

4. *Глаголева М. А.* Формы миграции элементов в речных водах // Докл. АН СССР.— 1958.— Т. 121, № 6.— С. 1050—1055.
5. *Голева Г. А., Быкова Е. Л., Воробьева И. Н.* Распространение и формы миграции меди в подземных водах // Геохимия.— 1968.— № 5.— С. 586—594.
6. *Демина Л. Л.* Формы миграции тяжелых металлов в океане.— М.: Наука, 1982.— 117 с.
7. *Ионы металлов в биологических системах* / Под ред. Х. Зигеля.— М.: Мир, 1982.— 168 с.
8. *Лейте В.* Определение органических загрязнений питьевых, природных и сточных вод.— М.: Химия, 1975.— 200 с.
9. *Линник П. М., Набиванец Б. И.* Определение различных форм ионов металлов в природных водах // Гидробиол. журн.— 1977.— Т. 13, № 1.— С. 103—110.
10. *Неорганическая биохимия* / Под ред. Г. Эйхгорна.— М.: Мир, 1979.— 956 с.
11. *Нечипоренко Г. Н.* К вопросу о роли органического вещества при определении МЭ в природных водах // Гидрохимические материалы.— 1959.— Т. 28.— С. 165—169.
12. *Соколов И. Ю.* Таблицы и номограммы для расчета результатов химических анализов природных вод.— М.: Недра, 1974.— 160 с.
13. *Состав и свойства минеральной воды «Нафтуса»* / Под ред. Б. Е. Есипенко.— Киев: Наук. думка, 1978.— 158 с.
14. *Уильямс Д.* Металлы жизни.— М.: Мир, 1975.— 236 с.
15. *Хайлов К. М.* Об органических макромолекулах, растворенных в морской воде // Геохимия.— 1968.— № 5.— С. 595—603.

Ин-т геол. наук АН УССР, Киев

Статья поступила
06.06.84
После исправления
15.11.87

УДК 541:551.444

Кальцитовые жилы Горного Крыма как индикатор его палеогидрогеологических условий

В. Н. Дублянский, Ю. В. Дублянский

При реконструкции палеогидрогеологии Горного Крыма до последнего времени применялся только метод, основанный на использовании данных по истории геологического развития этого района [5, 6]. Установлено, что элизионный этап формирования водонапорной системы Горного Крыма завершился в валанжине; в готериве, вследствие полного обращения геотектонического режима, она вступила в инфильтрационный этап. С этого времени Горный Крым представлял собой поднятие, лишь временами и неповсеместно заливаемое морем. В конце раннего баррема произошла сильная регрессия и началось вытеснение морских вод из толщи известняков. В конце баррема — апте мегантиклинорий испытал кратковременное опускание, в апте — альбе — поднятие. Во время сеноман-туронской трансгрессии горное сооружение вновь было покрыто морем и в виде островов выступали только наиболее высокие его части. Со второй половины позднемиоценовой эпохи Горный Крым испытывал непрерывные поднятия, особенно усилившиеся в меотическое и понтическое время. Лишь в период сарматской трансгрессии море покрыло часть северного склона Крымских гор. На фоне этих поднятий происходило вытеснение морских вод пресными инфильтрационными. В плиоцене сформировалась мощная (до 1 км по вертикали) зона интенсивного водообмена и создались гидрогеологические условия, сходные с современными.

В настоящее время разработаны и другие методы палеогидрогеологических реконструкций [22]. Весьма информативно изучение следов геологической деятельности подземных вод: карстовых полостей и их заполнителя, жильных образований, гидроминеральных отложений и пр. [20].

Привлечение для палеогидрогеологических реконструкций карстологических данных позволило существенно детализировать представ-

ления о развитии водонапорной системы Горного Крыма [7, 8]. Формирование водоносных систем, начавшись в раннем плиоцене, продолжалось в среднем, позднем плиоцене и в антропогене. За это время образовались глубокие (300—500 м) карстовые шахты и протяженные (до 14 км длиной) пещеры, которые дренировали значительные площади карстовых массивов и переориентировали подземный сток к основным фокусам субтерральной и субмаринной разгрузки. Анализ заполнителя карстовых полостей показал, что их абсолютное большинство сформировано холодными (температура ниже 20°C) водами. Вместе с тем были обнаружены полости, морфологические особенности которых (шаровидность, наличие одного зала, напоминающего перевернутую чашу и пр.) нельзя объяснить с точки зрения существующих гипотез спелеогенеза.

