

УДК 549 (447.9)

МИНЕРАЛЫ КАРСТОВЫХ ПОЛОСТЕЙ И ИСКУССТВЕННЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК КРЫМА

Тищенко А. И.

*Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Российская
Федерация
E-mail: TischenkoAlex@rambler.ru*

В предлагаемой статье приведены краткая характеристика минералов, известных в естественных карстовых полостях и искусственных горных выработках Крыма. Обобщены новые данные о минералах искусственных полостей Крыма.

Ключевые слова: минералы природных пещер, минералы искусственных горных выработок, барит, гипс, кальцит; кварц, тенардит.

ВВЕДЕНИЕ

Минералогия естественных карстовых полостей и искусственных горных выработок включает в себя разные направления: диагностика минералов в различных генетических типах отложений, рассмотрение источников материала для минералообразования, изучение способов образования минералов, определение условий и последовательности образования минералов и минеральных ансамблей, минералогическая палеохронология и палеотермометрия, изучение минералов пещер как полезных ископаемых.

На страницах журнала «Спелеология и карстология» нами был дан обзор минералогической изученности естественных карстовых полостей Крыма [1]. Некоторые новые материалы по этому направлению исследований были опубликованы в нашей монографии [2]. В упомянутых выше работах была использована как обширная опубликованная литература, привести которую в рамках статьи просто невозможно, так и данные собственных полевых наблюдений и инструментальных минералогических исследований.

На наш взгляд, целесообразно дать современный обзор таким минералам. Кроме того, уместность этой работы вызвана открытием в июне 2018 г. пещеры «Таврида» и изучением её весьма интересной минералогии [3], а также еще не описанных находок минералов в искусственных горных выработках Крыма, минералогия которых на полуострове практически не изучена.

МИНЕРАЛЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ КАРСТОВЫХ ПОЛОСТЕЙ КРЫМА (СИСТЕМАТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ)

В естественных карстовых пещерах встречаются различные генетические типы отложений, рассмотрение особенностей минералогии которых не входит в рамки предлагаемой статьи.

Элементы (металлы), силициды

Минералы этого класса известны только в составе водных механических (кластогенных) отложений пещер Крыма. Здесь они являются терригенными минералами и находки их единичны.

Так, **самородное железо** Fe в виде магнитного пластинчатого зерна стально-серого цвета размером до 0.04 мм найдено в шахте Бездонная (Чатырдагский карстовый район).

Самородный свинец Pb упомянут в единичных зернах в составе тяжелой фракции глинистого заполнителя ряда карстовых пещер Горного Крыма.

Единичные зерна **самородного золота** Au (ярко-желтые окатанные зерна размером до 0.2 мм) отмечены в пещере Красная (Долгоруковский карстовый район).

Пластинчатые остроугольные зерна **муассанита** SiC голубовато-зеленого цвета размером до 0.2 мм найдены в пещерах Красная, Насонова (Ай-Петринский карстовый район), Мисхорская (Ай-Петринский карстовый район) и шахте Бездонная.

Халькогениды

Предположительно **антимонит** Sb_2S_3 в виде единичного микроскопического зерна найден в кварц-карбонатной корке из пещеры Таврская (Предгорный Крым). Качественный электронно-зондовый анализ показал наличие в его составе только сурьмы и серы.

Редки находки в составе водных механических отложений пещер Крыма **галенита** PbS (пещера Красная), **марказита** FeS_2 и **пирита** FeS_2 (пещеры Долгоруковского карстового районе — Провал и Красная), **сфалерита** ZnS (пещеры Мисхорская, Красная), **киновари** HgS (пещеры Провал, Красная, Мисхорская). Минералы обычно образуют в разной степени окатанные зерна и обломки кристаллов размером до 0.5 мм матово-серого (галенит), буровато-красного и красного (киноварь), светло-коричневого (сфалерит), светло-желтого (пирит) и зеленовато-желтого (марказит) цвета.

Галогениды

Сильвин KCl диагностирован в Коровьем гроте (Предгорный Крым), в составе рыхлого материала, окаймляющего гётитовые агрегаты на контакте верхнемеловых мергелей. В пещере Таврида (Предгорный Крым) сильвин как акцессорный минерал отмечен в составе эвапорационных гипсовых кор в ассоциации с целестином, баритом, арканитом, опалом.

Флюорит CaF_2 в виде единичных угловатых и полуокатанных зерен, от бесцветных до темно-фиолетовых, размером до 0.5 мм найден в тяжелой фракции водных механических отложений ряда пещер Горного Крыма — Бездонная, Ени-Сала-III (Долгоруковский карстовый район), Красная, Мисхорская, Скульская (Ай-Петринский карстовый район).

Оксиды, гидроксиды

Только в тяжелой фракции водных механических отложений ряда карстовых пещер Горного Крыма, как терригенные минералы, встречены **анатаз** TiO_2 , **брукит** TiO_2 , **ильменит** $Fe^{2+}TiO_3$, **касситерит** SnO, **корунд** Al_2O_3 , **магнетит** $Fe^{2+}Fe^{3+}_2O_4$, **рутил** TiO_2 , **хромит** $Fe^{2+}Cr_2O_4$ (Красная, Джур-Джур), **шпинель** $MgAl_2O_4$ (Провал).

МИНЕРАЛЫ КАРСТОВЫХ ПОЛОСТЕЙ И ИСКУССТВЕННЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК КРЫМА

Химически не изученные **хромшпинелиды** известны в тяжелой фракции песчано-глинистого заполнителя пещеры Мраморная (Чатырдагский карстовый район). Размер зерен и кристаллов упомянутых минералов — до 1 мм.

