge, Frost 2000; Lodzinski, 2005].

Методом УФ-Вид-БЛИК-спектроскопии был проанализирован только образец FMM\_1\_29345-2. Цветообразующими элементами для него являются  $\text{Cr}^{3+}$  и  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ . Спектр имеет характерный вид для изумрудов типа IA: интенсивная полоса поглощения  $\text{Fe}^{2+}$  присутствует совместно с полосой поглощения  $\text{Fe}^{3+}$ , полосы воды имеют сглаженный вид [Smith, Darenius, 2010; Karampelas et al., 2019; Fridrichova et al., 2018; Saeseaw et al., 2014, 2019].

### Юго-Западная Африка

Образец FMM\_1\_70780 атрибутирован как изумруд из Юго-Западной Африки. Это название использовалось для именованной территории современной Республики Намибия во времена колониализма под контролем Германской империи, а затем и Южной Африки. В регионе преимущественно развиты пегматитовые месторождения аквамарина, единственное месторождение изумрудов Нойхоф, находящееся в районе Мальта-Хайтс, является слабо изученным, по имеющейся информации можно сделать вывод, что оно относится к генетическому типу IIA [Grundmann, 2002; Lum, 2017]. Однако информации о самих изумрудах не было найдено.

Образец записан в коллекцию Музея в 1968 г. из старых материалов германского происхождения. Юго-Западная Африка с 80-х гг. XIX в. была колонией Германии. Многолетняя политическая и экономическая связь Юго-Западной Африки и Южно-Африканского союза (позднее ЮАР) могла привести к ошибкам в территориальной привязке коллекционных материалов, и не исключено, что данный образец попал в Германию через германские колонии в Юго-Западной Африке из южноафриканских месторождений, которые относятся к типу IA.

FMM\_1\_70780 представляет собой длиннопризматический полупрозрачный и слегка трещиноватый кристалл изумруда насыщенного зеленого цвета на слюдяном сланце 1.2 см в длину. Просматриваются многочисленные включения флогопита и единичные кристаллические включения, одно из которых было определено КР как циркон.

Образец характеризуется следующим примесным составом: Cr, ср. 0.17 мас.%, V, ср. 0.02 мас.%, и Fe, ср. 0.61 мас.%. Соотношение основных примесных элементов  $Fe > Cr > V$ , отношение Cr/V составляет 8.5. Другие примесные элементы также показывают значительные концентрации: Mg, ср. 1.46 мас.%, Na, нпо–1.33% (ср. 0.79 мас.%), K 0.07–0.27 мас.% (ср. 0.16 мас.%), Ca, ср. 0.04 мас.%, Sc, ср. 0.04 мас.%, и следовые значения Ti.

По данным КР-спектроскопии образец содержит молекулярную воду II типа (интенсивный пик  $3596\text{ см}^{-1}$  и плечо  $3607\text{ см}^{-1}$ ).

ИК-спектр имеет вид, характерный для изумрудов типа I–IIA: острый основной пик  $5270\text{ см}^{-1}$ , пик  $5591\text{ см}^{-1}$ , небольшие пики  $5203\text{ см}^{-1}$  и  $5351\text{ см}^{-1}$ .

Образец FMM\_1\_70780 не был проанализирован методом УФ-Вид-БЛИК-спектроскопии из-за своего размера.

### Египет

Образец FMM\_5\_763 атрибутирован как изумруд из Египта. В Египте известно несколько месторождений в районе Сикаит-Забара, которые относятся к типу IID. Его особенностью является наложение нескольких генераций берилла-изумруда, которые могли формироваться как на постмагматической гидротермальной стадии, сопряженной с интрузивами лейкогранитов, так и во время регионального метаморфизма [Giuliani et al., 2019].