Значительно слабее изучены и практически не использовались при палеогидрогеологических реконструкциях жильные образования и гидроминеральные отложения Горного Крыма. Между тем даже имеющиеся единичные данные позволяют заключить, что он был ареной довольно активной и одновременной гидротермальной деятельности. Так, в аргиллитах, алевролитах и песчаниках нижнего структурного этажа Крымских гор зафиксированы низкотемпературные (менее 220°C) изменения пород в зонах дробления: окварцевание, диккитизация, алушитизация, пиритизация, кальцитизация [2], а также каолинитизация [21]. В раннеюрских вулканитах Лозовского массива обнаружены кристаллы кварца с температурой образования около 360°C [1]. В диабазовых порфиритах мыса Ифигении найдены жеоды кварца и кальцита с включениями битумов и воды, формирование которых происходило при температурах 280—75°C [4]. На Веселовском, Туакском, Лозовском и других проявлениях ртути выявлен комплекс сопутствующих киновари низкотемпературных гидротермальных минералов [18]. При проходке Ялтинского гидротоннеля в верхнеюрских известняках, песчаниках и конгломератах обнаружены прожилки ангидрита с температурой образования свыше 97°C [23]. При изучении кальцитопоявлений выяснилось, что температуры гомогенизации составляют: для жильного кальцита Байдарского проявления — 55—60, Судакского — 75—100, Кагельского — 177—185 [15], для исландского шпата Чатырдагского проявления — 50—55°C [25].

Все это побудило авторов провести в 1980—1985 гг. специальные работы по изучению условий образования кальцитовых жил карстовых массивов Горного Крыма [10—14]. Было отобрано более 600 образцов из кальцитовых жил Байдарского, Форосского, Парагильменского, Чатырдагского, Енисальского, Карабийского, Веселовского, Алчакского и Трудолюбивского участков. Их подвергли химическому, спектральному, люминесцентному анализам, а также исследовали методами термобарогеохимии. Кроме того, изучались взаимоотношения кальцитовых жил с вмещающими известняками, карстовыми полостями и их заполнителем (карбонатные натёки, глинистые отложения).

Мощность кальцитовых жил карстовых массивов достигает первых десятков метров, протяженность по простиранию — до 1 км, по падению — до 200 м (установлено при прохождении естественных карстовых шахт, которые их вскрывают). Жилы, как правило, субвертикальные, зонального строения. Кальцит в них крупнокристаллический, молочно-белый, непрозрачный. В осевых частях жил встречаются иногда прозрачные разности. В раздувах жил и в полостях растворения, выполненных остаточной красной глиной, обнаружены скаленоэдрические кристаллы исландского шпата размерами до 40 см.

Химический состав жильных кальцитов близок к теоретическому, однако более высокотемпературные разности характеризуются несколько повышенным содержанием Mn, Mg, Fe. По данным спектрального анализа, высокими (до 20) кларками концентрации характеризуются только Cu, Ba, Sn, Ni, иногда Sr. Кальциты слабо люминесцируют в

синем, фиолетовом, иногда — желтом цветах. Таким образом, жильные кальциты Крыма в целом являются геохимически чистыми.

Физико-химические условия растворов, сформировавших кальцитовую минерализацию, изучались методами термобарогеохимии (гомогенизации и криометрии). Статистический анализ показал, что условия формирования кальцитовых жил Горного Крыма были неоднородными. Высокотемпературную группу (101 определение, $t_{cp}=161^{\circ}\text{C}$, $C_v=0,29$) составляют кальцитопоявления, территориально близкие к крупным центрам вулканизма или интрузиям (Карадаг, Аюдаг, Кастель, Бодрак). В низкотемпературную группу (473 определения, $t_{cp}=61^{\circ}\text{C}$, $C_v=0,21$) входят кальцитопоявления в пределах крупных карстовых массивов. Более детальное изучение кальцитов низкотемпературной генерации позволило выделить среди них шесть подгрупп, характеризующихся средними значениями температуры (t_{cp}), доверительными пределами их изменения ($\pm 2\sigma$) и частотой встречаемости (%): I — $77,2^{\circ} \pm 4,4^{\circ}$ (12,5 %); II — $69,4^{\circ} \pm 3,8^{\circ}$ (19,0 %); III — $61,3^{\circ} \pm 5,2^{\circ}$ (27,5 %); IV — $51,3^{\circ} \pm 4,6^{\circ}$ (26,5 %); V — $42,2^{\circ} \pm 4,4^{\circ}$ (12,6 %); VI — $32,5^{\circ} \pm 4,0^{\circ}\text{C}$ (1,9 %). Их формирование связано с тектоническими подвижками, во время которых происходило раскрытие трещин, и постепенным охлаждением минералообразующих растворов.

