

12. Котельников Д.Д., Соболева С.В., Солодкова Н.А. Условия образования и структурные особенности минералов слюдистого типа с удлиненнопластинчатой формой частиц // Изв. вузов. Геология и разведка. 1992. № 3. С. 55—60.
13. Постникова И.Е., Котельников Д.Д., Постников В.Г. О влиянии ди- и триоктаэдрических смешанослойных образований на экранирующую способность и коллекторские свойства средне- и верхнедевонских отложений Припятского прогиба // Изв. вузов. Геология и разведка. 1972. № 9. С. 32—39.
14. Ратеев М.А., Котельников Д.Д. О новых находках α-сепиолита в карбоне Русской платформы // Докл. АН СССР. 1956. Т. 109. № 1. С. 191—194.
15. Саркисян С.Г., Котельников Д.Д. Глинистые минералы и проблемы нефтегазовой геологии. М.: Недра, 1971. 184 с.
16. Саркисян С.Г., Котельников Д.Д. Глинистые минералы и проблемы нефтегазовой геологии. Изд-ние второе, перераб. и доп. М.: Недра, 1980. 232 с.
17. Brown G.W. Report of the clay minerals group sub-committee on nomenclature of clay minerals // Clay Minerals Bull. 1955. V. 2, N 13. P. 294—302.
18. Estéoule J., Estéoule-Choux J. Étude en microscopie électronique de divers types géologiques de kaolin // Compt. Rend. Acad. Sci. 1964. T. 259. № 15. P. 2469—2472.

ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА»

Рецензент — О.В. Япаскурт

УДК 552.54:551.72

В.Г. КУЗНЕЦОВ

ТЕКСТУРА «КОРЕННОГО ЗУБА» — СВОЕОБРАЗНАЯ ТЕКСТУРА РИФЕЙСКИХ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД

Приведена характеристика своеобразных верхнепротерозойских образований — извилистых трещинок в обогащенных органическим веществом карбонатных породах, выполненных преимущественно кальцитом. Предложен механизм формирования трещин в результате природного флюидоразрыва.

Постановка проблемы и объект исследования

В 1885 г. Г. Брауэрман описал в среднепротерозойских отложениях супергруппы Белт, развитой в пограничных областях США и Канады, своеобразное строение некоторых карбонатных пачек. В этих пачках развита система светлых кальцитовых жилков неправильной извилистой формы (изгибающиеся линзочки, «червячки» и т.д.) толщиной обычно в несколько миллиметров, пронизывающих темно-окрашенные пласты доломитов и известняков и расположенных под различными углами к границам слоев (рис. 1). Эту текстуру он назвал текстурой «коренного зуба» (molar-tooth of an elephant). В обнажениях кальцит жилков нередко растворяется и образуется серия извилистых бороздок, желобков, и поверхность действительно напоминает поверхность зубов слона (рис. 2).

В настоящее время породы такого строения выявлены в более чем 50 стратиграфических подразделениях в 40 регионах Европы, США, Канады, Индии, Африки, Китая, Австралии, Урала, Сибири [8, 10].

На изучение подобных текстур, отложений такого строения, в значительной мере направлен международный проект программы UNESCO/IGCP 447 («Карбонаты и эволюция Земли в протерозое»). В рамках последнего осенью 2002 г. в Китае проведена специальная конференция с многодневными полевыми экскурсиями. Эта тематика включена отдельной темой в 32-й международный геологический конгресс 2004 г.