Приполированный образец изумруда ~1.2 см в длину насыщенного зеленого цвета, сильно трещиноватый и частично полупрозрачный. В Музей он попал из купленной в 1919 г. коллекции бывшего хранителя минералогического кабинета Санкт-Петербургского университета Е.О. Романовского, в которой разнообразно были представлены ювелирные камни. Коллекция эта фор-

мировалась во второй половине XIX в., однако там могли оказаться и существенно более старые материалы.

Изумруд показал уникальный для подборки примесный состав. Соотношение основных примесных элементов  $Cr > Fe \gg V$ . Отношение Cr/V составляет 26.6, из-за повышенного содержания Cr (ср. 1.18 мас.%) при низком V (ср. 0.04 мас.%). Образец также содержит значительные концентрации Mg (1.42 мас.%), Na (1.42 мас.%), и небольшое количество K, Sc, Ca.

В литературных источниках примесный состав египетских изумрудов весьма различается. Обычно у них практически отсутствует V при повышенном содержании Mg и Na, что соответствует нашим результатам. Содержание Fe в изученном нами изумруде меньше, чем в работе [Grundmann, Morteani, 2008], но сопоставимо с указанным в [Abdalla, Mohamed, 1999], а содержание Cr, наоборот, сравнимо с [Grundmann, Morteani, 2008], но намного выше, чем в [Abdalla, Mohamed, 1999].

В КР-спектре отмечен одиночный пик  $3596\text{ см}^{-1}$  (II тип воды), что косвенно свидетельствует о высокой щелочности и соответствует результатам РФА: у изученного изумруда определено высокое содержание Na, так же как и в египетских изумрудах, описанных в работах [Grundmann, Morteani, 2008; Abdalla, Mohamed, 1999].

ИК-спектры имеют вид, характерный для изумрудов типа IIA: острый основной пик  $5269\text{ см}^{-1}$ , пик  $5604\text{ см}^{-1}$  и небольшой пик  $4938\text{ см}^{-1}$ .

Цветообразующие элементы этого образца  $Cr^{3+}$  и  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ , влияние  $V^{3+}$  на цвет несущественно. В УФ-Вид-БЛИК-спектре присутствует интенсивная полоса поглощения  $Fe^{2+}$  совместно с полосой поглощения  $Fe^{3+}$ , полосы воды имеют сложенный нерасщепленный вид, что характерно для генетического типа IIA [Karamelas et al., 2019; Fridrichova et al., 2018; Saeseaw et al., 2019].

### ЕВРОПА

#### Австрия

Образец FMM\_5\_7703 атрибутирован как изумруд из Австрии, Хабахталь. Месторождение Хабахталь, по литературным данным, относится к типу IID. Он может считаться измененным IIA, где метаморфические метасоматические глубинные флюиды земной коры циркулировали вдоль разломов или зон сдвига и взаимодействовали с мафическими, ультрамафическими породами, по-видимому, без магматического внедрения [Giuliani et al., 2019].

Ограненный камень получен Музеем в 1961 г. от Росювелирторга как часть россыпи изумрудных огранок FMM\_5\_5236. В 1991 г. он по характеру включений отделен и записан под отдельным

номером.

Образец FMM\_5\_7703 – прозрачный кристалл изумруда огранки багет светлого голубовато-зеленого цвета. Минерал по всему объему пронизан черными и бесцветными включениями (визуально предполагаются магнетит/хромит и полевой шпат), был получен КР-спектр флогопита на поверхности.

Образец характеризуется следующим примесным составом: Cr, ср. 0.13 мас.%, V, ср. 0.06 мас.%, и Fe, ср. 0.44 мас.%. Соотношение основных примесных элементов  $Fe > Cr > V$ , отношение Cr/V составляет 2.2. Также присутствуют: Mg, ср. 1.03 мас.%, Na, нпо–1.26 мас.% (ср. 0.73 мас.%) и Ca, ср. 0.04 мас.%. Такое высокое содержание Mg и пониженное V в изумрудах Австрии упоминаются у Г. Грундмана и Мортеани [Grundmann, Morteani, 1989].