Солевой состав растворов характеризовался наличием систем $\text{NaCl—KCl—H}_2\text{O}$, $\text{CaCl}_2\text{—NaCl—H}_2\text{O}$, $\text{NaCl—H}_2\text{O}$. Отмечена тенденция к упрощению водно-солевого состава (до $\text{NaCl—H}_2\text{O}$) и уменьшению концентрации раствора по мере снижения его температуры (от 25,0 до 1,5 % для жильного кальцита и до 0 % для исландского шпата).

Можно считать установленным, что в Горном Крыму существовала гидротермальная система, результатом функционирования которой явилось формирование многочисленных кальцитовых жил в верхнеюрских известняках. Выявлена парагенетическая связь между кальцитовой минерализацией и сферическими карстовыми полостями, вскрытыми обрывами Главной гряды или глубокими (100—200 м) карстовыми шахтами. Это породило гипотезу о существовании в развитии карста Горного Крыма двух этапов: гидротермального и холодного [12].

Для проверки такой гипотезы разработана генетическая модель гидротермокарстового процесса, включающего формирование полостей растворения и образование кальцитовых жил. В ее основу положены современные представления о физической химии гидротермальных систем с углекислотой [17] и данные о реальных физико-химических параметрах гидротермальных растворов Горного Крыма [10]. Представим себе находящийся в стационарном восходящем движении поток раствора, насыщенный по всей протяженности CO_2 , с температурой, изменяющейся от 225°C на глубине 3000 м до $100\text{—}25^{\circ}\text{C}$ у земной поверхности. Растворимость кальцита по потоку, при учете падения давления с уменьшением глубины, будет изменяться соответственно графику (рис. 1). На большей части пути движения раствора к земной поверхности растворимость кальцита повышается, что приводит к формированию полостей растворения. С глубины 500—250 м (в зависимости от температурных параметров раствора) происходит резкое снижение растворимости кальцита, что приводит к отложению карбонатного материала. Таким образом, в любом карстовом массиве, через который движутся гидротермальные растворы, существуют две физико-химические зоны: растворения и отложения.

В начале гидротермокарстового этапа в зоне растворения образуются полости различной конфигурации и размеров, а в зоне отложения по тектоническим нарушениям формируются кальцитовые жилы (рис. 2, А). В середине этапа в результате тектонических поднятий верхняя часть кальцитовых жил срезается денудацией, а сформированные ранее гидротермокарстовые полости как бы «вдвигаются» в зону отложения. Это приводит к образованию в них кристаллов исландского шпата (рис. 2, Б). На холодном этапе высоко приподнятый горный массив промывается инфильтрационными водами. Под их воздействием обра-

зуются поверхностные и подземные карстовые формы, вскрывающие гидротермальные полости с кальцитовой минерализацией или без нее (рис. 2, В). Для оценки времени образования гидротермокарстовых полостей и их отложений данных пока немного. Полости растворения сформированы в консолидированных верхнеюрских карбонатных породах. Анализ литературы о тектонических нарушениях, к которым обычно приурочены как полости, так и кальцитовые жилы, показывает, что

