

УДК 549.74

НАТЁЧНЫЕ КАРБОНАТНЫЕ НОВООБРАЗОВАНИЯ НАБЕРЕЖНОЙ р. ТУРЫ: УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ, ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И ИНДИКАЦИОННОЕ ЗНАЧЕНИЕ

Новоселов Андрей Андреевич,
mr.andreygeo@mail.ru

Тюменский индустриальный университет,
Россия, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38.

Актуальность. Изучение процессов техногенного минералообразования является одним из динамично развивающихся направлений минералогии и геоэкологии. В настоящее время происходит постоянное увеличение числа исследований, посвященных минеральному составу образований в различных природно-антропогенных средах и технологических системах: атмосферных пылеаэрозолей, солевых отложений вод и накипей теплообменной аппаратуры и т. д. Образование натёчных форм кальцита (сталактитов, сталагмитов и карбонатных кор) на поверхности различных инженерных сооружений вследствие выщелачивания карбонатов цементного камня и их последующего переотложения является одним из наиболее распространенных видов техногенного минерогенеза. В современной литературе для обозначения подобных образований используется термин «техногенные спелеотермы». Процесс образования техногенных спелеотерм представляет интерес не только как источник информации о возможных скоростях и условиях аутигенного минералообразования, но и как потенциальный индикатор условий функционирования конкретного инженерного сооружения. Кроме того, проявления техногенного минерогенеза могут использоваться для оценки качества проведенных строительных работ и использованных строительных материалов.

Цель работы: изучение особенностей морфологии и микростроения натёчных карбонатных образований четвертого уровня набережной реки Туры в городе Тюмени для уточнения условий их формирования и возможности использования для оценки условий функционирования инженерного объекта.

Методы исследований: макроскопическое описание, мезоморфологические и микроскопические исследования натёчных карбонатных образований в прозрачных шлифах, сканирующая электронная микроскопия, рентгеноструктурный анализ.

Результаты. Комплекс натёчных карбонатных новообразований четвертого уровня набережной р. Туры представлен натёчными корами и каплевидными образованиями (сталактитами). Исследованные натёчные карбонатные формы являются сложными образованиями, формирование которых происходит в несколько этапов, что подтверждают особенности морфологии и микростроения. Карбонатные коры являются многолетним образованием, а сталактиты – однолетним или квазисезонным, что говорит в пользу высоких скоростей их образования. Формирование техногенной спелеотермы на поверхностях нового инженерного сооружения в нехарактерных для такого рода образований условиях (продуваемое, открытое пространство) свидетельствует о высокой интенсивности процессов выщелачивания карбонатов из цементного раствора, использованного при строительстве набережной. Детальная оценка масштабов образования натёчных форм кальцита позволяет выявить потенциальные риски, связанные с долгосрочным функционированием объекта.

Ключевые слова:

Натёчные формы кальцита, карбонатные коры, новообразования, техногенное минералообразование, сталактит, спелеотерма, Тюмень.

Введение

Изучение минералогии образований техногенного происхождения является одним из динамично развивающихся направлений экологической минералогии и геоэкологии [1]. Среди множества проявлений техногенного минерогенеза в инженерно-технологических системах таких, например, как накипь теплообменной аппаратуры, солевых отложений нефтепромыслового оборудования, вторичных минералов стеновых покрытий [2, 3] и др., выделяются натёчные формы кальцита (сталактитов, сталагмитов и карбонатных кор) или «техногенные спелеотермы» [4], формирующиеся при выщелачивании карбонатов цементного камня с их последующим переотложением на поверхностях объектов инфраструктуры. Техногенные спелеотермы выявлены в пределах различных искусственных сооружений, функционирующих в условиях повышенной влажности: технологических полостей, систем канализации, вентиляции и водоочистки, паттернов платин, бетонных плит мостов, подвалов старых зданий, стен, горных выработок, туннелей, фортификационных сооружений и т. д. [4–9].

Следует отметить, что, несмотря на значительное распространение подобных образований, техногенные натёчные формы кальцита относительно слабо изучены, в отличие от их природных аналогов [4]. Дискуссионными являются вопросы о возможных скоростях и условиях формирования природных и техногенных спелеотерм. Отсутствует единое мнение относительно роли микробиальных сообществ в образовании натёчных новообразований кальцита: в отдельных работах они рассматриваются как существенный фактор, ускоряющий осаждение бикарбонатов [10–13], в других формирование спелеотерм рассматривается преимущественно как абиотический процесс [14, 15].

Формирование большинства описанных в научной литературе техногенных спелеотерм происходит в замкнутых, слабо проветриваемых пространствах старых инженерных сооружений и памятников архитектуры, рассматривается в основном как источник информации для уточнения представлений о химизме, условиях и возможных скоростях процессов аутигенного минералообразования. [4, 5]. В данной работе представлены результаты

исследования техногенных натёчных форм кальцита (сталактитов и карбонатных кор) отдельных участков высоких уровней набережной р. Туры в пределах города Тюмени. Данное местонахождение не является характерным для такого рода новообразований в силу высокой степени продуваемости и сравнительно небольшого возраста инженерного сооружения. Возникновение техногенных спелеотерм в подобных условиях представляет интерес как потенциальный индикатор интенсивности процессов выщелачивания и разрушения природных строительных материалов, таких как цемент и бетон. Соответственно, проявления техногенного минерогенеза могут использоваться для оценки качества проведенных строительных работ и использованных строительных материалов.