В России подобные образования нигде подробно не описаны. Под принятым в западной литера-

туре названием «MTS» такая текстура отмечена в тангаурской подсерии верхнего рифея в Алатауском антиклинории Южного Урала [2], а под названием «бурундучковая» — в сухотунгусинской свите среднего рифея и свите буровой верхнего рифея в Туруханском районе [3]. Это обстоятельство делает актуальным более подробное рассмотрение и описание подобного строения карбонатных пород. Основой послужили полевые наблюдения, проведенные во время геологических экскурсий в

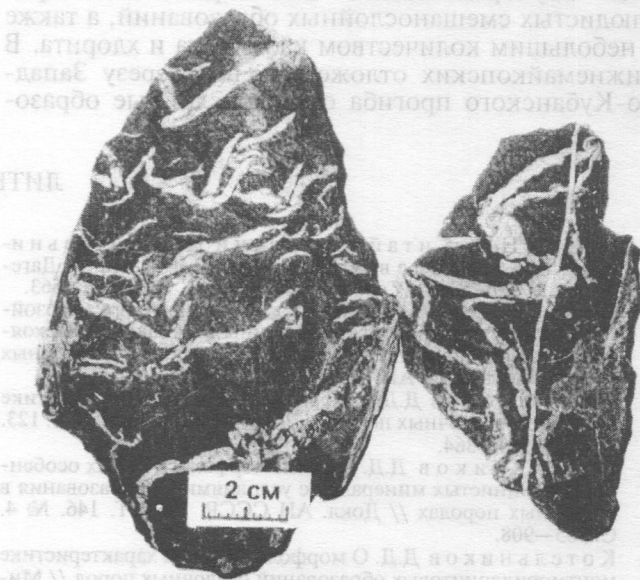
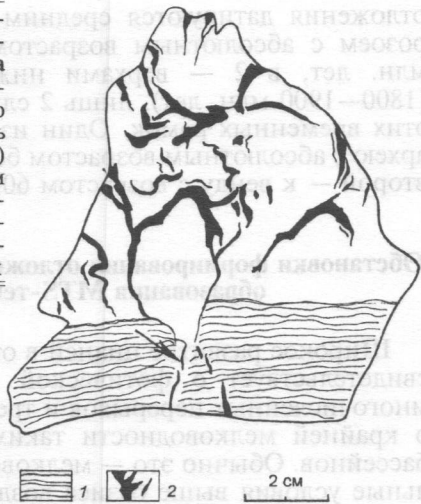


Рис. 1. Типичная MTS-текстура — светлые жилки микрозернистого кальцита в тонкослойном известковистом доломите

Рис. 2. Бороздки, образованные за счет выщелачивания кальцита из жилок, трещина (показана стрелкой), по которой удалялись газы из ламинитов (1) с образованием MTS-текстуры (вверху); 2 — бороздки-карры в однородных известковистых доломитах



рамках конференции в Китае, а также камеральная обработка собранного материала. Абсолютный возраст карбонатных отложений Китая, где установлены подобные текстуры, определенными K-Ar, Rb-Sr, Pb-Pb и U-Pb методами, колеблется от 600—635 до 777—855 млн. лет [7, 11].

В связи с отсутствием адекватного русского термина и явным неудобством использования сочетания «структура коренного зуба» — дословного перевода оригинального термина, для обозначения такого строения возможно употребление широко распространенной аббревиатуры — MTS (Molar tooth structure).

Общая характеристика MTS-текстур

В общем виде MTS-текстура развита в карбонатных породах протерозоя Китая: как в известняках, так и в доломитах и представляет собой выделения кальцита в виде прожилков, расположенных под тем или иным, но, как правило, значительным $70-80^\circ$, углом к поверхности напластования (рис. 1, 2). В отдельных участках обнажений площади, занятые такими прожилками, достигают 60 % от общей площади пластов. Морфология прожилков весьма разнообразна. Наиболее часто в плоскости обнажения они имеют веретенообразный вид, т. е. это — узкие и протяженные линзочки, выклинивающиеся к краям полоски шириной в несколько миллиметров, реже несколько сантиметров, и длиной до 20 см, хотя имеются и более протяженные. Обычно прожилки в разной степени, часто довольно сложно, изогнуты, иногда разбиты более поздними трещинами на отдельные, смещенные один относительно другого сегменты. Наряду с «одиночными» имеются и ветвящиеся жилки. Наиболее ин-

тересны «древовидные» образования, когда нижние ответвления («корни») вверх по пласту сливаются в единый «ствол». При этом верх такого «ствола» часто резко обрывается, кончается на верхней границе слоя, как бы срезается поверхностью наложения (рис. 3, а). Имеются и противоположные случаи, когда кверху происходит расчленение единого «ствола» и появляются отдельные «ветви» (рис. 3, б).