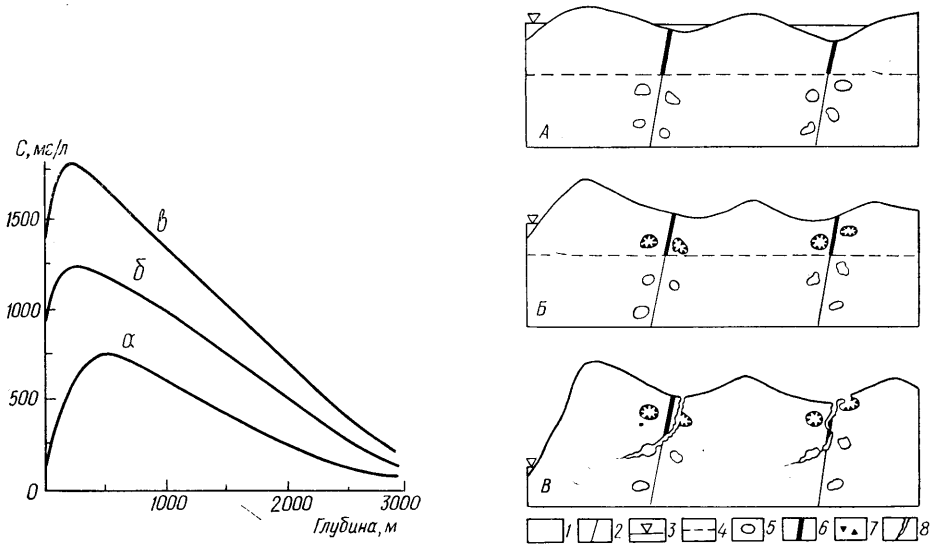


Рис. 1. Растворимость CaCO_3 на разных уровнях гидростатического столба термальных вод, насыщенных углекислотой (по С. Д. Малинину [17]):

а — при температуре 225—100 °С, б — 225—50, в — 225—25

Рис. 2. Схема образования, заполнения и вскрытия гидротермокарстовых полостей Горного Крыма

Геологическое время: А — K_2 — P_1 , Б — P_2 — N_2^1 , В — N_2^1 — Q_4 ; 1 — верхнеюрские известняки; 2 — разрывные нарушения; 3 — уровень моря; 4 — граница зон растворения и отложения карбоната кальция; 5 — гидротермокарстовые полости; 6 — кальцитовые жилы; 7 — исландский шпат; 8 — холодные карстовые полости

их возраст оценивается по-разному: от позднемелового до антропогенового [1]. Однако гидротермокарстовые полости вскрыты полостями холодного карста, образование которых происходило на протяжении плиоцена — антропогена [5]. Следовательно, гидротермокарстовый этап наиболее вероятно датируется как позднемеловой — миоценовый.

Источники карсто- и минералообразующих растворов были, по-видимому, полигенными. Водно-солевой состав во включениях свидетельствует об активном участии в их формировании остаточных морских вод, отжимаемых из низов разреза. По мере промывания массивов в процессе функционирования гидротермальной системы концентрация растворов снижалась. О вероятном участии глубинных источников тепла и вещества свидетельствуют отсутствие прямой связи низкотемпературных жил с магматическими образованиями [24] и наличие в растворах хлоридов калия [19]. Более высокие температуры образования кальцитовых жил, близких к центрам вулканизма и крупным интрузиям, не находят убедительного объяснения, если принять утверждение об исключительно среднеюрском возрасте всего магматического комплекса Горного Крыма [3]. Последние исследования [16] свидетельствуют о возможности существенного «омоложения» его магматизма (до поздней юры — раннего мела). В этом случае высокотемпературные кальцитовые жилы могут явиться своеобразными индикаторами для поиска молодых интрузий.

Приведенные материалы представляют интерес не только для реконструкции палеогеографических и палеогидрогеологических условий Горного Крыма, но и для понимания особенностей гидротермокарстового процесса, изучение которого в СССР только начато.

Calcite veins of karst massifs in the Mountain Crimea originated from hydrothermal solutions at the temperature of 210°-28 °C at the Cretaceous-Miocene stage of the structure development. A model of hydrothermal karst process which includes the formation of dissolution cavities and origination of calcite veins has been developed. The data presented are of particular interest for reconstruction of paleohydrogeological environments of the Mountain Crimea.