Объекты и методы исследований

Объектами исследования послужили натёчные карбонатные образования, формирующиеся на гранитном карнизе четвертого уровня набережной реки Туры центральной части г. Тюмени (рис. 1, а–д).

Набережная р. Туры является одним из крупнейших архитектурных проектов в истории горо-

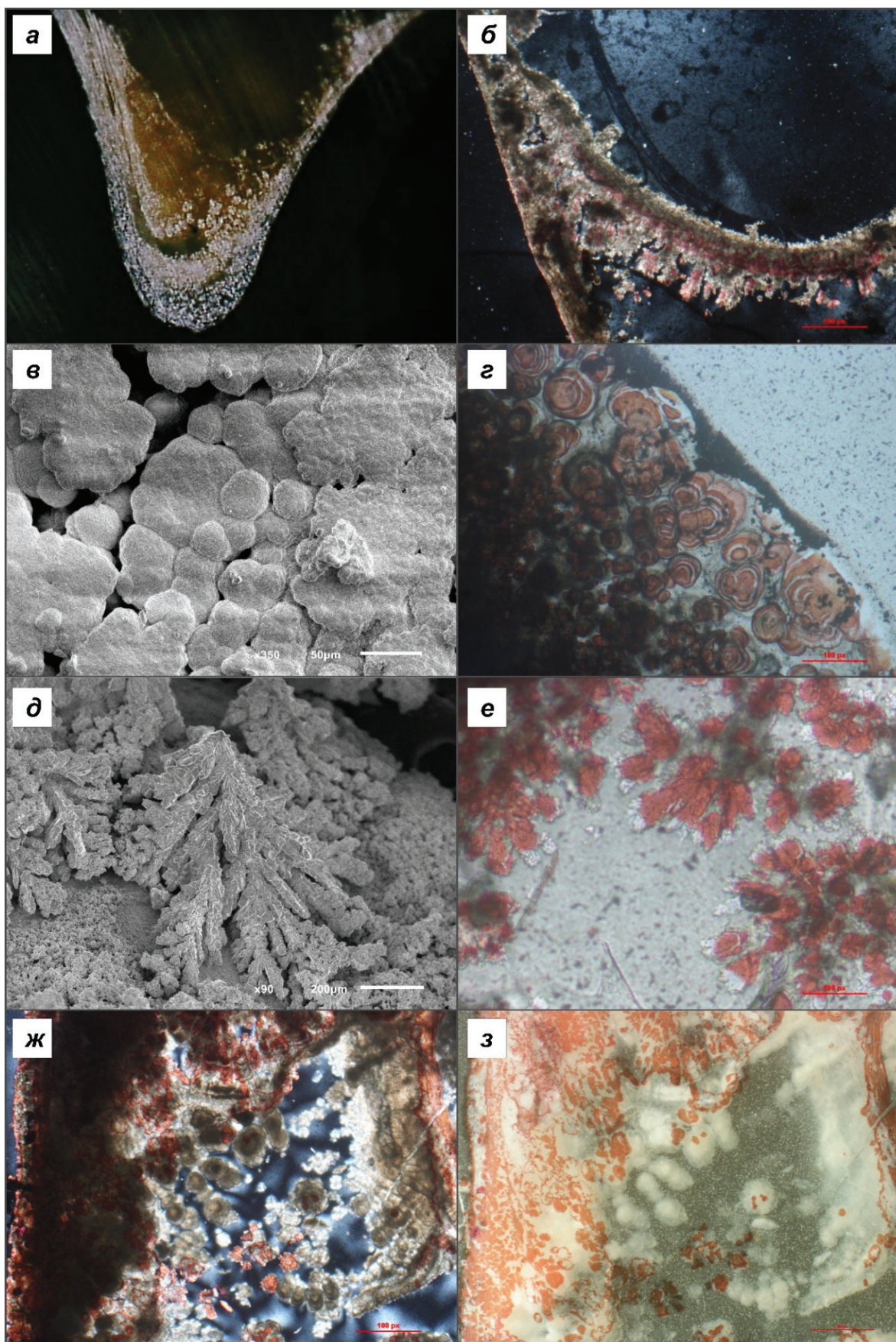
да. Предполагаемая длина всего сооружения – около 4 км; количество уровней – 4 (нижний – затопливаемый в половодье), средняя высота – 25 м (рис. 1, а). Первая очередь набережной от Свято-Троицкого мужского монастыря до Дома купца Прасолова протяженностью 2,4 км введена в эксплуатацию в 2012 г. [16]. В данный момент продолжают строительно-ремонтные работы на участках второй и третьей очередей от моста по ул. Челюскинцев до Масловского взвоза и от Моста влюбленных до устья реки Бабарынки. Большая часть набережной выполнена массивными гранитными плитами.