Достаточно резко различаются состав и структура вмещающих пород и собственно содержащихся в них прожилков. В изученных разрезах Китая это — темноцветные, почти черные, реже бурожелтые известняки и доломиты, часто сильно глинистые, иногда с примесью обломочных зерен алевроитовой размерности. Желтый и бурый цвета вмещающих пород, вероятно, вторичны. Дело в том, что в темноцветных породах имеются белые кальцитовые прожилки, а в желто-бурых обычно их следы, бороздки (собственно истинные «структуры зубов слона»). Видимо, в гипергенных условиях под воздействием атмосферных агентов окисляются рассеянный органический материал и содержащееся в породах железо, и соответственно изменяется цвет, одновременно растворяется кальцит в прожилках.

Отмечено, что в маломощных карбонатных слоях кальцитовых жилок, как правило, не наблюдается.

Выявлены также прямолинейные, явно тектонические трещины, которые секут кальцитовые жилки (MTS), нередко вызывая смещение отдельных их частей, т. е. являются более поздними образованиями. Трещины выполнены вторичным карбонатом с размером кристаллов 0,2—0,4 мм — чаще кальцитом со следами двойникования. В некоторых трещинках отмечают по крайней мере две генерации карбонатного заполнения: первая в виде пирамидальных кристаллов, ориентированных нормально к стенкам трещин, вторая в виде блоков неправильной формы, выполняющих оставшееся пространство.

Текстура вмещающих пород микрослоистая — ламинитовая, образованная микробияльными матами и корками, массивная, однородная. Характерно, что в шлифах все изученные породы, в том числе массивные, обладают микрослоистостью, выраженной в разных формах и с той или иной степенью отчетливости.

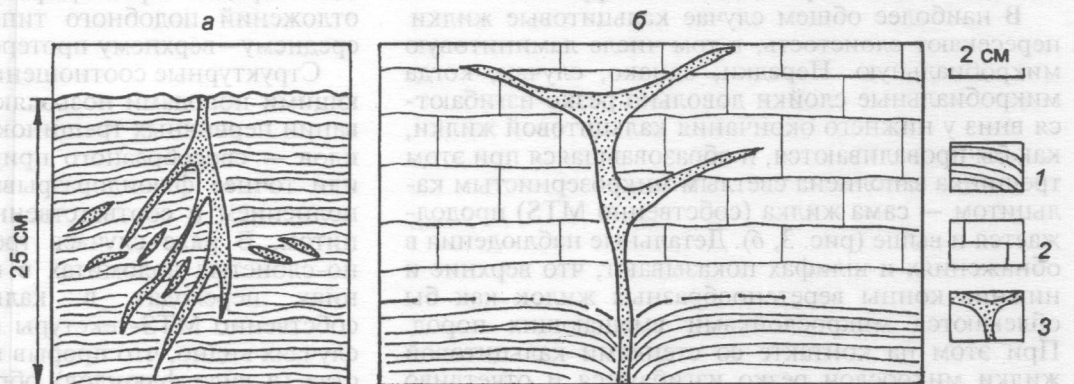


Рис. 3. Типы ветвящихся кальцитовых жилок, зарисовки обнажений: а — «ствол с корневой системой»; б — «ствол с кроной»: 1 — ламиниты; 2 — однородные массивные известковистые доломиты; 3 — кальцитовые жилки