Единичные зерна брукита имеют таблитчатую форму и темно-бурый цвет, анатаза — округлую форму и светло-голубоватый цвет, касситерита - округлую форму и серовато-коричневый цвет.

Ильменит встречен в виде уплощенных зерен неправильной формы черного и серого цвета с сильным металлическим блеском, находки ограненных таблитчатых кристаллов единичны. Измененные (частично лейкоксенизированные) кристаллы ильменита имеют тусклый блеск.

Рутил образует блестящие или шероховатые удлиненные до игольчатых, или неправильной формы зерна желтоватого, желтовато-бурого и красного цвета.

Лейкоксен (микросталлические полиминеральные псевдоморфозы по Ti-содержащим минералам) относительно обычен в тяжелой фракции водных механических отложений ряда карстовых пещер Горного Крыма — Нссонова, Мисхорская, Провал, Красная, Джур-Джур (Демерджийский карстовый район), Монастырь-Чокрак. В шахте Бездонная содержание лейкоксена достигает 2 %, он образует окатанные, уплощенные зерна неправильной формы размером до 0.2 мм коричневого, желтоватого или белого цвета с шероховатой или, реже, блестящей поверхностью.

Аллотигенный **магнетит** $Fe^{2+}Fe^{3+}_2O_4$ распространен в тяжелой фракции водных механических отложений пещер Горного Крыма. Как правило, он образует сильно магнитные зерна размером до 1 мм неправильной формы. Зерна часто покрыты пленками гётита. В пещере Мраморная встречены псевдоморфозы гематита по магнетиту (т.н. мартит).

В качестве аутигенных минералов в составе водных механических отложений пещер Крыма отмечен **гематит** Fe_2O_3 и **пирролюзит** MnO_2 .

В пещере-источнике Сюдюрлю-Коба (Ай-Петринский карстовый район) гематит встречен в виде хлопьевидных агрегатов в жильном кальците и тонких буровато-красных корок на поверхности верхнеюрских известняков.

В шахте Каскадная (Ай-Петринский карстовый район), на глубине ~350 м найдены мелкокристаллические корки пирролюзита, в пустотах которых наблюдались его же мелкие призматические мозаично-блочные кристаллы размером до 2 мм.

Кварц SiO_2 обычен в составе легкой фракции водных механических отложений всех карстовых пещер Горного Крыма.

Ряд оксидов известны также и в составе вторичных минеральных образований. Так, **кварц** установлен в составе кальцитовых натечных образований пещеры Мраморная при их рентгенометрическом изучении. В пещере Таврида обычны хорошо ограненные микросталлы кварца в агрегатах гётита и тодорокита. **Кристаллит** SiO_2 в пещере Змеиная (Предгорный Крым) определен в составе полиминеральных (кальцит, сепиолит, кристаллит) образований. Небольшая примесь **тридимита** SiO_2 установлена при рентгенометрическом изучении кальцитовых натечных залов Идолов и Дублянского пещеры Эмине-Баир-Хосар (Чатырдагский карстовый район).

Вторичный **опал** $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ в пещере Таврида найден в составе ячеисто-пористых гипсовых кор с целестином, где минерал образует микросферолитовые корки на кристаллах гипса.

В пещере Таврида эпигенетическая оксидно-марганцевая минерализация представлена обычным **тодорокитом** $(\text{Na}, \text{Ca}, \text{K}, \text{Ba}, \text{Sr})_{1-x}(\text{Mn}, \text{Mg}, \text{Al})_6\text{O}_{12} \cdot 3-4\text{H}_2\text{O}$ и очень редким **рансьеитом** $(\text{Ca}, \text{Mn}^{2+})_{0.2}(\text{Mn}^{4+}, \text{Mn}^{3+})\text{O}_2 \cdot 0.6\text{H}_2\text{O}$.

Тодорокит слагает разные по виду макроскопические агрегаты - черные коры и примазки на стенах пещеры, сажисто-черные агрегаты на поверхности кристаллов фреатического кальцита. Агрегаты тодорокита характеризуются широким микроморфологическим разнообразием. Массивные черные образования представлены агрегатами ограненных (видимо, аутигенных) кристаллов кварца, которые покрыты тонкими корками тодорокита, сложенными розетковидными агрегатами микропластинчатых индивидов. Микропластинчатое строение демонстрирует тодорокит и в дендритоподобных обрастаниях кварцевых зёрен в рыхлых отложениях пещеры.

В черных порошковатых включениях со стен пещеры тодорокит представлен агрегатами ячеисто-сотового строения. На этих агрегатах обильно встречаются нитчатые микробные маты неустановленной принадлежности, что позволяет предположить определенную роль микроорганизмов в окислении марганца.

Рансьеит известен в виде микропластинчатых агрегатов в корках гидроксилпатита.

Псилоделан (общий термин для плотной, черной полиминеральной смеси оксидов марганца) входит в состав налетов, примазок и черных корочек, устанавливаемых на стенах обводненных пещер в зоне сезонных колебаний уровней воды, также в смеси с вадом, иллитом и кальцитом образует плотные, блестящие, тонкие (до 0.3 мм) налеты на поверхности и внутри гуров — натечных плотин в карстовых пещерах Горного Крыма.

Участками окрашивает спелеотемы (сталактиты, сталагмиты и др.) карстовых полостей Горного Крыма в черный цвет. Черная окраска спелеотем была отмечена в пещере Узунджа, наблюдалась нами в пещерах Кизил-Коба, Мраморная, Эмине-Баир-Хосар.

Гётит $\text{FeO}(\text{OH})$ является главным минералом «гидроксидов железа», которые обычны в составе тяжелой фракции водных механических отложений пещер Горного Крыма, и здесь наблюдаются в виде зерен неправильной формы и землистых агрегатов бурого цвета, пленок на зернах кварца и магнетита.