Образцы карбонатных новообразований и цементного камня для микроскопических и лабораторных исследований были отобраны осенью 2016 г. в пределах нескольких участков четвертого уровня набережной (ул. Володарского, д. 3). Несколько каплевидных форм были выбраны в качестве объектов для детальных микроскопических исследований. Изучение образцов проводилось в прозрачных шлифах, изготовленных из цельных новообразований (продольный и поперечный срезы) в ООО «ТЦЛ» (Тюменская центральная лаборатория) с использованием поляризационного ми-



Рис. 1. а) общий вид набережной реки Тура; б) участок пробоотбора; в) карбонатная корка, развивающаяся по строительному шву, заполненному цементным раствором; г) натёчное образование в виде «соломинкообразного» тела; д) каплевидное натёчное образование

Fig. 1. а) overview scheme of the Tyra river embankment; б) sampling site; в) carbonate crust devolping along an open joint filled with cement mortar; г) singer carbonate straw-like formation; д) tear-shaped carbonate singer formation



микроскопа Nikon Eclipse LV100POL и растрового электронного микроскопа JSM-6510LV-EDS, аналитического комплекса JEOL с рентгеновским энерго-дисперсионным спектрометром Oxford Instruments INCA Energy 350. Микроскопические исследования проводились на базе ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» (изучение в шлифах) и ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет» (электронная микроскопия). Кроме того, для уточнения макроскопического описания использовался цифровой микроскоп Levenhuk DTX 500 Mobi (мезоморфологические исследования). Определение валового минерального состава карбонатных новообразований и цементного камня проводилось рентгеноструктурным методом в ООО «ЗапСибГЦ» (г. Тюмень) на рентгеновском дифрактометре ДРОН-2.

Результаты и обсуждение

Макроскопическое описание. Натёчные образования кальцита высоких уровней набережной реки Туры представлены карбонатными корами и небольшими каплевидными формами – сталактитами (рис. 1, б–д).

Карбонатные коры – плотные сцементированные слои, мощностью 4–6 мм, имеющие, как правило, неоднородную окраску от желтовато-бежевой до практически белой (рис. 1, в). Цвет, предположительно, зависит от концентрации оксидов железа (участки с выраженным буроватым оттенком), реже – от содержания механических примесей. Коры развиваются вдоль крупных швов, заполненных цементной смесью, постепенно расширяясь к низу в виде шлейфа.

Сталактиты представляют собой хрупкие полые натёчные формы диаметром до 12–15 мм у основания и длиной до 20–25 мм. Новообразования имеют форму усеченных конусов (каплевидную) или удлинённых «соломинок» одинакового диаметра (до 5–7 мм) при длине до 4 см (рис. 1, г–д). Толщина стенок новообразований не превышает 1–1,5 мм. Образования хрупкие, легко ломаются и

раскрашиваются после высыхания. Внешняя поверхность новообразований матовая, шероховатая, иногда с пылеватыми механическими включениями, часто наблюдаются слабозаметные зоны утончения, проявляющиеся в виде более темных участков. В ряде случаев отчетливо виден ступенчатый характер нарастания.

Особенности микростроения. При исследовании новообразований в прозрачных шлифах и с использованием электронного микроскопа фиксируются характерные различия внешней и внутренней поверхностей новообразований.

Внешняя поверхность достаточно однородная, сглаженная, состоит из оолитообразных зонально окрашивающихся в ализарине микроагрегатов, имеющих концентрическое строение и срастающихся между собой, которые, предположительно, состоят из арагонита, так как такая форма наиболее характерна для этого минерала (рис. 2, в, г). Внутренняя поверхность неоднородная, представляет собой чередование участков небольших, однородно распределённых по площади, плохо сформированных кристаллов кальцита и участков с интенсивным ростом дендритообразных агрегатов, состоящих из уплотнённых, заостренных к краю черепицеобразных микрокристаллов (рис. 2, д, е). Крупные древовидные агрегаты ориентированы от основания новообразования к вершине. Агрегаты, развивающиеся от боковых стенок к центру полости, как правило, меньше, но составляющие их кристаллы часто более обособлены и лучше сформированы. В отдельных случаях подобные образования, растущие от боковых стенок, формируют друг с другом сплошные мостовидные (хордообразные) ассоциации, пронизывающие полость натёчных новообразований, на которых начинается повторная активизация кристаллообразования. В ализарине дендритообразные агрегаты прокрашиваются неоднородно: в большинстве случаев окрашена центральная часть каждой ветви, края окрашиваются хуже или совсем не окрашиваются. В месте сращения дендритообразных агрегатов

Рис. 2. Особенности микростроения карбонатных новообразований: а) продольный срез каплевидного натёчного образования (с просматриваемым многослойным строением у основания с одной стороны) (аншлиф); б) поперечный срез каплевидного натёчного образования (просматривается двухслойное строение боковых стенок и сплошные мостовидные (хордообразные) ассоциации) (прозрачный шлиф, николи скрещены); в) сросшиеся оолитообразные образования, формирующие внешний слой боковых стенок спелиотерм (электронный микроскоп); г) срез внешнего слоя корки спелиотермы (различно концентрическое строение оолитообразных образований) (прозрачный шлиф, николи параллельны); д) внутренняя поверхность каплевидного новообразования. Дендритообразные агрегаты (электронный микроскоп); е) дендритообразные сростки кристаллов, прокрашенные ализарином (прозрачный шлиф, николи параллельны); ж, з) микроконкреции пелитоморфного сидерита (прозрачный шлиф, николи скрещены/отраженный свет)

