

УДК 549(447.9)

НОВЫЕ НАХОДКИ ЦЕОЛИТОВ НА КАРАДАГЕ

Тищенко А.И.¹, Касаткин А.В.², Шибяев Е.А.³

¹Таврическая академия ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», г. Симферополь, Российская Федерация, TischenkoAlex@rambler.ru

²Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, г. Москва, Российская Федерация

³ООО Фирма «ВЕСС», г. Севастополь, Российская Федерация,

В статье описаны находки новых для Карадага минералов группы цеолитов – гейландита-Na, клиноптилолита-Sa, клиноптилолита-Na, стеллерита, стильбита-Na, эрионита-Sa, эрионита-Na. Приведены данные об их морфологии, химическом составе и парагенезисе.

Ключевые слова: Карадаг; цеолиты; гейландит-Na; клиноптилолит-Sa; клиноптилолит-Na; стеллерит; стильбит-Na; эрионит-Sa; эрионит-Na.

Введение

Карадаг – одно из наиболее известных местонахождений минералов в Крыму. Разнообразие природных ландшафтов, растительного и животного мира, морской фауны и флоры, особенности геологического строения и минеральных комплексов – основные причины создания здесь с 1979 г. природного заповедника.

Карадагский вулканический массив представляет собой реликт полигенного стратовулкана, сложенного вулканиками карадагской свиты (верхний байос – нижний бат) вместе с сопровождающими субвулканическими и жерловыми телами (Спиридонов и др., 1990). Вулканические образования залегают на терригенных отложениях таврической серии (верхний триас – нижняя юра) и средней юры.

В нижней части вулканической толщи преобладают разнообломочные туфы прижерловой фации, переслаивающиеся с мощными (до 30 м) покровами подушечных лав базальтоидов. Верхняя часть вулканической толщи существенно туфовая; туфы чаще прижерловой фации, содержат прослойки тефроидов с фауной верхнего байоса. Большая часть вулкаников миндалекаменные. Вулканики всех типов порфиоровые, с вкрапленниками плагиоклаза, авгита, реже биотита, изредка гиперстена, ортоклаза (в трахитах и щелочных базальтах), крайне редко эгирин-авгита (в трахитах). В базальтоидах наиболее распространены вкрапленники лабрадора. В субщелочных базальтах и андезитах, трахибазальтах и трахиандезитах в цементирующей массе обилён титаномагнетит, с которым ассоциируют подчиненные ильменит и хромшпинелиды.

Состав и эволюция состава вулкаников Карадага колеблется от базальтов до риолитов. Характерно сочетание в едином разрезе вулкаников известково-щелочной (широко развиты), шошонитовой (широко развиты), толеитовой (распространены мало) петрохимических серий.

Вулканики известково-щелочной серии представлены оливинными базальтами и более редкими базальтами, андезитами, андезитодацитами, дацитами, риолитами. Вулканики шошонитовой серии представлены трахибазальтами, муджиеритами (калиевые олигоклазовые базальты), шошонитами, трахиандезитобазальтами, трахиандезитами и латитами, в том числе повышенной щелочности – натриевой (бенморейты) и калиевой (тристаниты), трахидацитами, трахириодацитами, калиевыми трахириолитами. Вулканики толеитовой серии – это базальты, дациты, андезиты, плагиориолиты.

Вулканики и осадочные породы заметно метаморфизованы в условиях низкотемпературной части цеолитовой фации и превращены, по сути, в метавулканики. В метавулканиках развиты новообразования карбонатов (кальцит, доломит, анкерит), кварца

и халцедона, минералов группы хлоритов и селадонита, альбита, натрово-кальциевых цеолитов (анальцим, мезолит, гейландит, стильбит, ломонтит), апофиллита, датолита, альбита и нерешетчатого микроклина, пренита, сульфидов (пирит, халькопирит). Метавулканиты сопровождаются жилами (мощностью до 25 см и длиной до 5 м) и гнездами (до 0.5 м) халцедона и агата, цеолитов, карбонатов, кварца (в том числе горный хрусталь, розовый кварц, цитрин, аметист), сульфидов (пирит преобладает).