С гипогенным спелеогенезом связано развитие корок гётита в небольших закарстованных трещинах в палеоценовых известняках горы Бурундук-Кая (Белогорский район) и среднеэоценовых нуммулитовых известняках, разрабатываемых карьерами у с. Пролом (Белогорский район).

В пещере Таврида гётит широко распространен. Полистадийный микрокристаллический плотный или концентрически-зональный гётит выполняет трубообразные пустоты во вмещающих пещеру нуммулитовых известняках среднего эоцена. Отпрепарированные концентрически-зональные «трубы» гётита имеют вид

МИНЕРАЛЫ КАРСТОВЫХ ПОЛОСТЕЙ И ИСКУССТВЕННЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК КРЫМА

своеобразных «занавесей» на стенах пещеры. Гётит ассоциирует с кварцем, образующем сростки хорошо огранённых кристаллов размером до 10 микрон.

Карбонаты

Арагонит CaCO_3 редко упоминается в пещерах Крыма, что, вероятно, связано с трудностью визуального его отличия от широко распространенного кальцита.

Исключением являются нижние галереи пещеры Эмине-Баир-Хосар, где арагонит развит очень широко. Здесь исследователями выделено три его генерации — сталактиты, длиной до 10 метров, образованные сетью кристаллов арагонита размером до 10 см, радиально-лучистые и т.н. «стекловидные» агрегаты. Здесь же, при рентгенометрическом изучении некоторых кристаллов арагонита, в качестве примеси в них отмечены **гидромагнезит** $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ и **моногидрокальцит** $\text{CaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

В пещере Мраморная участками стенки и натечные формы покрыты пушистым налетом в виде тонких игольчатых (до 15 мм) кристаллов арагонита.

Доломит $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ упомянут без какой-либо диагностической характеристики как один из минералов натечных форм в пещерах Горного Крыма. Включения ромбоэдрических микрокристаллов доломита отмечены в кальците, выполняющем закарстованные трещины в известняках г. Бор-Кая (Предгорный Крым). Железистый доломит (? — анкерит) установлен в виде мелкокристаллических агрегатов или красноватых кристаллов размером около 2 мм на кристаллах арагонита в нижних галереях пещеры Эмине-Баир-Хосар. Вероятно, доломитом являются желтоватые, слегка изогнутые ромбоэдрические кристаллы, нарастающие на кальцит в пещере Ованес-Кош-Коба (Ялтинский карстовый район).

Кальцит CaCO_3 является главным минералом водно-хемогенных отложений карстовых полостей Предгорного и Горного Крыма.

Рентгенометрические анализы различных по форме и окраске натеков из пещеры Змеиная, Красная и Эмине-Баир-Хосар показали их кальцитовый состав с небольшой примесью кристобалита (Змеиная и Эмине-Баир-Хосар) и сепиолита (Змеиная).

Жильный кальцит и кристаллы кальцита, в т.ч. и исландского шпата, известен в карстовой шахте «Ход Конём» (Долгоруковский карстовый район). Здесь друзы и одиночные кристаллы кальцита размером до 15 см найдены в глинистом заполнителе расширенного и закарстованного участка вертикальной трещины на глубине 85 м. Кристаллы кальцита бесцветные до светло-серых, поверхность граней шероховатая, отдельные грани в значительной степени корродированные. На кристаллах развиты грани скаленоэдра, призмы и, реже, ромбоэдров {21-31}, {40-41}, {10-11}. Отдельные кристаллы sdвойникованы по призме [10-10] или пинакоиду [0001], встречены также сложные, комбинированные двойники с одновременным двойникованием по пинакоиду и призме. Кристаллы зональные, что хорошо заметно на сколах по чередованию сероватых и бесцветных тонких полосок. Температура образования кристаллов исландского шпата оценивается в 50 - 76⁰С.

В пещере-источнике Ени-Сала-III (Долгоруковский карстовый район) известны выступающие над поверхностью стен отпрепарированные кальцитовые жилы, поверхность жильного кальцита корродированна, местами покрыта остаточной глиной, оксидами марганца или карбонатными натеками. Кристаллы кальцита слабо

люминесцируют в светло-голубых и синих цветах; температура гомогенизации в них колеблется от 40 до 120⁰С; возраст их образования оценивается как позднемеловой - раннеплиоценовый.

На стенках ходов 4-го этажа ближней части пещеры Красная и в пещере Ени-Сала-II (Долгоруковский карстовый район) известны скелетные формы кристаллов кальцита размером до 7 см, предполагается субэвральный генезис таких кристаллов из холодных (до 20⁰С) растворов.

Кристаллы исландского шпата известны также в шахтах-понорах Гвоздецкого (Карабийский карстовый район) на глубине 170 м и Молодёжной (Карабийский карстовый район) на глубине 200 м.

В т.н. «Нижнем Баире» пещеры Эмине-Баир-Хосар кальцит образует друзы скаленоэдрических, ромбоэдрических и таблитчатых кристаллы разного размера, отмечены и двойниковые кристаллы.

В пещере Таврида встречен кальцит нескольких морфологических типов: а) срастания остроромбоэдрических микрокристаллов кальцита в ассоциации с целестином в сахаровидном гипсе; б) гидроксилпатит-кальцитовые коры во фреатических куполах, где кальцит образует друзовые корки, нарастающие на гидроксилпатит; в) игольчато-волокнустый кальцит, который найден в виде прожилков в глинистом заполнителе из зоны кавернозности над пещерой; г) сферолитовые агрегаты размером до 2 см молочно-белого цвета на стенке восходящего канала во вмещающих пещеру известняках; д) кальцитовые коры с гипсом в каналах приповерхностной зоны кавернозности.