Fig. 2. Microstructure features of carbonate singer forms: а) longitudinal section of a carbonate singer form (where multilayer structure is visible at the base of the form); б) cross section of the tear-shaped carbonate singer form, where two-layer structure of side walls and bridge-shaped association can be observed (transparent thin section, crossed nicole); в) fused spherical formations that form the outer layer of the tear-shaped form walls (electron microscope); г) outer layer of the speleoterm where the concentric structure of spherical formations can be observed (transparent grinding, parallel nicole); д) inner surface of tear-shaped forms with tree-shaped aggregates (electron microscope); е) tree-shaped crystals dyed with alizarin (transparent grinding, parallel nicole); ж, з) visible microconcretions of pelitomorphous siderite (transparent grinding, crossed nicole, reflected light)

можно различить их первоначальные границы. Явные центры кристаллизации, с которых начинается рост древовидных сростаний микрокристаллов, не были выявлены, что косвенно может свидетельствовать в пользу того, что рост происходит в местах ослабления внешнего слоя, где в условиях повышенной концентрации вещества и неровности поверхности увеличивается интенсивность процессов кристаллообразования.

В единичных случаях узкие вершины конусов натёчных новообразований практически полностью заполняются веществом, создавая близкую к массивной текстуру, где помимо кальцита распространен также пелитоморфный сидерит (рис. 2, ж, з). Пелитоморфный сидерит частично развивается по кальциту, замещая его, а также в пустотном пространстве, сформированном агрегатами микрокристаллов кальцита, часто в виде микроконкреций.

Строение стенок изучаемых натёчных образований неоднородно. В редких случаях удалось отметить слабо различимые тонкие прослой в спилах на участках крепления конуса новообразований к гранитной плите (рис. 2, а, б). Стенки новообразований характеризуются двухсоставным строением: внешняя тонкая корка со следами растворения на внешней поверхности и внутренний слой, состоящий из массивного кальцита с различными реликтовыми очертаниями кристаллов, разрушенных агрегатов, на поверхности которого развиваются новые дендритообразные сростки микрокристаллов. Такой характер строения свидетельствует о неоднократном процессе перекристаллизации некоторых участков «тела» новообразований. Морфологически обособленные дендритообразные агрегаты кристаллов окружены практически ровными поверхностями, что подтверждает одновременность формирования стенок новообразований и их внутреннего пространства.

Общий минералогический состав. По данным рентгеноструктурного анализа, цементный камень, отобранный из строительных швов, имеет следующий состав (%): кварц – 63,8; калиевые по-

левые шпаты – 2,45; натриевые полевые шпаты – 10,43; каолинит – 10,53; гидрослюдистый материал – 0,92; кальцит – 15,34; сидерит – 5,52. Состав натёчных новообразований характеризуется практически 100 % содержанием кальцита (рис. 3). Наличие сидерита, обнаруженного при микроскопических исследованиях, косвенно подтвердилось по результатам анализа минерального состава цементного камня, но никак не отразилось в результатах анализа натёчных новообразований, что, по всей видимости, обусловлено локальным распространением данного минерала или его отсутствием в исследованной пробе.

Особенности формирования. Результаты проведенных исследований позволяют предположить, что формирование натёчных новообразований происходит в несколько этапов. Изначально в зонах, прилегающих непосредственно к строительным швам, формируется тонкая корка кальцита. Карбонатная корка, являясь многолетним образованием, постоянно увеличивает свою толщину и площадь с течением времени. Многократные процессы перекристаллизации и уплотнения приводят к значительному увеличению их прочности (рис. 4, а).

В дальнейшем на отвесных участках с выраженными неровностями начинают развиваться кольцевые образования, являющиеся основанием конуса натёчных форм и состоящие из арагонита, выпавшего из перенасыщенного (коллоидного) раствора. Со временем арагонит перекристаллизовывается в кальцит [17–19]. Диаметр колец в процессе роста спелеотерм постепенно уменьшается, что позволяет формирующим их каплям переносить вещество чуть дальше и приводит к удлинению стенок карбонатных новообразований (рис. 4, б, в). Таким образом, одновременно формируется как основное тело новообразования, так и внутренний микрорельеф, состоящий из дендритообразных агрегатов в зонах повышенного притока вещества, что соответствует ослабленным зонам внешней поверхности.