На Карадаге обнаружено около 100 минеральных видов, в том числе 20 цеолитов, что делает его крупнейшим по разнообразию цеолитов местонахождением в Крыму. Список известных на Карадаге цеолитов приводится ниже. Находки некоторых из них нуждаются в подтверждении, в списке они даны под знаком (?). Это – анальцим, (?), гармотом, гейландит-Са, гмелинит, дакиардит-Са («светлозарит»), клиноптилолит (без указания точного минерального вида), ломонтит, мезолит, морденит, натролит, (?), оффретит, сколецит, стильбит-Са, томсонит-Са, (?), феррьерит, (?), фюзит, шабазит-Са, эпистильбит, эрионит-К и югаваралит (Тищенко, 2009, 2015). Отметим, что пик изучения цеолитов и минералогии Карадага пришелся на 1970-е – начало 1980-х гг. Многие цеолиты до сих пор слабо изучены, находки некоторых (дакиардит-Са, югаваралит) более не повторялись.

Методика исследований

В 2016 г. нами были проведены локальные полевые исследования на Карадаге. Из современных делювиальных, пролювиальных и пролювиально-делювиальных осыпей был собран минералогический материал, который изучен в аналитической лаборатории Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН, а также лабораториях Университета г. Падуа (Италия) и Института Физики, г. Прага (Чехия) с применением рентгеновского (порошковая и монокристаллическая рентгенография) и микрозондового анализов, инфракрасной спектроскопии.

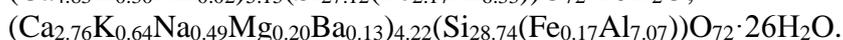
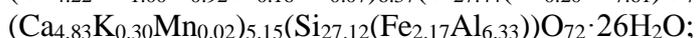
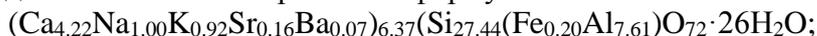
По результатам аналитических исследований нами констатировано наличие семи новых для Карадага минералов группы цеолитов: гейландита-На, клиноптилолита-Са, клиноптилолита-На, стеллерита, стильбита-На, эрионита-Са и эрионита-На. Их описание приводится ниже. Формулы минералов приведены по данным Международной минералогической ассоциации на март 2017 г.

Результаты исследований

Гейландит (серия) – включает следующие минеральные виды: гейландит-Ва $(\text{Ba,Ca,K})_5(\text{Si}_{27}\text{Al}_9)\text{O}_{72}\cdot 22\text{H}_2\text{O}$, гейландит-Са $(\text{Ca,Na,K})_5(\text{Si}_{27}\text{Al}_9)\text{O}_{72}\cdot 26\text{H}_2\text{O}$, гейландит-К $(\text{K,Ca,Na})_5(\text{Si}_{27}\text{Al}_9)\text{O}_{72}\cdot 26\text{H}_2\text{O}$, гейландит-На $(\text{Na,Ca,K})_6(\text{Si,Al})_{36}\text{O}_{72}\cdot 22\text{H}_2\text{O}$ и гейландит-Sr $(\text{Sr,Na,Ca})_5(\text{Si}_{27}\text{Al}_9)\text{O}_{72}\cdot 24\text{H}_2\text{O}$.

Впервые в Крыму гейландит (в широком смысле) найден С.П. Поповым в 1898 г. на Карадаге – на хребтах Кок-Кая и Магнитный, также и на Андезитовой сопке (Попов, 1898). На Карадаге гейландит известен во многих местах, обычно образует крупнопластинчатые прожилки толщиной до 3.5 см мясо-красного цвета, выполняет жеоды и миндалины в вулканогенных породах (Супричов, 1968). Обычно ассоциирует с анальцимом, халцедоном, опалом, селадонитом, хлоритом, датолитом, томсонитом и другими минералами. Часто мелкокристаллический гейландит выстилает краевые зоны кварц-опаловых прожилков. Хорошо образованные кристаллы гейландита размером до 1 см редки и представляют собой комбинацию граней форм {010}, {001}, {201}, {110}, {-201}. Данные в производственных отчетах и опубликованных в открытой литературе

химических анализов карадагского гейландита показывают, что минерал является гейландитом-Са. Его эмпирические формулы:



Нами на Карадаге обнаружен гейландит-На в метавулканитах района Кузьмичевых Камней, Пуццолановой и Средней Сердоликовой бухт, ущелье Гяур-Бах.