По данным КР-спектроскопии образцы содержат молекулярную воду II типа (пик  $3597\text{ см}^{-1}$  интенсивнее  $3607\text{ см}^{-1}$ ). Результаты совпадают с данными литературных источников [Huong et al., 2008, 2010].

ИК-спектры имеют вид, характерный для изумрудов типов IID и IA: острый основной пик  $5270\text{ см}^{-1}$ , пик  $5591\text{ см}^{-1}$ , небольшие пики  $5203\text{ см}^{-1}$  и  $5351\text{ см}^{-1}$ . Результаты соответствуют литературным данным [Huong et al., 2008].

Цветообразующими элементами FMM\_5\_7703 выступают  $Cr^{3+}$  и  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ . УФ-Вид-БЛИК-спектр образца демонстрирует интенсивную полосу поглощения  $Fe^{2+}$  совместно с полосой поглощения  $Fe^{3+}$ , полосы воды имеют сглаженный нерасщепленный вид, что характерно для типов IID и IA [Smith, Darenius, 2010; Karampelas et al., 2019; Fridrichova et al., 2018; Saeseaw et al., 2019].

### Россия

Образец FMM\_1\_32265 представляет собой исторический образец из Изумрудных копей на Среднем Урале, попавший в Музей вместе с коллекцией П.А. Кочубея. Изумрудные копи – один из самых известных районов добычи изумрудов, поставляющий их на мировой рынок уже более 150 лет. Месторождение является классическим представителем сланцевого типа [Попов, 2014], т.е. генетического типа IA. В коллекции Музея данный образец находится со времени покупки коллекции в 1913 г., а добыт он на участке Изумрудных копей у р. Токовой, вероятно, в середине XIX века.

Образец является фрагментом призматического кристалла изумруда насыщенного зеленого цвета. Просматриваются включения слюды.

Значения содержания элементов: Cr, ср. 0.49 мас.%, V, ср. 0.04 мас.%, Fe 0.29–0.94 мас.% (ср. 0.45 мас.%). Соотношение основных примесных элементов  $Fe > Cr > V$ , отношение Cr/V составляет 12.3. Образец показал высокие содержания щелоч-

ных и щелочноземельных элементов, некоторые из которых имеют широкий диапазон значений: Na, нпо–1.32 мас.% (ср. 0.79 мас.%), K 0.02–0.67 мас.% (ср. 0.21 мас.%), Rb, ср. 0.01 мас.%, Cs, ср. 0.15 мас.%, Mg 0.88–2.21 мас.% (ср. 1.43 мас.%), Ca 0.01–0.31 мас.% (ср. 0.08 мас.%; отмечено присутствие Sc (0.01 мас.%). Примесный состав хорошо соответствует литературным данным [Povov et al., 2021; Gavrilenko et al., 2006; Saeseaw et al., 2019]. В некоторых работах изучены изумруды с более низким содержанием Cr [Giuliani et al., 2019; Aurisicchio et al., 2018].

Изумруд содержит молекулярную воду II типа (пик  $3597\text{ см}^{-1}$  более интенсивный, чем пик  $3607\text{ см}^{-1}$ ). Результаты совпадают с литературными данными [Fridrichova et al., 2018; Huong et al., 2008, 2010; Karampelas et al., 2019].

ИК-спектры имеют вид, характерный для месторождений изумруда типа IA: острый основной пик  $5266\text{ см}^{-1}$ , пик  $5590\text{ см}^{-1}$ , небольшие пики  $5198\text{ см}^{-1}$  и  $5342\text{ см}^{-1}$ .

Цветообразующие элементы этого образца  $Cr^{3+}$  и  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ , влияние V на цвет несущественно. Образец имеет интенсивную полосу поглощения  $Fe^{2+}$  совместно с полосой поглощения  $Fe^{3+}$  в УФ-Вид-БЛИК-спектре, полосы воды имеют сглаженный нерасщепленный вид, все это характерно для генетического типа IA [Smith, Darenius, 2010; Karampelas et al., 2019; Fridrichova et al., 2018; Saeseaw et al., 2019].