Рассмотренные объекты являются квазисезонными образованиями: большая часть конуса

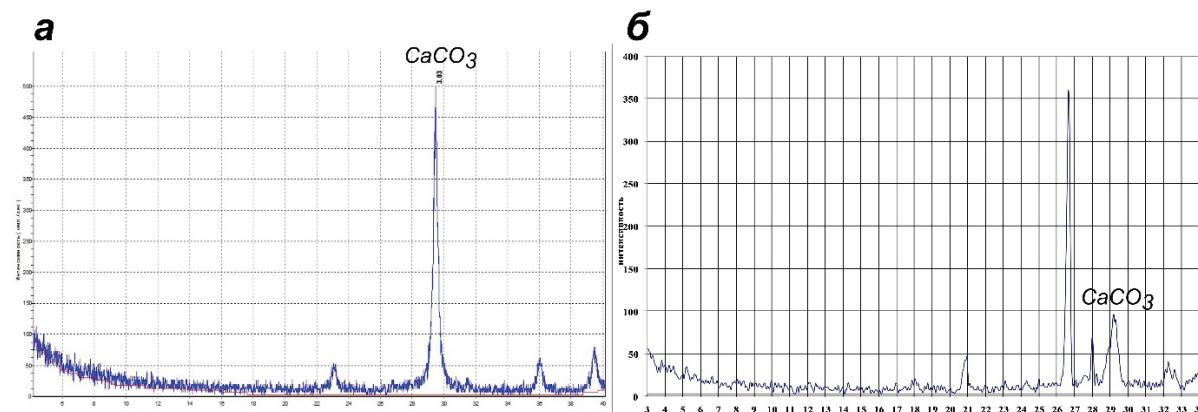


Рис. 3. Рентгенограммы исследованных образцов: а) натёчных карбонатных новообразований; б) цементного камня

Fig. 3. X-ray diagrams of the studied samples: а) singer carbonate formations; б) cement mortar

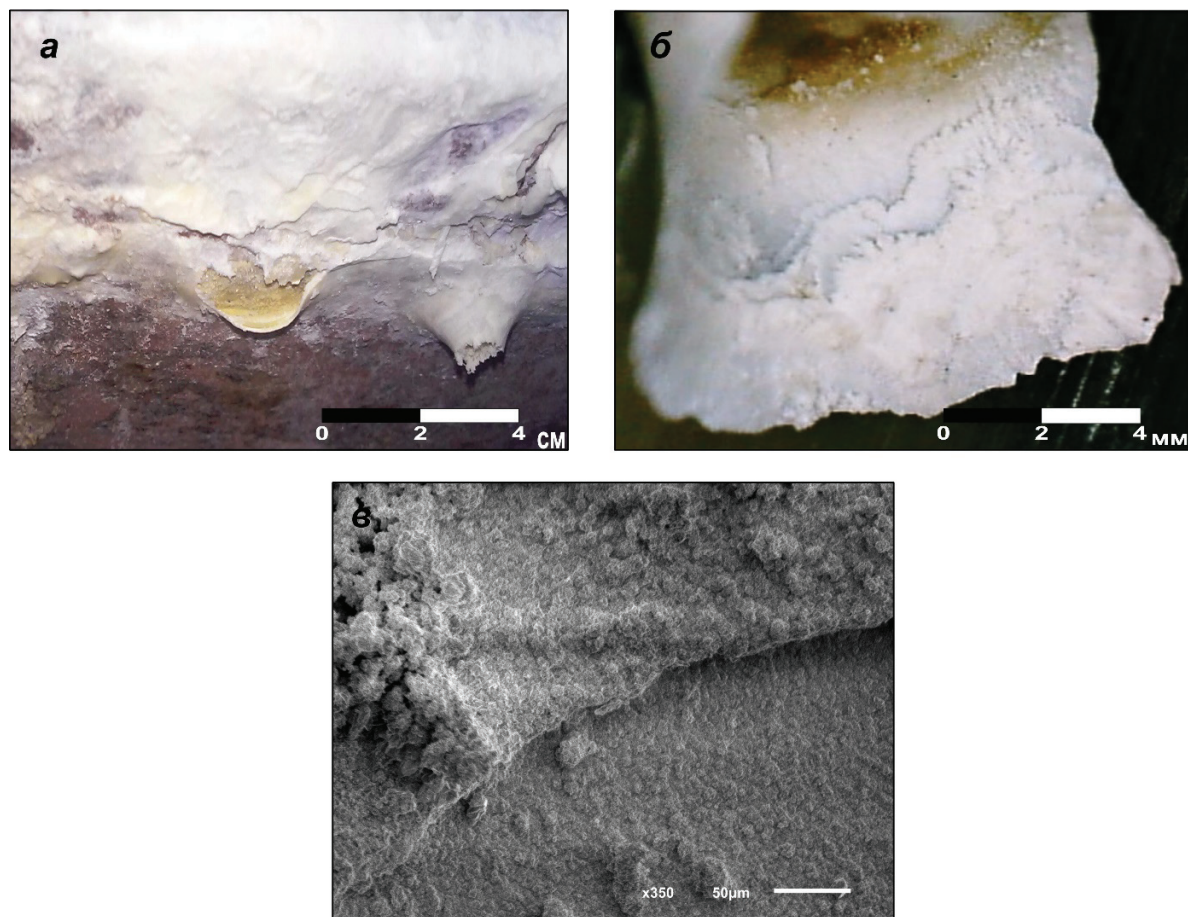


Рис. 4. а) кольцевые образования – основания каплевидной формы; б, в) изменение внутренней поверхности новообразования в процессе роста

Fig. 4. а) concentric structures – the tear-shaped form base; б, в) transformation of inner surfaces during the development of singer formation

натёчной формы ломается, раскрашивается и растворяется при определенных погодных условиях (летняя засуха, экстремальный ветер, ливневые осадки). Сохраняющиеся кольцевые образования, как и коры, являются многолетними, выступают в качестве основания для развития новых каплевидных форм при благоприятных условиях.