В районе Кузьмичевых Камней, в трещинах миндалекаменных метавулканитов гейландит-На образует сростки несовершенных кирпично-красных пластинчатых кристаллов размером до 1 см и ассоциирует с фисташково-зелеными радиально-лучистыми агрегатами шамозита (рис. 1).



Рис. 1. Гейландит-На (красные несовершенные пластинчатые кристаллы) в ассоциации с шамозитом. Кузьмичевы Камни. Образец 6.0x6.0x4.2 см.

Химический состав гейландита-На района Кузьмичевых Камней (мас.%, среднее из двух анализов; здесь и далее, если не указано иное – содержание H_2O рассчитано по стехиометрии, и суммы приведены к 100%): Na_2O 2.63; K_2O 2.60; CaO 1.82; MgO 0.39; Fe_2O_3 2.00; Al_2O_3 14.24; SiO_2 61.85; H_2O 14.47. Эмпирическая формула минерала (здесь и далее по гейландиту-На – расчет на 72 атома О и 22 молекулы H_2O) имеет вид $(\text{Na}_{2.33}\text{K}_{1.51}\text{Ca}_{0.89}\text{Mg}_{0.27})_{5.00}(\text{Si}_{28.21}(\text{Fe}_{0.69}\text{Al}_{7.65}))\text{O}_{72} \cdot 22\text{H}_2\text{O}$.

В метавулканитах Пуццолановой бухты встречены прожилки тонковолокнистого морденита молочно-белого до светло-розового цвета в ассоциации с более ранними по времени образования радиально-пластинчатыми полупрозрачными светло-кремовыми сферолитами с перламутровым блеском диаметром до 5 мм, которые оказались гейландитом-Са с зонами гейландита-На. Химический состав гейландита-На (мас.%): Na_2O 2.78; K_2O 2.67; CaO 2.46; Al_2O_3 13.45; SiO_2 64.07; H_2O 14.57. Эмпирическая формула минерала имеет вид $(\text{Na}_{2.44}\text{K}_{1.54}\text{Ca}_{1.19})_{5.17}(\text{Si}_{29.02}\text{Al}_{7.18})\text{O}_{72} \cdot 22\text{H}_2\text{O}$.

В бухте Средняя Сердоликовая гейландит-На образует тонкие прожилки в трещинах темно-зеленых миндалекаменных метавулканитов, которые состоят из кирпично-красных радиально-пластинчатых сферолитов размером до 1 мм (рис. 2). Гейландит-На Средней Сердоликовой бухты содержит (мас.%) Na_2O 2.59; K_2O 1.60; CaO 4.18; Al_2O_3 15.00; SiO_2 62.08; H_2O 14.55. Эмпирическая формула минерала $(\text{Na}_{2.28}\text{Ca}_{2.03}\text{K}_{0.93})_{5.24}(\text{Si}_{28.16}\text{Al}_{8.02})\text{O}_{72} \cdot 22\text{H}_2\text{O}$. По данным монокристалльной рентгеновской съемки минерал моноклинный, параметры элементарной ячейки: $a = 15.831(3)\text{\AA}$, $b = 17.897(6)\text{\AA}$, $c = 7.415(3)\text{\AA}$, $\beta = 91.64(2)^\circ$, $V = 2100(1)\text{\AA}^3$.



Рис. 2. Гейландит-Na (сферолиты красного цвета). Средняя Сердоликовая бухта. Образец 7.5x7.5x3.3 см

В трещинах метавулканитов ущелья Гяур-Бах встречена сферолитовая корка, сложенная белыми, с шелковистым блеском, радиально-тонковолокнистыми сферолитами морденита диаметром до 5 мм в ассоциации со светло-сиреневатыми полупрозрачными мозаично-блочными кристаллами размером до 1 см, которые представляют собой гейландит-Са с зонами гейландита-Na.

Его химический состав (мас.%) Na_2O 2.99; K_2O 0.45; CaO 4.91; Fe_2O_3 0.59; Al_2O_3 16.37; SiO_2 60.16; H_2O 14.52. Эмпирическая формула минерала $(\text{Na}_{2.64}\text{Ca}_{2.39}\text{K}_{0.26})_{5.29}(\text{Si}_{27.35}(\text{Fe}_{0.20}\text{Al}_{8.77}))\text{O}_{72} \cdot 22\text{H}_2\text{O}$.