### АЗИЯ

#### Афганистан

Образец FMM\_1\_91443 атрибутирован как изумруд из Афганистана, Панджшерское ущелье, месторождение Хенч (Khenj), которое относится к типу ПС, изумруды обнаруживаются в пустотах и кварцевых жилах протерозойских метаморфических пород фундамента, состоящих из мигматита, гнейса, сланца, мрамора и амфиболита [Giuliani et al., 2019; Krzemnicki et al., 2021]. Однako М.С. Кржемницкий и соавторы выделили новый вид изумруда из Панджшерской долины (именуются изумрудами «панджшерского типа II»). Авторы предполагают, что они были получены из определенного района Панджшера (или «кармана»), а не из различных мест добычи. Камни больше напоминают колумбийские изумруды, чем ранее известные из Афганистана (именуются «панджшерскими изумрудами типа I») [Krzemnicki et al., 2021]. В Музей образец попал как дар от А. Черкасова в 2003 году. Год сбора указан как 2002-й.

Это сросток хорошо образованных призматических кристаллов берилла насыщенного ярко-зеленого цвета (рис. 1). Самый крупный кристалл достигает 3.3 см в длину. В трещинах, выходящих

на поверхность, наблюдается ожелезнение. Проматриваются единичные трехфазовые включения с неровным краем и тонкие трубки роста вдоль оси с.

Изученный изумруд имеет повышенное содержание Sc, ср. 0.16 мас.%. При этом соотношение цветообразующих элементов для него  $Cr \geq V > Fe$  (Cr, ср. 0.42 мас.%, V, ср. 0.33 мас.%, Fe, ср. 0.22 мас.%), отношение Cr/V составляет 1.3. Отмеченная особенность образца уникальна в рассматриваемой выборке изумрудов. Для данного камня также отмечены K (ср. 0.07 мас.%), Rb (ср. 0.01 мас.%) и Mg (ср. 0.53 мас.%). Опубликованные составы изумрудов Афганистана отличаются большим разнообразием [Karampelas et al., 2019; Saeseaw et al., 2014, 2019]. Исследованный образец схож с панджшерскими изумрудами II типа [Krzemnicki et al., 2021].

Изумруд содержит молекулярную воду II типа, судя по КР-спектрам (дуплет, где пик  $3598\text{ см}^{-1}$  более интенсивный, чем пик  $3607\text{ см}^{-1}$ ), что соответствует генетическому типу III.

ИК-спектры имеют вид, характерный для изумрудов сланцевых месторождений: острый основной пик  $5277\text{ см}^{-1}$ , пик  $5583\text{ см}^{-1}$ , плечи  $5432\text{ см}^{-1}$  и  $5192\text{ см}^{-1}$ .

Цветообразующими элементами для этого образца являются  $Cr^{3+}$  и  $V^{3+}$ . Практически прямое наложение полос поглощения V и Cr в УФ-Вид-БЛИК-спектре создает интенсивные и широкие полосы поглощения. У изумруда присутствует полоса поглощения  $Fe^{2+}$ , но  $Fe^{3+}$  не регистрируется (образец нельзя отнести к высокожелезистым, поскольку Fe не более 0.24 мас.%), область воды имеет сглаженный вид, что соответствует литературным данным по сланцевым бериллам [Krzemnicki et al., 2021]. Исследованный образец схож с панджшерскими изумрудами II типа М.С. Кржемницкого [Krzemnicki et al., 2021].