Тончайшие кальцитовые коры отмечены на стенах пещер на горе Беш-Кош (Предгорный Крым). Кальцитовый состав водных земогенных отложений указан и для пещеры Таврская.

Субаквальные (фреатические) зональные покровы кальцита встречены в нескольких пещерах Предгорного Крыма — Таврской, Подарочной, Беш-Кош, Таврида. Их толщина колеблется от 5 до 60 см, сложены они параллельно-шестоватым кальцитом коричневого цвета. Возраст их оценивается в 260 — 417 тыс. лет. Кальцит также выполняет закарстованные трещины (г. Бор-Кая). Субаквальные коры фреатического кальцита известны в гипогенных карстовых пещерах Беш-Кош-2, Беш-Кош-3 и Беш-Кош-4, приуроченных к дат-инкерманским известнякам (палеоцен); нуммулитовых известняках среднего эоцена в долине р. Салгир (парк «Салгирка») и Малый Салгир в окрестностях Симферополя. Для фреатического кальцита залов Перестройки, Розового и Балконного (пещера Мраморная) температура образования оценивается в 80– 60⁰С.

Кальцитовые оолиты и пизолиты обнаружены в 26 карстовых полостях Горного Крыма. В слабопроточных ванночках, где перемешивание воды происходит при падении капель, оолиты имеют овальную форму с шероховатой поверхностью, их размер достигает 11 мм. В проточных ванночках, где перемешивание воды связано с движением струй инфильтрационных вод, оолиты имеют сферическую форму с гладкой поверхностью, их размер достигает 12 мм. Пизолиты формируются в закарстованных трещинах при изменчивом гидродинамическом режиме. Оолиты и пизолиты концентрически-зональны, толщина микрослоев составляет 0.02–0.03 мм в

МИНЕРАЛЫ КАРСТОВЫХ ПОЛОСТЕЙ И ИСКУССТВЕННЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК КРЫМА

среднем, число слоев изменяется от 60 – 70 в пизолитах размером до 6 мм до 180–200 в крупных пизолитах.

Своеобразное образование, имеющее название «горное молоко», «лунное молоко», «мондмилх» (Mondmilch) известно в ряде карстовых пещер Горного и Предгорного Крыма – Кара-Мурза (Карабийский карстовый район), Крымская (Карабийский карстовый район), Згиз-Тинах-I (Карабийский карстовый район), Палласа (Ай-Петринский карстовый район), Таврида. «Горное молоко» состоит из слабосцементированных микроскопических иголочек, вытянутых пластинок и дендритовидных кристаллов размером от долей до сотен микронов. Микроморфология кристаллов «горного молока» указывает, по-видимому, на довольно быстрый рост из пересыщенных бикарбонатом кальция водных растворов. Оптические и рентгенометрические исследования показывают кальцитовую природу «горного молока».

Предположительно, к параморфозам кальцита по **фатериту** CaCO_3 (гекс.) отнесены пуховидные, хлопьевидные и спутано-волоконистые массы белого цвета, которые обнаружены в шахте Бездонная. Кальцитовый состав таких образований подтверждается данными оптического и рентгенометрического изучения.

Малахит $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$ как редкий аллотипенный минерал отмечен в глинистом заполнителе карстовых пещер Горного Крыма.

Сидерит FeCO_3 в пещерах Горного Крыма отмечен как аутигенный минерал глинистого заполнителя. В некоторых разрезах в нижней части костеносных отложений пещеры Таврида выделяется горизонт, обогащенный тонкозернистым сидеритом с примесями **витерита** BaCO_3 и доломита. Наличие сидерита указывает на аноксичные восстановительные условия, существовавшие в отложениях, а обогащение нижних горизонтов может трактоваться через действие сорбционного и щелочного геохимических барьеров, действующего на контакте с нижележащими песчанисто-алевритовыми отложениями.

Сульфаты

Арканит $\text{K}_2(\text{SO}_4)$ обнаружен в пещере Таврида в составе эвапорационных гипсовых кор в ассоциации с целестином, баритом, сильвином, опалом.

Афтиталит $\text{K}_3\text{Na}(\text{SO}_4)_2$ и **сингенит** $\text{K}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ установлены в Коровьем гроте, в составе рыхлого материала, окаймляющего гётитовые агрегаты на контакте верхнемеловых мергелей и эоценовых известняков. Афтиталит представлен срастаниями разноориентированных таблитчатых кристаллов размером около 0.01 мм. Для сингенита характерны пинакоидальные и призматические кристаллы размером до 0.03 мм.

Барит $\text{Ba}(\text{SO}_4)$ как аутигенный минерал отмечен в тяжелой фракции глинистого заполнителя пещер Красная, Провал и Джур-Джур.

В пещере Таврида барит в виде сноповидно-расщепленных индивидов размером до 10 микрон установлен в составе пластичных карбонатных отложений на стенах пещеры. Микропластинчатые агрегаты барита отмечены в пористых агрегатах гётита, выполняющих гипогенные карстовые каналы в эоценовых известняках (карьеры у сел Пролом и Некрасово, Белогорский район).

Натриярозит $\text{NaFe}^{3+}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ установлен в пещере Цветочная 1 (Предгорный Крым) в составе железистого наполнителя в ассоциации с гётитом и кварцем.

В Горном Крыму вторичный **гипс** $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ описан в пещерах Ай-Петринского (Партизанская и Аю-Тешик), Ялтинского (Ставрикайская), Долгоруковского (Красная) и Чатырдагского (пещера Мраморная - залы Гуровый и Глиняный) горных массивов.