Таким образом, серия гейландита на Карадаге представлена двумя минеральными видами: гейландитом-Са и гейландитом-Na. Визуально эти минералы между собой не различимы.

Клиноптилолит (серия) – объединяет три минеральных вида: клиноптилолит-Са $\text{Ca}_3(\text{Si}_{30}\text{Al}_6)\text{O}_{72} \cdot 20\text{H}_2\text{O}$, клиноптилолит-К $\text{K}_6(\text{Si}_{30}\text{Al}_6)\text{O}_{72} \cdot 20\text{H}_2\text{O}$, клиноптилолит-Na $\text{Na}_6(\text{Si}_{30}\text{Al}_6)\text{O}_{72} \cdot 20\text{H}_2\text{O}$, которые различаются по составу внекаркасных катионов. Визуально эти минералы неразличимы между собой и также между минералами серии гейландита.

Химически не изученный минерал серии клиноптилолита отмечен на г. Святая, где он был обнаружен в виде таблитчатых кристаллов размером до 0.2 мм в составе кварц-клиноптилолит-морденитовых псевдоморфоз по включениям вулканического стекла в обломках вулканогенных пород в трассах и в перекристаллизованных участках самих трассов в ассоциации с кварцем и морденитом (Тищенко, 2015).

Нами на Карадаге минералы группы клиноптилолита диагностированы в метавулканитах скалы Шапка Мономаха (клиноптилолит-Са) и над Пуццолановой бухтой (клиноптилолит-Са и клиноптилолит-Na).

В миндалекаменных метавулканитах Шапки Мономаха клиноптилолит-Са образует прожилки до 2 мм, состоящие из тесно сросшихся, кирпично-красных радиально-пластинчатых сферолитов диаметром до 2 мм (рис. 3). Минерал содержит (мас. %) Na_2O 0.73; K_2O 0.50; CaO 5.01; Al_2O_3 12.38; SiO_2 67.73; H_2O 13.65. Эмпирическая формула (здесь и далее для клиноптилолитов – расчет на 72 атома О и 20 молекул H_2O): $(\text{Ca}_{2.36}\text{Na}_{0.62}\text{K}_{0.28})_{3.26}(\text{Si}_{29.78}\text{Al}_{6.41})\text{O}_{72} \cdot 20\text{H}_2\text{O}$. Параметры элементарной ячейки: $a = 17.253(6)\text{Å}$, $b = 18.025(6)\text{Å}$, $c = 7.396(2)\text{Å}$, $\beta = 113.69(3)^\circ$, $V = 2106(1)\text{Å}^3$.



Рис. 3. Клиноптилолит-Са (сферолиты красного цвета). Шапка Мономаха. Образец 6.2x4.8x3.3 см.

В миндалекаменных метавулканитах осыпей над Пуццолановой бухтой, в ассоциации с радиально-волокнистым морденитом, обнаружены бесцветные прозрачные пластинчатые кристаллы высоконатриевого клиноптилолита-Са с зонами высококальциевого клиноптилолита-На.

Клиноптилолит-Са содержит (мас. %) Na_2O 2.69; CaO 5.76; Al_2O_3 12.82; SiO_2 65.24; H_2O 13.49. Эмпирическая формула $(\text{Ca}_{2.74}\text{Na}_{2.32})_{5.06}(\text{Si}_{29.01}\text{Al}_{6.72})\text{O}_{72}\cdot 20\text{H}_2\text{O}$.

Клиноптилолит-На содержит (мас. %) Na_2O 3.37; CaO 4.58; Al_2O_3 12.14; SiO_2 66.38; H_2O 13.53. Его эмпирическая формула $(\text{Na}_{2.90}\text{Ca}_{2.18})_{5.08}(\text{Si}_{29.43}\text{Al}_{6.34})\text{O}_{72}\cdot 20\text{H}_2\text{O}$.

Таким образом, минералы серии клиноптилолита на Карадаге представлены клиноптилолитом-Са и клиноптилолитом-На.