### Казахстан

Два образца FMM\_1\_61474 атрибутированы как изумруды из Казахстана, месторождение Куу. Месторождение и музейные образцы описаны в статье [Черников, Дорфман, 2004], однако не приведены составы изумруда. Из имеющихся в литературе разрозненных описаний сложно определить достоверно тип данного месторождения, но известные находки изумруда приурочены к грейзенизированным приконтактовым зонам гранитного массива Куу и гидротермальным жилам в амфиболовых сланцах [Черников, Дорфман, 2004]. В Восточном Казахстане есть геологически сходное месторождение Дельбегетей [Gavrilenko et al., 2006], которое можно отнести к типу IV, связанному с внедрением магматогенных грейзенизирующих флюидов в осадочные породы (сланцевый

тип). Материал попал в коллекцию в 1960 г. от сотрудника Музея, работавшего в горах Куу, Дорфмана Моисея Давыдовича.

Крупный образец FMM\_1\_61474-1 – длинно-призматический кристалл насыщенного изумрудно-зеленого цвета в кварце. Маленький образец FMM\_1\_61474-2 – фрагмент прозрачного трещиноватого призматического кристалла берилла голубовато-зеленого цвета ~5 мм в длину.

Образцы имеют соотношение основных примесных элементов в пропорции  $Cr \geq Fe > V$ . Содержание Cr 0.11–0.68 мас.% (ср. 0.42 мас.%), V, ср. 0.01 мас.%, Fe, ср. 0.32 мас.%. Отношение Cr/V составляет 23–31. Другие примесные элементы отмечены в незначительных количествах: K (ср. 0.04 мас.%), Rb (ср. 0.01 мас.%), Cs (ср. 0.02 мас.%), Ca (ср. 0.02 мас.%), Sc (ср. 0.01 мас.%). Состав изученного берилла месторождения Куу сходен с опубликованными составами изумруда месторождения Дельбегетей [Gavrilenko et al., 2006].

КР-спектры бериллов содержат молекулярную воду I типа:  $3599\text{ см}^{-1}$  имеет вид плеча,  $3607\text{ см}^{-1}$  – интенсивный пик, что также соответствует литературным данным [Gavrilenko et al., 2006].

Полученные ИК-спектры имеют вид, аналогичный с колумбийскими изумрудами по областям ОН-колебаний: острый пик на  $5275\text{ см}^{-1}$ , окруженный двумя закругленными плечами на  $5445$  и  $5100\text{ см}^{-1}$ .

Цветообразующими элементами в изученных образцах выступают  $Cr^{3+}$  и  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ . У данных изумрудов получились необычные для выборки УФ-Вид-БЛИК-спектры: интенсивная полоса  $Fe^{2+}$  и значимая полоса  $Fe^{3+}$ , характерные для сланцевых месторождений, присутствуют совместно с полосами воды расщепленного вида, как у изумрудов месторождений колумбийского типа. Такое сочетание упоминается в статье Е.В. Гавриленко [Gavrilenko et al., 2006].

### Заключение

В ходе работы для подтверждения заявленных регионов происхождения исследуемых изумрудов были описаны включения, морфологические и спектральные характеристики образцов, а также был проведен анализ литературных данных.

Не все методы исследования одинаково эффективны для этой цели. Многие исследователи используют для определения региона происхождения изумруда его химический состав, применяя методы РФА или ИСП-МС (масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой), однако последний является разрушающим методом, потому не может использоваться на особо ценных образцах. Стандартным геммологическим индикатором является наличие включений, характерных

для разных регионов добычи изумрудов. Однако на сегодняшний день они играют лишь вспомогательную роль, так как указывают скорее на тип месторождения, а не на конкретное название, так как включения не полностью уникальны и могут встречаться в нескольких местах мира. Важным показателем является тип молекулярной воды (КР-спектроскопия), но он также указывает только на сланцевый/колумбийский тип. Спектроскопия поглощения может являться полезным вспомогательным методом, так как частично подтверждает данные РФА и КР-спектроскопии, благодаря ей можно определить валентность железа, содержащегося в изумрудах.