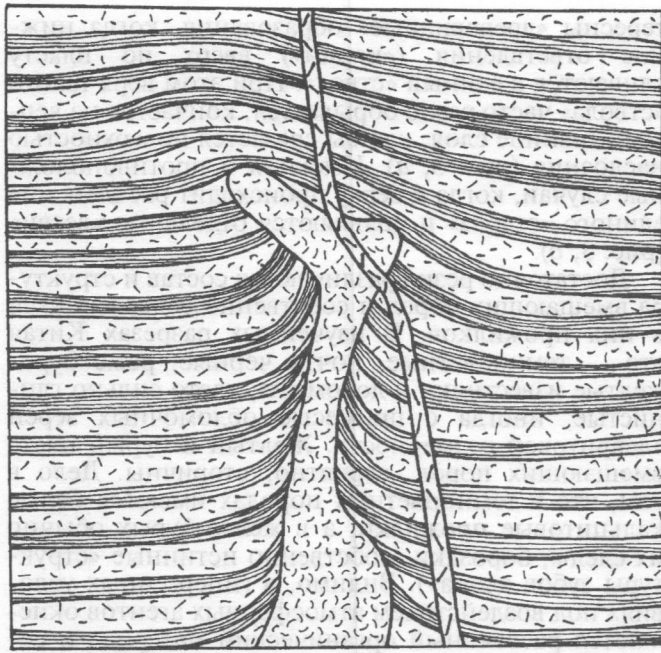


Рис. 4. Кальцитовая жилка, рассекающая темные ламиниты: воздымание слоев на боковых границах жилки и их изгибы над ее верхним окончанием, зарисовка шлифа: 1 — темные глинисто-карбонатные слои, обогащенные органическим веществом; 2 — жилка MTS-текстуры, выполненная чистым микрозернистым кальцитом; 3 — более поздняя тектоническая трещина, заполненная кристаллическим кальцитом.

В полном соответствии с петрографическим типом пород в их составе обычно устанавливается наличие кальция, магния, кремния, алюминия, хрома. Из элементов-примесей обычны стронций, марганец, железо, барий, цинк [5].

Жилки представлены светлым, почти белым, равномернозернистым чистым кальцитом с размером изометричных кристалликов в пределах 0,005—0,015 мм. Каких-либо текстур, в том числе биогенных, в жилках не обнаружено. В них отсутствуют магний, алюминий, хром, малы содержания или не определяются стронций, марганец, барий, цинк, иногда отмечены незначительные количества кремния. Границы между прожилками и вмещающими породами весьма четкие, резкие, каких-либо взаимопереходов не обнаружено.

В наиболее общем случае кальцитовые жилки пересекают слоистость, в том числе ламинитовую микробиальную. Нередки, однако, случаи, когда микробиальные слои довольно резко изгибаются вниз у нижнего окончания кальцитовой жилки, как бы проваливаются, и образовавшаяся при этом трещинка заполнена светлым микрозернистым кальцитом — сама жилка (собственно MTS) продолжается и выше (рис. 3, б). Детальные наблюдения в обнажениях и шлифах показывают, что верхние и нижние концы веретенообразных жилок как бы облекаются микрослойками вмещающих пород. При этом на контакте со стенками кальцитовой жилки микрослойки резко изгибаются и отчетливо воздымаются вверх (рис. 4).

К настоящему времени собраны данные по 29 местонахождениям отложений с MTS. В 25 случаях

отложения датируются средним—верхним протерозоем с абсолютным возрастом от 700 до 1600 млн. лет, в 2 — верхами нижнего протерозоя (1800—1900 млн. лет), лишь 2 случая выпадают из этих временных рамок. Один из них относится к архею с абсолютным возрастом более 2,5 млрд. лет, второй — к венду с возрастом 600 млн. лет.

Обстановки формирования отложений и механизмы образования MTS-текстур

Широкое развитие цианей в отложениях с MTS свидетельствует о фотической зоне, а наличие многочисленных перерывов и трещин усыхания — о крайней мелководности таких протерозойских бассейнов. Обычно это — мелководные сублиторальные условия выше базиса воздействия штормовых волн, реже более глубоководные обстановки.