Стеллерит $\text{Ca}_4(\text{Si}_{28}\text{Al}_8)\text{O}_{72}\cdot 28\text{H}_2\text{O}$ – впервые в Крыму обнаружен в вулканогенных породах г. Хыр (Юго-Западный Крым), где был описан как стильбит (Гринев, 1926). Как стеллерит минерал определен и описан позднее (Супрычев, 1968). Стеллерит г. Хыр встречается в виде мономинеральных прожилков или выполняет центральные части гидротермальных жил толщиной до 15 см в ассоциации с пиритом, кварцем, кальцитом, пренитом, датолитом, марказитом и другими минералами. Образует пластинчатые кристаллы с гранями форм $\{111\}$, $\{010\}$, $\{110\}$, $\{001\}$, $\{100\}$, чаще – расщепленные кристаллы, чешуйчатые или розетковидные агрегаты, сферолиты диаметром до 2 см. Химический состав (мас. %, содержание H_2O рассчитано по стехиометрии): SiO_2 58.60, Al_2O_3 16.54, CaO 8.26, H_2O 18.11, сумма 101.51. Эмпирическая формула (расчет на 72 атома О и 28 молекул H_2O) $\text{Ca}_{4.10}(\text{Si}_{27.17}\text{Al}_{9.04})\text{O}_{72}\cdot 28\text{H}_2\text{O}$.

На Карадаге стеллерит диагностирован нами в нескольких местах береговых склонов хребтов Карагач, Хоба-Тепе и Магнитный. Визуально стеллерит неотличим от встречающегося здесь же стильбита. В целом, в трещинах метавулканитов стеллерит образует друзы полупрозрачных, от бесцветных до желтоватых или розоватых, пластинчатых мозаично-блочных кристаллов размером до 1 см. Более редки его радиально-пластинчатые дискоферолиты диаметром до 4 см, сферолиты до 1 см и сноповидные агрегаты. На хорошо ограненных кристаллах стеллерита развиты грани форм $\{111\}$, $\{010\}$ и $\{001\}$.

В трещинах метавулканитов хребта Карагач (склоны над Пуццолановой бухтой) стеллерит встречается в тонких трещинах в виде бесцветных, полупрозрачных радиально-пластинчатых дискоферолитов диаметром до 4 см (рис. 4). Химический состав минерала (мас. %, среднее по двум анализам; здесь и далее по стеллериту – содержание H_2O рассчитано по стехиометрии): SiO_2 58.32, Al_2O_3 15.16, CaO 8.06, H_2O 17.74, сумма 99.28. Эмпирическая формула (здесь и далее по стеллериту – расчет на 72 атома О и 28 молекул H_2O) $\text{Ca}_{4.09}(\text{Si}_{27.61}\text{Al}_{8.46})\text{O}_{72}\cdot 28\text{H}_2\text{O}$.



Рис. 4. Дискосферолиты стеллерита диаметром 4 см. Карагач (хребет), склоны над Пуццолановой бухтой. Образец 11.5x11.6x4.5 см.

В трещинах метавулканитов «Мертвого города» на хребте Хоба-Тепе стеллерит встречен в тонких трещинах в виде бесцветных, полупрозрачных радиально-пластинчатых дискосферолитов диаметром до 2 см. Химический состав минерала следующий (мас.%): SiO₂ 59.49, Al₂O₃ 16.25, CaO 6.25, H₂O 18.01. Эмпирическая формула Ca_{3.12}(Si_{27.74}Al_{8.93})O₇₂·28H₂O.

В ущелье Гяур-Бах, в пустотах стеллерит-кварцевых жил среди метавулканитов, стеллерит образует сростки полупрозрачных пластинчатых кристаллов размером до 1 см, на которые нарастают прозрачные кристаллы кварца (горный хрусталь) размером до 5 мм (рис. 5). Химический состав минерала (мас.%): SiO₂ 59.77, Al₂O₃ 14.85, CaO 7.44, H₂O 17.94. Эмпирическая формула Ca_{3.73}(Si_{27.99}Al_{8.19})O₇₂·28H₂O.



Рис. 5. Стеллерит-кварцевая жила. Гяур-Бах (ущелье). Образец 4.2x3.8x2.7 см.