Гипс встречается в виде желто-бурых кристаллически-зернистых корок толщиной до 6 мм и пленок серебристо-белого цвета (Аю-Тешик); несовершенных и частично растворенных призматических кристаллов размером до 1.2 см на плоскостях скольжения в известняках и стяжений остроугольной формы размером до 8 см в глинах (Партизанская); закрученных и изогнутых гипсовых «цветов» и геликтитов размером до 5 см, таблитчатых кристаллов в глинистом заполнителе (Ставрикайская); волосисто-игльчатых кристаллов на глине, корок крупнопластинчатых кристаллов на известняке, прозрачных кристаллов до 8 см, стяжений кристаллов с кривогранными формами в глинистом заполнителе, гипсовых «цветов» (Красная); снежно-белых до светло-серых кристаллически-зернистых корок толщиной первые сантиметры (Мраморная).

В пещерах Предгорного Крыма гипс установлен в пещере Таврская и Таврида. В пещере Таврская гипс образует участками мелкозернистые корки на стенках пещеры, диагностирован по данным рентгеновского и электронно-зондового анализа. Вероятно, здесь гипс является результатом взаимодействия минерализованных палеосульфатных растворов с вмещающими пещеру известняками.

В пещере Таврида гипсовая минерализация широко развита. Наиболее распространены белые и рыхлые сахаровидные коры, сложенные уплощенными лейстовидными до футляровидными индивидами размером до нескольких мм. Постоянной примесью в таком гипсе является кальцит и целестин.

В ячеисто-пористых гипсовых корах гипс сложен агрегатом хорошо ограненных кристаллов, с развитыми гранями пинакоида и ромбических призм, часто с элементами футляровидного строения. В кристаллах гипса встречаются вросстки апатита и целестина.

Микропластинчатые кристаллы гипса установлены в составе «кораллитоподобных» гипс-гидроксилапатитовых агрегатов.

Наиболее вероятна генетическая связь сульфатной минерализации с процессами фосфоритизации органических остатков (гуано, копролиты) и выделения кислот, включая H_2SO_4 , которая, реагируя с карбонатным субстратом, приводит к образованию гипса и других сульфатов.

Целестин $\text{Sr}(\text{SO}_4)$ в пещере Таврида встречается в виде микровростков и одиночных микрокристаллов в корах сахаровидного гипса.

В пещере Таврида, в составе кальцитовых кор, выполняющих каверны-«таффоны», предположительно отмечен **коксайт** $(\text{NH}_4)_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Фосфаты

МИНЕРАЛЫ КАРСТОВЫХ ПОЛОСТЕЙ И ИСКУССТВЕННЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК КРЫМА

Химически не изученные минералы группы **апатита** отмечены в составе глинистых водных терригенных отложений пещер Горного Крыма, например — Провал, Красная и Мисхорская.

Брушит $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ установлен в составе зональных фосфатных корок в пещере Змеиная. Эти корки сложены преимущественно светло-коричневым скрытокристаллическим апатитом, брушит же представлен тонкозернистыми агрегатами белого или светло-желтоватого цвета и слагает внутреннюю часть корок и очень тонкие прожилки в массе апатита. Во внешней зоне таких корок брушит ассоциирует уже с гипсом.

Витлокит $\text{Ca}_9\text{Mg}(\text{PO}_3\text{OH})(\text{PO}_4)_6$ найден в пещере Таврида преимущественно в виде рыхлых микрокристаллических округлых или неправильной формы агрегатов снежно-белого цвета размером до $5 \times 3 \times 3$ см, которые рассеяны в массе напольной Fe^{3+} -монтмориллонитовой глины. Агрегаты витлокита образованы хорошо ограненными ромбоэдрическими кристаллами размером до 0.01 мм. Наиболее вероятно его вторичное происхождение как результат переотложения фосфора и кальция из гидроксилapatита, а магния – из монтмориллонита, что подтверждается находками фрагментов светло-бежевых пластин гидроксилapatита, на поверхности которых развиты сферолитовые корки более позднего гидроксилapatита в ассоциации с мелоподобным витлокитом и порошокатым бурым кальцитом.

В костеносных эоплейстоценовых микситах пещеры Таврида вместе с витлокитом установлены **гояцит** $\text{SrAl}_3(\text{PO}_4)(\text{PO}_3\text{OH})(\text{OH})_6$, **кальциоферрит** $\text{Ca}_4\text{MgFe}^{3+}_4(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, **кингсмаунтит** $\text{Ca}_3\text{MnFe}^{2+}\text{Al}_4(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, **крандаллит** $\text{CaAl}_3(\text{PO}_4)(\text{PO}_3\text{OH})(\text{OH})_6$, **монтгомериит** $\text{Ca}_4\text{MgAl}_4(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, **робертсит** $\text{Ca}_2\text{Mn}^{3+}_3\text{O}_2(\text{PO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, предположительно **зодацит** $\text{Ca}_4\text{Mn}^{2+}\text{Fe}^{3+}_4(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Монтгомериит, кальциоферрит и крандаллит встречаются в виде гнезд порошокатых масс, сложенных мелкими (до 0.05 мм) индивидами соответственно пластинчатой, игольчатой и хлопьевидной форм. Робертсит, выявленный в виде обрастаний костного детрита и макроагрегатов апатита, представлен радиальными агрегатами тонких пластинчатых микрокристаллов. Кингсмаунтит, имеющий микросферолитовое строение, и гояцит с микроглобулярно-колломорфной морфологией также были обнаружены в виде обрастаний на агрегатах апатита.

В ряде пещер Предгорного Крыма известен **гидроксилapatит** $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ и **фторапатит** $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$.