Выводы

Проведенные исследования позволяют предположить, что натёчные карбонатные новообразования набережной реки Туры являются сложными объектами, формирование которых происходит в несколько этапов. На первом этапе возникает тонкая карбонатная корка, приуроченная к участкам, прилегающим непосредственно к зазорам между гранитными блоками. На участках с более выраженными неровностями в дальнейшем развиваются кольцевые образования, которые и становятся основанием каплевидных форм.

Стенки новообразований имеют двухсоставное строение: внешняя тонкая корка со следами растворения и внутренний слой, состоящий из массивного кальцита. Концентрическое слоистое строение, характерное для многолетних природных и техногенных сталактитов [4, 20, 21], практически не выражено; различные тонкие прослои обнаружены лишь у основания каплевидной формы. Таким образом, карбонатные коры являются многолетним образованием, а сталактиты – однолетним, что говорит в пользу высоких скоростей их формирования.

Особенности морфологии, микростроения и минерального состава исследованных новообразований свидетельствуют о высокой интенсивности выщелачивания компонентов цементного камня. Дальнейшая детальная оценка скорости образования натёчных форм кальцита на поверхностях набережной позволит выявить потенциальные риски, связанные с долгосрочным функционированием объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Язиков Е.Г., Таловская А.В., Жорняк Л.В. Минералогия техногенных образований. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 160 с.
2. Михайлова К.Ю., Таловская А.В., Литау В.В. Минеральные и техногенные образования в твердом осадке снега в западной части города Омска // Вопросы естествознания. – 2015. – № 3 (7). – С. 114–118.
3. Минералого-геохимические особенности солевых отложений (накипи) из бытовой теплообменной аппаратуры / Б.Р. Соктоев, Л.П. Рихванов, С.С. Ильенко, Ш.Ж. Усенова // Минералогия техногенеза. – 2014. – № 15. – С. 140–146.
4. Каздым А.А., Чижова А.А., Астахов М.И. Техногенные карбонатные новообразования на бетонных покрытиях моста через р. Нерль (Ярославская область) // Минералогия техногенеза. – 2005. – Т. 6. – С. 32–39.
5. Техногенные спелеотермы / С.С. Потапов, Н.В. Паршина, Н.Г. Максимович, В.А. Наумов // Минералогия техногенеза. – 2005. – Т. 6. – С. 12–22.
6. Каздым А.А. Природные и техногенные образования кальцита – натёки и спелеотермы: генезис, морфология, микростроение // Минералогия техногенеза. – 2007. – Т. 8. – С. 269–287.
7. Максимович Г.А. Карбонатные сталактиты и сталагмиты в подвале Московского университета // Пещеры. – 1976. – Т. 16. – С. 24–35.
8. Каздым А.А. Древние техногенные спелеообъекты как историко-археологические памятники и проблемы аутигенного спелеоминералогического генеза // Минералогия техногенеза. – 2006. – Т. 7. – С. 53–68.
9. Three centuries of heavy metal pollution in Paris (France) recorded by urban speleothems / E. Pons-Branchu, S. Ayrault, M. Roy-Barman, L. Bordier, W. Borst, Ph. Branchu, E. Douville, E. Dumont // Science of the Total Environment. – 2015. – V. 518–519. – P. 86–96.
10. Ерохин Ю.В., Хиллер В.В. Техногенный кальцит на фортификационных сооружениях острова Дюрёйа (Тромс, северная Норвегия) // Минералогия техногенеза. – 2016. – Т. 17. – С. 173–177.
11. Техногенное отложение биокарбонатов и экспериментальное их образование / Л.В. Леонова, С.С. Потапов, Л.Ю. Кузьмина, О.Я. Червяцова, С.П. Главатских, А.С. Рябова // Минералогия техногенеза. – 2014. – Т. 15. – С. 113–129.
12. Forti P. Biogenic speleothems: an overview // International Journal of Speleology. – 2001. – V. 30. – № 1. – P. 39–56.
13. Jones B. Microbial Activity in Caves – a Geological Perspective // Geomicrobiology Journal. – 2001. – V. 18. – № 3. – P. 345–357.
14. Jones B. Microbes in caves: agents of calcite corrosion and precipitation // Tufas and Speleothems: Unravelling the microbial and physical controls / ed. by H.M. Pedley, M. Rogerson. – London: Geological Society, 2010. – Special Publication № 336. – P. 7–30.
15. The role of microorganisms in the formation of a stalactite in Botovskaya Cave, Siberia – paleoenvironmental implications / M. Paction, S.F.M. Breitenbach, F.A. Lechleitner, A. Vaks, C. Rollion-Bard, O.S. Gutareva, A.V. Osintcev, C. Vasconcelos // Biogeosciences. – 2013. – V. 10. – № 9. – P. 6115–6130.
16. Kendall A.C., Broughton P.L. Origin of fabrics in speleothems composed of columnar calcite crystals // Journal of Sedimentary Petrology. – 1978. – V. 48. – № 2. – P. 519–538.
17. Белоус И.В. Архитектурно-градостроительное сравнение набережных региональных центров Сибири // Современные проблемы архитектуры, градостроительства, дизайна: II Международная научно-практическая конференция. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2014. URL: http://elibrary.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/20879/arhitekturno-gradostroitel%27noe_sravnenie_naberezhnyh_regional%27nyh_centrov_sibiri_31_07_2.pdf?sequence=1&isAllowed=y (дата обращения: 27.12.2016).
18. Hill C.A., Forti P. Cave Minerals of the World. Second edition. – Huntsville, Ala.: National speleological society, 1997. – 463 p.
19. Verrecchia E.P., Verrecchia K.E. Needle-fiber calcite: a critical review and a proposed classification // Journal of Sedimentary Research. – 1994. – V. 64. – № 3A. – P. 650–664.
20. The biogenic origin of needle fibre calcite / G. Cailleau, E.P. Verrecchia, O. Braissant, L. Emmanue // Sedimentology. – 2009. – V. 56. – P. 1858–1875.
21. Annually Laminated Speleothems: a Review / A. Baker, C.L. Smith, C. Jex, I.J. Fairchild, D. Genty, L. Fuller // International Journal of Speleology. – 2008. – V. 37. – № 3. – P. 193–206.