В трещинах метавулканитов хребта Магнитный (склоны примерно над Плойчатым мысом) стеллерит встречен в виде друз пластинчатых мозаично-блочных кристаллов размером до 1 см. Химический состав минерала (мас.%): SiO₂ 57.63, Al₂O₃ 14.83, CaO 9.81, H₂O 17.73. Эмпирическая формула Ca_{4.98}(Si_{27.30}Al_{8.28})O₇₂·28H₂O.

На хребте Магнитном, в ~200 м ниже и ~20 м восточнее скалы Сфинкс, в метавулканитах встречена система гидротермальных жил. Стеллерит здесь образует друзы расщепленных кристаллов размером до 1 см. На кристаллы стеллерита нарастает мелкопластинчатый стильбит-Са. Химический состав стеллерита (мас.%): SiO₂ 58.84, Al₂O₃ 13.87, CaO 9.52, H₂O 17.77. Эмпирическая формула Ca_{4.82}(Si_{27.80}Al_{7.72})O₇₂·28H₂O.

Отметим, что стеллерит визуально не отличим от встречающихся в тех же местонахождениях минералов группы стильбита. После диагностики стеллерита в наших сборах 2016 г. было проведено ревизионное изучение образцов, записанных как «стильбит» в коллекцию одного из авторов (Тищенко А.И.). Образцы из метавулканитов ущелья Гяур-Бах (сбор: 1986 г., Полканов Ю.А.) и Пуццолановой бухты (сбор: 1997 г., Тищенко А.И.) также по результатам микронзондового анализа оказались стеллеритом.

Таким образом, можно сделать вывод, что стеллерит на Карадаге является достаточно распространенным цеолитом.

Стильбит (серия) – в серии стильбита выделяют баррерит $\text{Na}_2(\text{Al}_2\text{Si}_7)\text{O}_{18} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, стеллерит $\text{Ca}_4(\text{Si}_{28}\text{Al}_8)\text{O}_{72} \cdot 28\text{H}_2\text{O}$, стильбит-Са $\text{NaCa}_4(\text{Si}_{27}\text{Al}_9)\text{O}_{72} \cdot 28\text{H}_2\text{O}$, стильбит-На $\text{Na}_9(\text{Si}_{27}\text{Al}_9)\text{O}_{72} \cdot 28\text{H}_2\text{O}$. Стильбит является одним из наиболее распространенных цеолитов на Карадаге (Тищенко, 2009, 2015). Стильбит обычно встречается в виде мономинеральных прожилков мощностью до 15 см белого, серовато-белого, желтоватого цвета, сложенных тесно сросшимися, расщепленными кристаллами. На стенках трещин в вулканических породах образует друзы молочно-белых или желтоватых полупрозрачных или прозрачных пластинчатых кристаллов размером до 3 см, реже розоватых кристаллов до 2 см (бухта Сердоликовая). Кристаллы представляют собой двойники прорастания по базопинакюиду, на кристаллах констатированы грани форм $\{100\}$, $\{010\}$, $\{001\}$, $\{111\}$, $\{110\}$, $\{032\}$, $\{011\}$, $\{101\}$, кристаллы таблитчатые по (010). По данным известных химических анализов, минерал представлен стильбитом-Са.

Стильбит-На встречен нами в составе полиминеральных сферолитов яблочно-зеленого цвета в метавулканитах хребта Карагач (осыпи ~300 м восточнее скал «Короли»). Сферолиты сложены тесным срастанием морденита, стильбита-На и стильбита-Са (рис. 6). Стильбит-На высококальциевый, содержит (мас.%, содержание H_2O рассчитано по стехиометрии): Na_2O 2.64; MgO 0.56; K_2O 0.62; CaO 3.61; MnO 0.06; Fe_2O_3 1.34; Al_2O_3 12.65; SiO_2 61.23; H_2O 17.97; сумма 100.68.



Рис. 6. Сферолиты зеленого цвета, состоящие из тонкого срастания морденита, стильбита-На и стильбита-Са. Карагач (хребет). Поле зрения 1x1 см.