1. Альбов С. В., Педан Л. С. Уникальные кристаллы кварца в Крыму // Природа.— 1977.— № 2.— С. 143—144.
2. Борисенко Л. С. Геологическое строение Горного Крыма в связи с проблемой прогноза сейсмической активности региона: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук.— Киев, 1982.—32 с.
3. Геология СССР: В 45 т.— М.: Недра, 1969.— Т. 8: Крым. Геологическое описание.—574 с.
4. Гигашивили Г. М., Ступка О. С., Плотников А. М. Условия миграции и эволюция углеводородных флюидов по жидким включениям углеводородов в гидротермальных минералах Крыма // Углерод и его соединения в эндогенных процессах минералообразования: Тез. докл. Республ. совещ. (Львов, сентябрь 1975 г.).— Львов, 1975.— С. 6—8.
5. Гидрогеология СССР: В 45 т.— М.: Недра, 1970.— Т. 8: Крым.— 364 с.
6. Гордиевич В. А., Куришко В. А., Лычагин Г. А. и др. Гидрогеология Крыма и перспективы его нефтегазосности.— Киев: Изд-во АН УССР, 1963.—136 с.
7. Дублянский В. Н. Карстовые пещеры и шахты Горного Крыма.— Л.: Наука, 1977.—182 с.
8. Дублянский В. Н., Кикнадзе Т. З. Гидрогеология карста Альпийской складчатой области юга СССР.— М.: Наука, 1984.—128 с.
9. Дублянский В. Н., Ломаев А. А. Карстовые пещеры Украины.— Киев: Наук. думка, 1980.—177 с.
10. Дублянский Ю. В. Физико-химические условия образования кальцитовых жил Горного Крыма // Материалы II науч. конф. молодых учен. Одес. ун-та. Сер. геология. (12—15 сент. 1981 г., Одесса).— Одесса, 1981.— С. 144—149.— Деп. в ВИНТИ 29.07.82, № 3910.
11. Дублянский Ю. В. Гидротермокарст как рудоподготовительный процесс.— Новосибирск, 1985.—18 с.— (Препр. / Сиб. отд-ние АН СССР. Ин-т геологии и геофизики; № 1).
12. Дублянский Ю. В., Дублянский В. Н. Кальцитовые жилы Горного Крыма // Проблемы изучения и использования неморских карбонатных отложений.— Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1982.— С. 8—9.
13. Дублянский Ю. В., Дублянский В. Н. Образование гидротермокарстовых полосей // Пещеры.— 1984.— № 19.— С. 37—42.
14. Дублянский Ю. В., Иванов С. В. Гидротермальные кальцитовые жилы карстовых массивов Горного Крыма.— Киев, 1985.—24 с.— Деп. в УкрНИИТИ 02.09.85., № 2023.
15. Ермаков Н. П. Исследования минералообразующих растворов.— Харьков: Изд-во Харьк. ун-та, 1950.—180 с.
16. Закономерности развития региональной тектоники Украины / Под ред. В. Г. Бондарчука.— Киев: Наук. думка, 1983.—182 с.
17. Малинин С. Д. Физическая химия гидротермальных систем с углекислотой.— М.: Наука, 1979.—110 с.
18. Мельничук В. А., Булкин Г. А. Рудопроявления ртути и перспективы поисков ее месторождений в Крыму // Закономерности размещения месторождений в платформенных чехлах.— Киев: Изд-во АН УССР, 1960.— Ч. 2.— С. 186—194.
19. Оболенский А. А. Генезис месторождений ртутной формации.— Новосибирск: Наука, 1985.—193 с.
20. Основы гидрогеологии. Геологическая деятельность и история воды в земных недрах / Под ред. Е. В. Пиннекера.— Новосибирск: Наука, 1982.—238 с.
21. Оноприенко С. К., Солдаткин А. Б. О гидротермальном глинообразовании в мезозойских осадочных породах второй гряды Крымских гор // Изв. вузов. Геология и разведка.— 1985.— № 8.— С. 129—130.
22. Подземные воды и эволюция литосферы: В 2 т. / Отв. ред. Н. В. Роговская.— М.: Наука, 1985.— Т. 1.—280 с.
23. Суприхов В. А., Шутов Ю. I. Перша знахідка гідротермального ангідриту на Україні // Допов. АН УРСР. Сер. Б.— 1967.— № 8.— С. 699—702.
24. Щеглов А. Д., Говоров Н. И. Нелинейная металлогения и глубины Земли.— М.: Недра, 1985.—326 с.
25. Щирица А. С. Сравнительная характеристика карбонатов Крыма поверхностного и глубинного генезиса // Углерод и его соединения в эндогенных процессах минералообразования: Тез. докл. Республ. совещ. (Львов, сент. 1975 г.).— Львов, 1975.— С. 71—72.