Мнения о формировании самих жилок, собственно MTS-текстуры, достаточно разнообразны. Д. Лонг зафиксировал шесть гипотез образования: замещение кальцитом водородослей; замещение кальцитом первично эвапоритовых образований; биогенетическое выпадение кальцита в трещинах синерезиса; быстрое выпадение кальцита в трещинах, сформированных выделениями газов; замещение первичного фатерита микрозернистым кальцитом в богатых органическим веществом отложениях; характеризующихся щелочными средами; выполнение кальцитом трещин, возникающих при землетрясениях — сейсмитах [9].

Не обсуждая детально все эти гипотезы, следует, однако, заметить, что столь четкое стратиграфическое положение ставит под сомнение образование таких текстур в результате сейсмических воздействий. Неясно, в частности, почему сейсмитами такого типа существовали только в рифее и полностью отсутствуют в фанерозое. Добавим попутно, что сейсмическая гипотеза не объясняет кальцитовый состав жилок в доломитовых вмещающих породах. Те же замечания можно высказать о таких жилках как трещинах синерезиса.

При установлении происхождения подобной текстуры, видимо, следует использовать ряд показателей — структурные соотношения кальцитовых жилок с вмещающими отложениями, различный минеральный состав и структуру жилок и вмещающих пород и стратиграфическую приуроченность отложений подобного типа преимущественно к среднему—верхнему протерозою.

Структурные соотношения прожилков с вмещающими породами позволяют говорить об образовании первичных трещинок за счет прорыва флюидов — своеобразного природного гидроразрыва, или точнее флюидоразрыва, с последующим заполнением и соответственно консервацией кальцитом. В ряде случаев трещины в микробиально-слоистых доломитах в вышележащих отложениях переходят в кальцитовые жилки — собственно MTS-текстуры (рис. 2, 3, б). В других случаях видно, что прорыв и удаление части вещества (в виде флюидов) образуют пустоты, и при проседании в них твердых практически литифицированных отложений формируются своеобразные микроколлапсные структуры, особенно заметные в

ламинитах. О таком прорыве свидетельствуют и резкие изгибы вверх микрослойков в глинисто-карбонатных разностях пород (рис. 4). Иногда прорывы флюидов, их «извержение» ведут к образованию «эксплозивных» брекчий, хорошо фиксируемых опять-таки достаточно прочными к тому времени обломками ламинитов.

Об образовании трещин за счет прорыва флюидов нередко свидетельствует и морфология прожилков: мелкие извилистые струйки соединяются и образуется единый, более мощный, прямолинейный и вертикальный «ствол», который заканчивается либо на границе перерыва, либо при входе в более грубозернистые, т. е. более проницаемые, отложения, где происходит межзерновая фильтрация, и трещины не возникают. Пока струйки были маломощные, их подъем вверх по извилистым сравнительно более проницаемым участкам относительно затруднен. По мере соединения струи приобретали способность прорывать уже более прочную покрывку и подниматься более вертикально (рис. 3, а). Если же при подъеме флюиды пересекали более проницаемые субпараллельные слоистые участки, поток дробился и часть его устремлялась по таким зонам. В этом случае формировалась морфология «ствола с кроной» (рис. 3, б).

Возникает вопрос о природе флюидов и причинах их появления в столь значительных количествах, которые обеспечивают массовое развитие трещин прорыва.

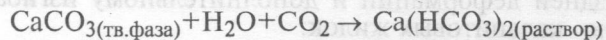
Ответ, видимо, следует искать в строгой стратиграфической приуроченности текстур подобного рода. Средний и поздний протерозой — эпоха расцвета цианобактерий, практически единственных и в то же время массовых представителей биоты мелководных эпиконтинентальных морей, генерировавших и поставлявших в осадок органическое вещество. При этом роль гетеротрофов, если они и существовали, в утилизации органического вещества была крайне ограничена.

Наличие значительных масс генерированного цианеями органического вещества определяло специфическую геохимическую обстановку седиментации и раннего диагенеза, благоприятную для садки магниезальных соединений [1]. Развивающиеся на этом органическом субстрате сульфатредуцирующие бактерии использовали кислород сульфатов, а органическое вещество как пищу; при этом сульфаты переводились в сероводород с его последующим удалением из системы путем дегазации и связывания в виде сульфидов железа. Возникал дефицит анионов и избыток катионов, в частности, магния. Он легче образовывал малорастворимые карбонаты и гидраты оксидов или металлоорганические комплексы.