Эмпирическая формула минерала (расчет на 72 атома О и 28 молекул H_2O) имеет вид $(\text{Na}_{2.39}\text{Ca}_{1.81}\text{Mg}_{0.39}\text{K}_{0.37}\text{Mn}_{0.02})_{4.98}(\text{Si}_{28.62}(\text{Fe}_{0.47}\text{Al}_{6.97}))\text{O}_{72} \cdot 28\text{H}_2\text{O}$.

Эрионит (группа) – включает в себя эрионит-Са $\text{Ca}_5(\text{Si}_{26}\text{Al}_{10}\text{O}_{72}) \cdot 30\text{H}_2\text{O}$, эрионит-На $\text{Na}_{10}(\text{Si}_{26}\text{Al}_{10}\text{O}_{72}) \cdot 30\text{H}_2\text{O}$ и эрионит-К $\text{K}_{10}(\text{Si}_{26}\text{Al}_{10}\text{O}_{72}) \cdot 30\text{H}_2\text{O}$.

Эрионит-К известен на Карадаге, в метавулканитах хребтов Карагач и Магнитный (Супрычев, Прохоров, 1986). Минерал образует расщепленные кристаллы, сферокристаллы, радиально-лучистые агрегаты от салатно- до темно-зеленого цвета

размером до 2 см в поперечнике на плоскостях отдельности и в пустотах пород. Ассоциирует с халцедоном, опалом, стильбитом, селадонитом, кальцитом, шабазитом.

В трещинах и пустотах в миндалекаменных метавулканитов осыпей склонов морской экспозиции на хр. Карагач, в ~ 300 м восточнее скал «Короли», нами встречены полиминеральные радиально-лучистые сферолиты и их сростки темно-зеленого цвета, некоторые из которых оказались тесным срастанием трех минералов серии эрионита – эрионита-Са, эрионита-К и эрионита-На (рис. 7). Находка эрионита-Са и эрионита-На на Карадаге являются первыми.



Рис. 7. Сферолиты зеленого цвета, состоящие из тесного срастания эрионита-Са, эрионита-К и эрионита-На. Карагач (хребет). Поле зрения 1x1 см.

Химический состав эрионита-Са (мас.%, среднее по трем анализам): MgO 0.37, Na₂O 1.34, K₂O 3.24, CaO 4.20, Fe₂O₃ 0.91, Al₂O₃ 14.78, SiO₂ 56.57; H₂O 18.59. Эмпирическая формула эрионита-Са (здесь и далее по эрионитам - расчет на 72 атома О и 30 молекул H₂O) (Ca_{2.18}K_{2.00}Na_{1.26}Mg_{0.27})_{5.71}(Si_{27.39}(Fe_{0.33}Al_{8.43}))O₇₂·30H₂O.

Химический состав эрионита-К (мас.%, среднее по двум анализам): MgO 0.89, Na₂O 1.84, K₂O 2.99, CaO 3.27, Fe₂O₃ 0.60, Al₂O₃ 15.13, SiO₂ 56.62; H₂O 18.65. Эмпирическая формула эрионита-К (K_{1.84}Na_{1.72}Ca_{1.69}Mg_{0.64})_{5.89}(Si_{27.32}(Fe_{0.22}Al_{8.60}))O₇₂·30H₂O.

Химический состав эрионита-На (мас.%, среднее по двум анализам): Na₂O 3.19, K₂O 1.89, CaO 3.77, Fe₂O₃ 0.57, Al₂O₃ 14.91, SiO₂ 57.01; H₂O 18.67. Эмпирическая формула эрионита-На (Na_{2.98}Ca_{1.95}K_{1.16})_{6.09}(Si_{27.48}(Fe_{0.21}Al_{8.47}))O₇₂·30H₂O.

Инфракрасный спектр минерала типичен для группы эрионита. Основные линии рентгенограммы: 11.55 (сильная), 9.09, 7.49 (сильная), 6.62 (сильная), 6.31, 5.73, 5.37, 4.98, 4.58 (сильная), 4.35, 4.16, 3.75 (сильная), 3.57 (очень сильная), 3.30, 3.15, 2.84 (очень сильная), 2.64, 2.50, 1.88 также характерны для минералов группы эрионита.