Гидроксилapatит преобладает в составе незональных темно- или светло-коричневых скрытокристаллических контактово-метасоматических корок толщиной до 1 мм, покрывающих натечные образования и обвальные отложения в пещерах Таврская и Змеиная.

Зональные полиминеральные скрытокристаллические корки в пещере Змеиная состоят из фторапатита (преобладает во внутренней зоне корки), светло-медово-коричневого гидроксилapatита (средний слой корки) с примесью кальцита и кварца.

В пещере Таврида гидроксилapatит является обычным минералом. Наиболее типичной формой гидроксилapatита являются реакционные каймы на контакте рыхлого заполнителя и карбонатного субстрата (коренные стены, глыбы известняка).

Более редки тонкие коры мелкокристаллического гидроксилapatита в ассоциации с кальцитом на внутренней поверхности фреатических куполов растворения, порошковатые агрегаты гидроксилapatита в ассоциации с тодорокитом и гипсом на поверхности друз кристаллов фреатического кальцита, полупрозрачные сферолитовые корки светло-желтоватого и светло-серого цвета в ассоциации с мелоподобным витлокитом и бурым порошковатым кальцитом. В пустотах ископаемых костей встречены несовершенные молочно-белые кристаллы гидроксилapatита размером до 1 мм и их сростки. Редки в пещере гипс-гидроксилapatитовые «кораллитоподобные» образования белого цвета размером до 5 мм.

Фторапатит в пещере Таврида найден в виде микрокристаллических плотных желваков светло-кремового цвета размером до первых сантиметров в красновато-бурых глинах зоны контакта с нуммулитовыми известняками. Здесь для минерала характерна светло-желтая люминесценция.

Проявление фосфатной минерализации обусловлено наличием в пещере Таврида обильных зоогенных отложений — костного детрита, копролитов хищных и гуано рукокрылых млекопитающих.

В Горном Крыму аутигенный карбонатгидроксилapatит (= CO_3 -содержащий гидроксилapatит) известен в заполнителе отдельных пещер Ени-Сала III и Скельская. Найден здесь в виде зерен шарообразной, цилиндрической и эллипсоидальной формы восково-желтого, янтарно-желтого, коричнево-бурого, лимонно-желтого, серого и розовато-белесого цвета размером до 3 см. Поверхность мелких зерен глянцевая, эмалевидная, более крупных зерен — матовая. Карбонатгидроксилapatит представляет здесь псевдоморфозы замещения зубов, костных остатков и копролитов позвоночных животных, которые могли служить затравками для вторичной концентрации фосфата кальция в карбонатной среде при инфильтрации карстовых вод, мобилизовавших водорастворимые фосфорнокислые соли из верхнеюрских отложений.

Вероятно, **монацит-(Ce)** $(\text{Ce})\text{PO}_4$ отмечен в составе тяжелой фракции глинистых водных механических отложений пещеры Мраморная, химически не изучен.

Островные ортосиликаты

Минералы этого подкласса — гранаты, кианит, силлиманит, ставролит и циркон, известны только как терригенные в составе водных механических отложений пещер Крыма. Их содержание изменяется от единичных зерен до 28 % тяжелой фракции (циркон).

Химически не изученные минералы группы **граната** отмечены во многих пещерах Горного Крыма. Содержание граната в тяжелой фракции может достигать 5%, минерал встречается в виде угловатых зерен розоватого и желтого цвета.

Кианит Al_2SiO_5 и **силлиманит** $\text{Al}_2(\text{SiO}_4)\text{O}$ известны в некоторых пещерах Горного Крыма — Нассонова, Скельская, Мисхорской, Бездонная, Красная, Джур-Джур, Монастырь-Чокрак, Гвоздецкого. Содержание кианита достигает 0.1% тяжелой фракции, он образует бесцветные и светло-серые пластинчатые зерна размером до 0.2 мм. Силлиманит встречен в виде удлиненных зерен белого цвета, содержание его составляет 2 % (шахта Бездонная).

МИНЕРАЛЫ КАРСТОВЫХ ПОЛОСТЕЙ И ИСКУССТВЕННЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК КРЫМА

Ставролит $\text{Fe}_2^{2+}\text{Al}_9\text{Si}_4\text{O}_{23}(\text{OH})$ отмечен в пещере Мраморная и Красная в виде окатанных зерен коричневого цвета размером до 0.5 мм.

Циркон циркон ZrSiO_4 известен в составе водных механических отложений многих пещер Горного Крыма. Так, в тяжелой фракции глинистого заполнителя шахты Бездонная содержание циркона составляет 28%, обычно встречается в виде зерен неправильной формы, призматических бесцветных, розоватых и желтоватых кристаллов размером до 0.1 мм.

Островные диорто- и ортодиортосиликаты

Минералы этого подкласса — цоизит и эпидот, известны только как терригенные в составе водных механических отложений пещер Горного Крыма **Цоизит** $\text{Ca}_2\text{Al}_3[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{SiO}_4]\text{O}(\text{OH})$ встречен в шахте Бездонная, где его содержание составляет 12% и образует бесцветные до голубоватых зерна неправильной формы.

Эпидот $\text{Ca}_2(\text{Al}_2\text{Fe}^{3+})[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{SiO}_4]\text{O}(\text{OH})$ обнаружен в шахте Бездонная и пещере Красная. Содержание эпидота в тяжелой фракции глинистого заполнителя шахты Бездонная достигает 3 %, минерал образует слегка окатанные зерна зеленого цвета неправильной формы.