Подобные процессы установлены, например, в современных осадках, где в оболочке цианобактерий концентрация магния возрастает в 3—4 раза, что ведет к резкому повышению магний-кальциевого отношения до 25—30:1 против 4,5:1 в морской воде [6]. Одновременно пониженное содержание сульфат-ионов способствует образованию доломита [4]. Осаждение доломита в присутствии сульфатредуцирующих бактерий показано экспериментально на примере современных осадков [12]. Таким образом, расцвет цианобактериальных сообществ в

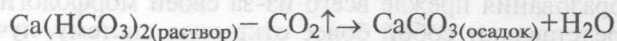
рифее определил преобладающее накопление доломитов по отношению к известнякам. Кальций в такой обстановке в виде бикарбонатов в значительной степени присутствовал в иловом растворе.

При отсутствии гетеротрофов, которые могли бы утилизировать органическое вещество, его диагенетическая переработка заключалась главным образом, если не исключительно, в образовании газов, прежде всего CO_2 . Последний частично растворялся в иловых водах, что вело к растворению твердой карбонатной фазы осадка, в первую очередь его наиболее реакционноспособной части — карбоната кальция, переводя его в растворимый бикарбонат, увеличивая содержание в иловом растворе. При этом менее растворимый доломит сохранялся в осадке. Процесс протекал по схеме:



(при высоком содержании CO_2 в растворе).

По достижении определенного критического объема газовой фазы давление в осадке возрастало, и происходил прорыв, газы устремлялись вверх, формировали извилистые, а затем и более прямолинейные трещинки или дробили полулитифицированные отложения, что обусловило формирование брекчий. Подобные каналы дегазации тут же заполнялись иловыми растворами, пересыщенными растворенными в них бикарбонатами кальция. Прорыв и удаление углекислого газа вели к мгновенному падению давления, что способствовало распаду бикарбоната и выпадению карбоната кальция:



(при падении давления и дегазации).

Быстрота процесса обусловила микрозернистую и равномернотекстурную структуры образовавшегося кальцита и одновременно привела к заполнению им каналов дегазации, что и предохранило их от замыкания в результате сдавливания.

Таким образом, формирование MTS-текстур происходило в шесть стадий:

1. Накопление осадков карбонатов Ca и Mg, обогащенных цианобактериальным органическим веществом.
2. Восстановление сульфатредуцирующими бактериями сульфатов иловой воды, удаление образовавшегося H_2S , повышение в связи с этим относительной концентрации катионов и, следовательно, дополнительное осаждение магниезальных соединений с последующим образованием доломита.
3. Частичная литификация и разложение органического вещества с образованием газообразных продуктов, в том числе CO_2 .
4. Частичное растворение карбоната кальция с образованием бикарбоната в результате взаимодействия с CO_2 .
5. Дальнейшее разложение органического вещества. Давление диагенетических газов достигает критических значений, они прорывают частично литифицированные осадки и образуют трещины, по которым и удаляются из осадка.
6. Новообразованные трещины сразу же заполняются иловой водой, предохраняющей их от закрытия. Мгновенное падение давления ведет к дегазации, т. е. к разрушению бикарбонатов и выпадению микрокристаллического кальцита.

Форма прожилков и особенно их резкие границы с вмещающими породами, а также наличие «эксплозивных брекчий» свидетельствуют, что вмещающие осадки были уже достаточно уплотнены, т. е. это был не полужидкий ил, который благодаря текучести тут же залечивал бы трещины. Да и само образование трещин, даже извилистых, возможно лишь в той или иной степени твердой субстанции. Вместе с тем это была еще достаточно пластичная масса, в то время как заполнявший трещинки химически выпавший кальцит был значительно более плотным. Поэтому в шлифах и частично образцах отмечаются следы более позднего уплотнения вмещающей массы и облекания кальцита трещинок. Уплотнение при дальнейшей литификации основной массы породы, вероятно, вело к более поздней деформации и дополнительному изгибанию кальцитовых жилков.