Поступила 10.02.2017 г.

Информация об авторах

Новоселов А.А., специалист НОЦ «Геология нефти и газа» Тюменского индустриального университета.

UDC 549.74

SINGER CARBONATE TECHNOGENIC MINERAL FORMATIONS OF THE TYRA RIVER EMBANKMENT: DEVELOPMENT CONDITIONS, STRUCTURE FEATURES AND INDICATION POTENTIAL

Andrey A. Novoselov,

mr.andreygeo@mail.ru

Tyumen industrial university,

38, Volodarsky Street, Tyumen, 625000, Russia.

Relevance of the discussed issue. The study of technogenic mineral formation is one of the dynamically developing research directions of mineralogy and environmental geosciences. At present, one can observe a constant increase in the number of studies devoted to the mineral composition of formations of various natural-anthropogenic environments and technological systems: atmospheric dust aerosols, salt deposits of water and heat exchange equipment, etc. Formation of calcite singer bodies (stalactites, stalagmites and carbonate crusts) within different engineering structures due to carbonate leaching from cement matrix and their subsequent re-deposition is one of the most common types of technogenic minerogenesis. In modern scientific literature, the term «technogenic speleothems» is used to define this phenomenon. Technogenic speleothem formation is of interest not only as a practicable source of information on possible speeds and background of authigenic mineral formation, but also as a potential indicator of engineering structure's functioning conditions, as well as to assess the quality of construction works and used building materials.

The main aim of the research work is to study the morphology and microstructure of singer carbonate formations of the fourth level of the Tyra river embankment located within the Tyumen city to clarify the conditions of their formation and the possibility of their application to assess the functioning conditions of the engineering structure.

The methods used in the research: macroscopic description, meseomorphological and microscopic studies of carbonate singer formations in thin sections, scanning electron microscopy, X-ray diffraction analysis.

The results. Carbonate crusts and stalactite-like speleothems present the complex of carbonate singer forms examined within the fourth level of embankment. The results of microscopic studies confirm that carbonate singer forms are complicated structures and their development proceeds during several stages. Carbonate crusts are the long-term formations, while «stalactites» are the annual or quasisesonal ones; that supports the high speed of their development. Growth of technogenic speleothems within the new engineering structure in uncharacteristic for this kind of formation conditions (well-blown, open space) indicates the high intensity of carbonates leaching from cement mortar used in the construction of the embankment. The detailed assessment of the scale of calcite dripstones formation on the surfaces of the embankment may be used for identifying the potential risks associated with long-term operation of the facility.

Key words:

Singer calcite mineral formations, carbonate crusts, neocrystallisation, technogenic minerogenesis, stalactite, embankment, speleothems, Tyumen.