Кольцевые силикаты

Представлены только **турмалином** (надгруппа) в составе в составе тяжелой фракции водных механических отложений многих пещер Горного Крыма Так, в тяжелой фракции шахты Бездонная содержание турмалина достигает 2%, минерал встречен в виде призматических слабоокатанных кристаллов размером до 0.1 мм зеленоватого, розового и голубого цвета. Химически турмалин не изучен.

Цепочечные и ленточные силикаты

Находки **пироксенов** (группа) и **амфиболов** (надгруппа) в составе тяжелой фракции водных механических отложений пещер Горного Крыма редки, химически минералы не изучены. Встречаются в виде единичных зерен светло-зеленого и зеленовато-бурого цвета размером до 0.2 мм.

Слоистые и листовые силикаты

Химические не изученные **слюды** (группа) и **хлориты** (группа) обычны в глинисто-песчаном заполнителе карстовых пещер Горного Крыма.

Бейделлит $(\text{Na},\text{Ca})_{0.3}\text{Al}_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ обнаружен в составе «пещерного жемчуга» карстовых полостей Горного Крыма. Для бейделлита из карстовых полостей Крыма предполагается водно-осадочный генезис, и минерал здесь рассматривается как своеобразный индикатор гипергенеза при карстообразовании.

Гидрослюды (общее название минералов подгруппы слюд с дефицитом межслоевых катионов - глауконит, иллит) являются одними из породообразующих минералов (до 20%) напольных глин пещеры Таврида. Гидрослюды отмечены в составе песчано-глинистых отложений зала Перестройки пещеры Мраморная и в составе натечных кальцитовых образований при их рентгенометрическом изучении.

Вероятно, во многих случаях, под собирательным названием «гидрослюда» описывается **иллит**, который является одним из главных минералов тонкодисперсной фракции глинистых водных механических отложений пещер Горного Крыма. Также, вместе с псиломеланом и кальцитом, иллит образует

плотные, тонкие (до 0.3 мм) налеты на поверхности натечных плотин (гуров) в пещерах Горного Крыма.

К **гидробиотиту** (смешаннослойный минерал с чередованием пакетов биотита и вермикулита 1:1) отнесены единичные светло-коричневые чешуйки неправильной формы, встреченные в глинистых водных механических отложениях шахты Бездонная.

Терригенный **глауконит** (серия диоктаэдрических слюд с дефицитом межслоевых катионов) отмечен в составе тяжелой фракции водных механических отложений пещеры Красная.

Каолинит $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ отмечен в пелитовой составляющей водных механических глинистых отложений пещер Красная и Мраморная, также — в составе кальцитовых натечных образований пещеры Мраморная, где минерал иногда диагностируется при их рентгенометрическом изучении.

Монтмориллонит $(\text{Na}, \text{Ca})_{0.3}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ преобладает в состав пелитовой составляющей водных механических глинистых отложений пещер Горного Крыма, обычно развивается по иллиту. Установлен также в составе кальцитовых водно-хемогенных образований пещеры Мраморная при их рентгенометрическом изучении.

Fe^{3+} -содержащий монтмориллонит является главным минералом (до 70%) напольных глин пещеры Таврида. По всей видимости, его наличие здесь связано с денудационным снятием древних кор выветривания и переотложением их на территории Предгорного и Равнинного Крыма в плиоцене. Заполнение пещеры этим материалом происходило преимущественно суффозионным и гравитационным путем, через трещины и каналы в перекрывающих породах.

Сепиолит $\text{Mg}_4\text{Si}_6\text{O}_{15}(\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ в пещере Змеиная диагностирован в составе полиминеральных (кальцит, сепиолит, кристобалит) водных хемогенных образований при их рентгенометрическом изучении.

Каркасные алюмосиликаты

Недиагностированные до минерального вида **полевые шпаты** (группа) обычны в составе легкой фракции водных механических песчано-глинистых отложений пещер Крыма.

Санидин $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ найден в пещере Таврида в составе предположительно флювиальных красноцветных алевритов и алевритовых песков. Здесь он представлен зернами размером до 0.2 м, как обломочными (вероятный источник – пески мазанской свиты нижнего мела), так и регенерированными с хорошо ограниченными микроиндивидами на их поверхности (источник – вмещающие пещеру Таврида нуммулитовые известняки среднего эоцена).

НОВЫЕ ДАННЫЕ О МИНЕРАЛАХ ИСКУССТВЕННЫХ ПОЛОСТЕЙ КРЫМА

Спелестология занимается изучением искусственных пещер и подземных сооружений, не использующихся по прямому назначению (заброшенные каменоломни и рудники, подземные ходы и коммуникации), специалистами различных направлений. Как правило, исследователей преимущественно интересует

МИНЕРАЛЫ КАРСТОВЫХ ПОЛОСТЕЙ И ИСКУССТВЕННЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК КРЫМА

морфология и история разработки и исследования подземных сооружений такого рода. Однако, они представляют также интерес как объекты, в которых можно наблюдать образование минералов в условиях, по температуре и влажности приближенных к условиям естественных пещер.

Минералы объектов спелестологии в Крыму весьма слабо изучены. Так, для искусственных полостей Крыма отмечен галотрихт в заброшенных шахтах Чекур-Кояшского серного месторождения (Керченский полуостров), гипс, калиевая и натриевая селитры на стенах искусственных полостей в т.н. «пещерных городах» Предгорного Крыма - Бакла, Инкерман, Чуфут-Кале, Мангуп-Кале и другие [2].

В настоящее время в объектах спелестологии обнаружены барит, галит, гипс, кальцит, кварц, тенардит (может быть мирабилит). Дадим краткую характеристику находок этих минералов. Все минералы были диагностированы с применением электронно-зондового и рентгеновского анализа А.В. Касаткиным (Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана), которому автор выражает глубокую благодарность.