Подобный механизм формирования MTS объясняет и появление этой текстуры именно в микрозернистых разностях и микробиальных ламинитах, причем относительно значительной мощности. Эти водонасыщенные, а затем и полужатвердевшие осадки были изначально непроницаемы, и образующиеся при диагенезе газы не могли свободно удаляться из них, пока объем газов не достигал некоторой критической величины, когда избыточное давление вызывало их прорыв и практическую мгновенную дегазацию. Но осадки к этому времени были уже достаточно литифицированы. В отложениях со столбчатыми строматолитами подобных текстур не наблюдается или они редки. По-видимому, такие образования прежде всего из-за своей морфологии представляют собой более открытую систему, лучше аэрируемую при образовании и более проницаемую при диагенезе, благодаря чему образующиеся газы не задерживаются и быстро удаляются. Возможно, со схожими условиями — относительно быстрым удалением газов — связано практическое отсутствие подобных текстур в маломощных слоях.

Явная приуроченность MTS-текстур к протерозойским отложениям и практическое отсутствие в фанерозе, вероятно, определено общим развитием биоты — сменой цианобактериальных сообществ докембрия значительно более разнообразным и высокоорганизованным сообществом организмов фанерозоя. Это и обусловило ликвидацию широко развитых в рифее микрозернистых непроницаемых биохомогенных отложений, существенно обогащенных органическим веществом, и формирование в фанерозе зернистых, органогенных в узком смысле слова, изначально проницаемых и лучше аэрируемых осадков. Фанерозойские микрозернистые ламинитовые образования с микробиальными матами, во-первых, уже не производи-

ли такого количества органического вещества и, во-вторых, количество кислорода было значительно больше, что вело к более быстрому окислению подолжного материала. Поэтому определенные гомологи рифейских MTS — это лофериты и текстуры «птичьих глазок», где диагенетическое газообразование было ограничено и не достигало масштабов подобных процессов в рифее.

Заключение

В протерозойских, особенно рифейских, карбонатных отложениях ряда районов мира установлена своеобразная текстура. В темноцветных обогащенных органическим веществом известняках и доломитах, обычно в той или иной степени глинистых, имеются многочисленные часто червеобразно изгибающиеся жилки, прослойки и линзочки светлого микрокристаллического кальцита.

Морфологические особенности и характер взаимоотношений кальцитовых прожилков и вмещающих отложений позволяют говорить о том, что такие трещинки образовались в результате прорыва флюидов, в том числе газообразных, через полулитифицированные отложения. Трещинки быстро залечивались кальцитом.

Стратиграфическое положение подобных образований четко коррелируется с эпохой расцвета цианей. Массовое развитие последних вело к генерации значительных количеств органического материала, разложение которого при диагенезе давало большие объемы газов. Последние прорывались вверх, дробили отвердевшие осадки, создавали трещины, eksploзивные микробрекчии. Образовавшиеся пустоты заполнялись иловыми растворами. Удаление газов вело к практически мгновенному падению давления, распаду бикарбонатов, ретроградному выпадению карбонатного материала и залечиванию трещин и других полостей.

Процессы образования подобных текстур по сути — физико-химические, однако их проявление изначально обусловлено наличием определенных типов биоты, максимум развития которой приходится на рифей. Отдаленными гомологами подобных образований в фанерозе являются лофериты и текстуры типа «птичьих глазок», формирование которых также приурочено к фациям развития цианей, однако изменившиеся условия, увеличение количества кислорода, появление разнообразного биоса, в том числе гетеротрофов, вызвало меньшую результативность подобного процесса.