Выводы

Описаны находки новых для Карадага минералов группы цеолитов: гейландита-На, клиноптилолита-Са, клиноптилолита-На, стеллерита, стильбита-На, эрионита-Са, эрионита-На. Дальнейшее изучение цеолитов Карадага может привести к увеличению числа известных здесь минералов этой интересной группы. Разнообразие цеолитов – 27 минеральных видов – представляет собой значительный минералогический «вес» в значении Карадага как в том числе и минералогического памятника природы Крыма.

Предполагается, что гидротермальное образование в метавулканитах Карадага связано с низкоградным метаморфизмом вулканических пород. Установленная ранее нами

и другими исследователями (мезолит по сколециту, натролит по мезолиту и др.) смена минеральных видов в некоторых визуально однотипных кристаллах и агрегатах кристаллов цеолитов связана или с катионным обменом между самими цеолитами или изменением параметров минералообразующих растворов в процессе эпигенетического зеленокаменного изменения вулканогенных пород.

Список литературы

1. *Гринев В.Я.* Минералы горы Хыр на южном берегу Крыма // Труды Крымского НИИ. – 1926. – Т. 1. – Вып. 1. – С. 21–26.
2. *Попов С.П.* Геологические исследования на Карадаге, Аю-Даге и Чатырдаге. Годичный отчет МОИП за 1898 – 1899 гг. // Bull. Soc. Imper. des Natur. de Moscou. – 1898. – № 2–3. – Р. 114.
3. *Спиридонов Э.М., Федоров Т.О., Ряховский В.М.* Магматические образования Горного Крыма. Статья 1. // Бюлл. МОИП. Отд. геол. – 1990. – Т. 65. – № 4. – С. 119–134.
4. *Супричов В.А.* Нові дані про гейландит з магматичних порід Криму // Допов. АН УРСР. – Сер. Б. – 1968. – № 9. – С. 800–804.
5. *Супричев В.А.* Стеллерит из вулканогенного комплекса Хыр – Пиляки (Горный Крым) // Докл. АН УССР. Сер. Б. – 1968. – № 1. – С. 72–75.
6. *Супрычев В.А.* Прогнозная оценка территории Крыма на цеолиты и перспективы их использования в народном хозяйстве // Проблемы географии Крыма. – Симферополь, 1971. – С. 16–20.
7. *Супрычев В.А., Прохоров И.Г.* Эрионит из кератофировых вулканитов Карадагского заповедника в Крыму // Минералог. сб. Львов. ун-та. – 1968. – № 40. – Вып. 1. – С. 85–88.
8. *Тищенко А.И.* Минералы Карадага (краткий аннотированный обзор) // Карадаг-2009. Сборник научных трудов, посвященный 95-летию Карадагской научной станции и 30-летию Карадагского природного заповедника Национальной академии наук Украины. – 2009. – С. 557–750.
9. *Тищенко А.И.* Минералы Крыма. – Симферополь: Бизнес-Информ, 2015. – 403 с.
10. *Шкабара М.Н.* Новые данные по цеолитам Крыма // Труды ИГН АН СССР, минерал.-геохим. серия. – 1940. – Вып. 31 – № 6. – С. 63–64.
11. *Шкабара М.Н.* Минералогия крымских и некоторых кавказских месторождений цеолитов. Дисс. на соискание научной степени доктора геолого-минералог. наук. – Харьков, 1951. – 451 с.

NEW FINDINGS MINERALS OF ZEOLITE GROUP IN KARADAG

Tishchenko A.I.¹, Kasatkin A.V.², Shibaev E.A.³

¹*V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation,*

TishchenkoAlex@rambler.ru

²*Fersman Mineralogical museum Russian Academy of Science, Moscow, Russian Federation*

³*LLC Firm «VESS», Sebastopol, Russian Federation*

The paper reports on the first find of several minerals of Zeolite group in Karadag – heulandite-Na, clinoptilolite-Ca, clinoptilolite-Na, stellerite, stilbite-Na, erionite-Ca, erionite-Na. The above minerals were identified by microprobe analysis, X-ray diffraction and infrared spectroscopy. Data on their morphology, chemical composition and paragenesis are given.

Key words: Karadag, zeolite group, heulandite-Na, clinoptilolite-Ca, clinoptilolite-Na, stellerite, stilbite-Na, erionite-Ca, erionite-Na.

Поступила в редакцию 13.04.2017 г.