Главным преимуществом перечисленных методов является то, что все они неразрушающие. Однако для корректных результатов некоторым из них необходима пробоподготовка, которую нельзя применять к музейным образцам. Данный момент особенно касается сырья, так как оно может быть плохо препарировано, из-за чего искажаются данные РФА, а также иметь низкую прозрачность и большую толщину, что усложняет анализ с помощью спектроскопии поглощения. В идеале объектом изучения должна быть полированная пластина или в случае с драгоценными камнями ограненный изумруд. Также важен размер образца, в идеале это должен быть камень размером 0.5–1 кар, так как это влияет на качество данных спектроскопии поглощения. В зависимости от используемой модели, образцы размером

более 4–5 см в принципе не помещаются в камеры стационарных приборов для КР- и ИК-спектроскопии, для оптической спектроскопии этот параметр и вовсе меньше.

Полученные данные подтвердили происхождение большинства изумрудов: из Колумбии (FMM\_1\_15626, FMM\_1\_15627, FMM\_1\_31249), ЮАР (FMM\_1\_29343, FMM\_1\_29345), ЮЗ Африки (FMM\_1\_70780), Австрии (FMM\_5\_7703), России (FMM\_1\_32265), Казахстана (FMM\_1\_61474) и Египта (FMM\_5\_763). Образец из Перу (FMM\_1\_31251) наиболее соответствует колумбийскому типу месторождений (ПВ-тип).

Некоторые камни могли попасть в Музей с ошибочными привязками. Бразильский образец FMM\_1\_25643 по всем параметрам очень схож с колумбийскими изумрудами, в то время как образец FMM\_1\_31248, наоборот, имеет все черты «сланцевого» изумруда, возможно, данный индивид мог попасть в коллекцию П.А. Кочубея из одного из бразильских месторождений.

Данное исследование помогло подтвердить географические привязки и пополнить мировые сведения об изумрудах, а также выявить вероятные исторические неточности в происхождении образцов.

Выражаем благодарность кандидату геолого-минералогических наук Алферовой М.С. за внесенный вклад в исследование образцов, предоставленных Музеем.

## Список литературы:

- Гарсиласо Д.Л.В.* История государства инков // Изд-во Альма-Матер, 2023. 788 с.
- Киевленко Е.Я.* Геология самоцветов. М.: Земля, 2001. 581 с.
- Попов М.П.* Геолого-минералогические особенности редкометалльной минерализации в восточном экзоконтакте Адуйского массива в пределах уральской изумрудноносной полосы // Изд-во УГГУ, 2014. 136 с.
- Черников А.А., Дорфман М.Д.* Минеральный состав редкометалльно-урановых, бериллиевых с изумрудом и других месторождений в эндо- и в экзоконтактах гранитного массива Куу (Центральный Казахстан) // Новые данные о минералах. 2004. Вып. 39. С. 71–78.
- Abdalla H.M., and Mohamed F.H.* Mineralogical and geochemical investigation of emerald and beryl mineralisation, Pan-African Belt of Egypt: genetic and exploration aspects // Journal of African Earth Sciences. 1999. Vol. 28. No. 3. P. 581–598.
- Aurischio C., Grubessi O., Zecchini P.* Infrared spectroscopy and crystal chemistry of the beryl group // Canadian Mineralogist. 1994. Vol. 32. P. 55–68.
- Aurischio C., Conte A.M., Medeghini L. etc.* Major and trace element geochemistry of emerald from several deposits: Implications for genetic models and classification schemes // Ore Geology Reviews. 2018. V. 94. P. 351–366.
- Fridrichova J, Bacik P., Illasova L. etc.* Forensic gemmological study of green-coloured beryl of variable origin // Acta geologica Slovaca. 2018. Vol. 10(2). P. 89–104.
- Gavrilenko E.V., Calvo Perez B. etc.* Emeralds from the Delbegetey deposit (Kazakhstan): mineralogical characteristics and fluid-inclusion study // Mineralogical Magazine. April 2006. Vol. 70(2). P. 159–173.
- Giuliani G., Groat L.A.* Geology of corundum and emerald gem deposits: a review // Gems & Gemology. 2019. P. 464–489.
- Giuliani G., Groat L.A., Marshall D., Fallick A.E., Branquet Y.* Emerald Deposits: A Review and Enhanced Classification // Minerals. 2019. Vol. 9(2). 105. doi:10.3390/min9020105
- Grundmann G., Morteani G.* Emerald mineralization during regional metamorphism: the Habachtal (Austria) and Leydsdorp (Transvaal, South Africa) deposits // Economic Geology. 1989. Vol. 84. P. 1835–1849.
- Grundmann G., Giuliani G.* Emeralds of the World // extraLapis English. No. 2. January 2002. P. 24–35.
- Grundmann G. and Morteani G.* Multi-stage emerald