REFERENCES

1. Yazikov E.G., Talovskaya A.V., Zhornyak L.V. *Mineralogiya tekhnogennykh obrazovaniy* [Mineralogy of technogenic formations]. Tomsk, TPU Publ., 2011. 160 p.
2. Mikhaylova K.Yu., Talovskaya A.V., Litau V.V. Mineral and anthropogenic particles in insoluble sediment of snow in the Western part of Omsk. *Voprosy estestvoznaniya*, 2015, no. 3 (7), pp. 114–118. In Rus.
3. Soktoev B.R., Rikhvanov L.P., Ilyenok S.S., Usenova S.Z. Mineralogical and geochemical peculiarities of salt deposits (limescale) from household heat-exchange equipment. *Mineralogiya tekhnogeneza*, 2014, no. 15, pp. 140–146. In Rus.
4. Kazdym A.A., Chigova A.A., Astachov M.I. New man-caused carbonate formations on concrete surfaces of the Nerl-river bridge. *Mineralogiya tekhnogeneza*, 2005, vol. 6, pp. 32–39. In Rus.
5. Potapov S.S., Parshina N.V., Maximovich N.G., Naumov V.A. Technogenic speleothems. *Mineralogiya tekhnogeneza*, 2005, vol. 6, pp. 12–22. In Rus.
6. Kazdym A.A. Prirodnye i tekhnogennye obrazovaniya kaltsita – nateki i speleotemy: genesis, morfologiya, mikrostroenie [Natural and man-made formation of calcite – sinters and shelfstones: genesis, morphology, microstructure]. *Mineralogiya tekhnogeneza*, 2007, vol. 8, pp. 269–287.
7. Maksimovich G.A. Karbonatnye stalaktity i stalagmity v podvale Moskovskogo universiteta [Carbonate stalactites and stalagmites in the basement of the Moscow State University]. *Peshchery*, 1976, vol. 16, pp. 24–35.
8. Kazdym A.A. Ancient technogenic speleological objects as historical and architectural monuments and the problems of autigenic speleominerogenesis. *Mineralogiya tekhnogeneza*, 2006, vol. 7, pp. 53–68. In Rus.
9. Pons-Branchu E., Ayrault S., Roy-Barman M., Bordier L., Borst W., Branchu P., Douville E., Dumont E. Three centuries of heavy metal pollution in Paris (France) recorded by urban speleothems. *Science of the Total Environment*, 2015, vol. 518–519, pp. 86–96.
10. Erokhin Yu.V., Khiller V.V. Tekhnogenny kaltsit na fortifikatsionnykh sooruzheniyakh ostrova Dyureya (Troms, severnaya Norvegiya) [Man-made calcite on fortifications of the island Dyurëya (Troms, Northern Norway)]. *Mineralogiya tekhnogeneza*, 2016, vol. 17, pp. 173–177.
11. Leonova L.V., Potapov S.S., Kuzmina L.Yu., Cherviatsova O.Ya., Glavatskikh S.P., Riabova A.S. Technogenic sediments of biokarbonates and their experimental formation. *Mineralogiya tekhnogeneza*, 2014, vol. 15, pp. 113–129. In Rus.
12. Forti P. Biogenic speleothems: an overview. *International Journal of Speleology*, 2001, vol. 30, no. 1, pp. 39–56.
13. Jones B. Microbial Activity in Caves – a Geological Perspective. *Geomicrobiology Journal*, 2001, vol. 18, no. 3, pp. 345–357.
14. Jones B. Microbes in caves: agents of calcite corrosion and precipitation (in Tufas and Speleothems: Unravelling the microbial and physical controls. Eds. H.M. Pedley, M. Rogerson. *Geological Society Special Publications*, 2010, no. 336, pp. 7–30.
15. Pacton M., Breitenbach S.F.M., Lechleitner F.A., Vaks A., Rolion-Bard C., Gutareva O.S., Osintcev A.V., Vasconcelos C. The role of microorganisms in the formation of a stalactite in Botovskaya Cave, Siberia – paleoenvironmental implications. *Biogeosciences*, 2013, vol. 10, no. 9, pp. 6115–6130.

16. Kendall A.C., Broughton P.L. Origin of fabrics in speleothems composed of columnar calcite crystals. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1978, vol. 48, no. 2, pp. 519–538.
17. Belous I.V. Arkhitekturno-gradostroitelnoe sravnenie naberezhnykh regionalnykh tsentrov Sibiri [Architecture and urban waterfronts comparison of regional centers of Siberia]. *Sovremennye problemy arkhitektury, gradostroitelstva, dizayna. II Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [Proc. II International scientific-practical conference. Modern problems of architecture, urban planning, design]. Krasnoyarsk, 2014. Available at: http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/20879/arhitekturno-gradostroitel%27noe_sravnenie_naberezhnykh_regional%27nyh_centrov_sibiri_31_07_2.pdf?sequence=1&isAllowed=y (accessed: 27 December 2016).
18. Hill C.A., Forti P. *Cave Minerals of the World*. Second edition. Huntsville, Ala., National speleological society, 1997. 463 p.
19. Verrecchia E.P., Verrecchia K.E. Needle-fiber calcite: a critical review and a proposed classification. *Journal of Sedimentary Research*, 1994, vol. 64, no. 3A, pp. 650–664.
20. Cailleau G., Verrecchia E.P., Braissant O., Emmanue L. The biogenic origin of needle fibre calcite. *Sedimentology*, 2009, vol. 56, pp. 1858–1875.
21. Baker A., Smith C.L., Jex C., Fairchild I.J., Genty D., Fuller L. Annually Laminated Speleothems: a Review. *International Journal of Speleology*, 2008, vol. 37, no. 3, pp. 193–206.

Received: 10 February 2017.

Information about the authors

Andrey A. Novoselov, specialist, Tyumen industrial university.