Тенардит обнаружен Сохиным М.Ю. (спелестолог, Москва) в двух каменоломнях Керченского полуострова: Грамофоновская-2 и Палапанская-1. По его натурным наблюдениям на потолке каменоломни минерал образует водяно-прозрачные пуховидные налеты, которые сложены в разной степени изогнутыми игольчатыми кристаллами. Предполагается здесь эвапорационный генезис минерала. В Геологический музей им. Н.А. Андрусова (Крымский федеральный университет) этот минерал передан в виде светло-серого порошка. Вероятно, мы имеем здесь тенардит как результат обезвоживания первичного мирабилита, которым и были сложены эти пуховидные налеты.

Ряд минералов из Аджимушкайских каменоломен были переданы в Геологический музей им. Н.А. Андрусова (Крымский федеральный университет) исследователем природы Керченского полуострова Ханиным И.Н. (Керчь).

Барит встрече в виде двух морфологических типов сферолитов.

Шаровидные сферолиты с радиально-тонколучистым строением диаметром до 2 см имеют концентрически-зональную окраску. Краевая зона мощностью до 3 мм непрозрачна и имеет светло-желтоватый цвет. Основная часть сферолита полупрозрачна и имеет серовато-светло-коричневый цвет.

Вытянутые сферолиты размером 2.0x0.5 см на сколе тонко-радиально-лучистые, незональные, светло-серые, несколько тонко-ребристые с поверхности (? — результат более позднего растворения).

Кальцит также встречен в виде нескольких морфологических типов. Это кальцитовые кораллиты молочно-белого или серовато-белого цвета размером до 1 см; тонкие темно-серые (природа их окраски не изучалась) сферолитовые корки мощностью до 1 мм, иногда покрытые с поверхности охристо-желтыми налетами гётита с примесью гипса; фарфоровидно-белые мелкозернистые корки с бугристой поверхностью; землистые, мелоподобные агрегаты. В виде небольшой примеси в сферолитах кальцита при их электронно-зондовом анализе отмечены **галит** и **кварц**.

По отдельным образцам, которые были переданы в Геологический музей им. Н.А. Андрусова (Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского)

трудно судить о возможном пространственно-временном взаимоотношении разных морфологических типов кальцита, что может быть темой дальнейших натурных исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дополнительные находки и инструментально-минералогические исследования минералов природных карстовых полостей и искусственных горных выработок позволит увеличить степень их изученности и уточнить генетические особенности самих минералов.

Список литературы

1. Тищенко А.И. Минералогическая изученность карстовых полостей Крыма // Спелеология и карстология. 2008. № 1. С. 81–84.
2. Тищенко А.И., Касаткин А.В. Минералы и минеральные комплексы Крыма. Монография. Симферополь: Бизнес-Информ, 2020. 468 с.
2. Червяцова О.Я., Тищенко А.И., Потапов С.С., Касаткин А.В., Токарев С.В., Амеличев Г.Н. Эпигенетическая минерализация в эоплейстоценовых костеносных отложениях пещеры Таврида (Предгорный Крым) // Теория и практика современной карстологии и спелеологии. Материалы Международной научно-практической конференции III Крымские карстологические чтения. Симферополь, 27-30 сентября 2021 г. Симферополь, 2021. С. 155–163.

MINERALS OF KARST CAVITIES AND ARTIFICIAL MINING IN CRIMEA

Tishchenko A. I.

*V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation
E-mail: TishchenkoAlex@rambler.ru*

The article provides a brief description of minerals known from natural karst cavities and artificial mine workings of Crimea.

The mineralogy of natural karst cavities and artificial mine workings encompasses several fields: mineral diagnostics in various genetic types of sediments; assessment of the sources of material for mineral formation; study of mineral-forming mechanisms; determination of the conditions and sequences of mineral and mineral-assemblage formation; mineralogical paleochronology and paleothermometry; cave minerals as mineral resources.

Approximately 80 minerals are known from the natural caves of Crimea. This article presents a concise overview of them.

The minerals of artificial underground structures in Crimea remain largely unexplored. To date, barite, halite, gypsum, calcite, quartz, and thenardite (possibly mirabilite) have been identified in speleological sites. Their morphological characteristics are described. All minerals were identified using electron probe and X-ray analysis by A.V. Kasatkin (A.E. Fersman Mineralogical Museum).

Keywords: minerals of natural caves, minerals of artificial mine workings, barite; gypsum, calcite, quartz, thenardite.

МИНЕРАЛЫ КАРСТОВЫХ ПОЛОСТЕЙ И
ИСКУССТВЕННЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК КРЫМА

References

1. Tishchenko A.I. Mineralogicheskaya izuchennost' karstovyysh polostey Kryma // Speleologiya i karstologiya. 2008. № 1. P. 81–84. (in Russian)
3. Tishchenko A.I. Kasatkin A.V. Mineraly i mineral'nye komplekсы Kryma. Simferopol': Biznes-Inform, 2002. 468 p. (in Russian)
4. Chervatsova O.Y., Tishchenko A.I., Potapov S.S., Kasatkin A.V., Tokarev S.V., Amelichev G.N. Epigeneticheskaya mineralizatsiya v eopleistocenovykh kostenosnykh otlogenyakh peshchery Tavrida (Predgorniy Krym) // Teoriya i praktika sovremennoy karstologiyi i speleologii. Materialy Megdunarodnoy nauchno-practicheskoy konferencyi III Krymskiye karstovye chteniya. Simferopol', 27-30 sentyabrya 2021 g. Simferopol', 2021. P. 155–163. (in Russian)

Поступила в редакцию 25.09.2025 г.