formation during Pan-African regional metamorphism: The Zabara, Sikait, Umm Kabo deposits, South Eastern desert of Egypt // *Journal of African Earth Sciences*. 2008. Vol. 50. P. 168–187.

Huong L.T.T. Microscopic, chemical and spectroscopic investigations on emeralds of various origins. Mainz, 2008. P. 113.

Huong L.T.T., Hager T., and Hofmeister W. Confocal micro-Raman spectroscopy: A powerful tool to identify natural and synthetic emeralds // *Gems & Gemology*. Spring 2010. Vol. 46. No. 1. P. 36–41.

Karampelas S., Al-Shaybani B., Mohamed F. etc. Emeralds from the Most Important Occurrences: Chemical and Spectroscopic Data // *Minerals*. 2019. V. 9. 561.

Kloprogge J.T. and Frost R.L. Raman microscopic study at 300 and 77 K of some pegmatite minerals from the Iveland-Evje area, Aust-Agder, Southern Norway // *Spectrochimica Acta*. 2000. Part A. 56. P. 501–513.

Krzemnicki M.S., Wang H.A.O. and Buche S. A New Type of Emerald from Afghanistan's Panjshir Valley // *The Journal of Gemmology*. 2021. Vol. 37(5). P. 474–495.

Lodzinski M., Sitarz M., Stec K. ICP, IR, Raman, NMR investigations of beryls from pegmatites of the Sudety Mts // *Journal of Molecular Structure*. 2005. 744–747. P. 1005–1015.

Lum J.E., Viljoen K.S. and Cairncross B. Mineralogical and

geochemical characteristics of emeralds from the Leydsdorp area, South Africa // *South African Journal of Geology*. 2016. Vol. 119. 2. P. 359–378.

Lum J.E. A mineralogical and geochemical characterisation of beryl from Southern Africa. University of Johannesburg, South Africa, 2017. 136 c.

Saeseaw S., Pardieu V., and Sangsawong S. Three-phase inclusions in emerald and their impact on origin determination // *Gems & Gemology*. Summer 2014. Vol. 50. No. 2. P. 114–132.

Saeseaw S., Renfro N.D., Palke A.C. etc. Geographic origin determination of emerald // *Gems & Gemology*. Winter 2019. Vol. 55. No. 4. P. 614–646.

Smith C.P. and Darenius E.Q. Inside emeralds // *Rapaport Diamond Report*. 2010. P. 139–148.

Petersen G.G. Mining and Metallurgy in Ancient Peru // *Geological Society of America*. 2010. P. 90.

Popov M.P., Solomonov V.I., Spirina A.V. etc. An analysis of geochemical features of crystallization of emeralds as an approach to determine the deposit of them // *Известия УГТУ*. 2021. Вып. 2(62). С. 16–21.

Van Meerbeek M. IR and UV-Vis spectroscopy of gem emeralds, a tool to differentiate natural, synthetic and/or treated stones? // *Academiejaar*. 2009–2010.