Работа выполнена при финансовой поддержке научной программы «Университеты России», грант УР.09.01.006.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов В.Г. О возможном влиянии эволюции биоса на эволюцию доломитообразования в истории Земли // Докл. РАН. 2001. Т. 378. № 3. С. 366—369.
2. Маслов А.В. Тангаурская подсерия верхнего рифея Ала-тауского антиклинория Южного Урала // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2002. Т. 10. № 5. С. 3—22.
3. Петров П.Ю., Семихатов М.А. Верхнерифейский строматолитовый рифовый комплекс: свита буровой Туру-ханского района Сибири // Литология и полезн. ископаемые. 1998. № 6. С. 604—628.
4. Baker P., Kastner M. Constraints of the Formation of Sedimentary Dolomite // Science. 1981. V. 213. P. 214—216.
5. Bourrouilh-Le Jan, Vaslet D., Legendre O.R., Meng X., Ge M., Bourrouilh R. Electron microprobe analysis of molar tooth structures from Dalian, Liaoning province, China // Newsresearch of UNESCO/IUGS IGCP 447. Beijing: China University of Geosciences, 2002. P. 26—27.

6. Gebelein C.O., Hoffman P. Algal origin laminations in stromatolitic limestones // J. Sedimentary Petrol. 1973. V. 43. N 3. P. 602—613.
7. Guidebook for Carbonates and Evolution of the Earth in the Proterozoic in China. Beijing: Institute of Sedimentary basin of China University of Geosciences. Ed. Meng Xianghua, 2002. 47 p.
8. James N.P., Narbonne G.M., Sherman A.G. Molar-tooth carbonate: shallow subtidal facies of the Mid- to Late Proterozoic // J. Sedimentary Research. 1998. V. 68. N 5. P. 716—722.
9. Long D.G.F. Molar-tooth structures — a historical review // Newsresearch of UNESCO/IUGS IGCP 447. Beijing: China University of Geosciences, 2002. P. 19—20.
10. Meng Xianghua, Ge Ming. The sedimentary features of Proterozoic microspar (Molar-tooth) carbonates in China and their significance // Newsresearch of UNESCO/IUGS IGCP 447. Beijing: China University of Geosciences, 2002. P. 20—22.
11. Newsresearch of UNESCO/IUGS IGCP 447. Beijing: China University of Geosciences, 2002. 79 p.
12. Vasconcelos Cr., McKenzie Ju., Bernasconi St., Grujic D., Tien A. Microbial mediation as a possible mechanism for dolomite formation at low temperatures // Nature. 1995. V. 377. P. 220—222.

Российский государственный университет
нефти и газа имени И.М. Губкина
Рецензенты — С.К. Оникиенко, Л.Н. Липчанская

УДК 550.42:669.793:669.794:552.323.6

И.П. ИЛУПИН, Ю.Ю. ГОЛУБЕВА

СКАНДИЙ И ИТТРИЙ В КИМБЕРЛИТАХ

Как для кимберлитов Сибирской, так и для кимберлитов других провинций (сопоставлены отдельные тела и группы тел) выявлена значимая положительная корреляция между содержаниями Sc и Y, с одной стороны, и содержаниями La, Th, Zr, Nb, Ti и P — с другой. Скандий и иттрий следует рассматривать как закономерные составные части группы литофильных малых и редких элементов, которыми кимберлиты обогащены по сравнению с ультраосновными породами.

Сведения о содержаниях скандия и иттрия приведены во многих публикациях, посвященных рассмотрению геохимии кимберлитов. Однако соотношению этих элементов с другими макро- и микрокомпонентами практически не уделяется внимания. Г.В. Феск с соавторами включил Sc и Y (вместе с Ti, P, Zr, Hf, Nb, Ta, TR) в группу элементов, изучение которых позволяет получить существенную информацию о геохимии кимберлитов [29, с. 709—710]; но в разделе «Межэлементные отношения» [29, с. 722—729] Sc и Y не рассматриваются.

Что касается скандия, вероятно, многие исследователи обратили внимание на авторитетное высказывание [25] об отсутствии признаков близкого геохимического соотношения скандия с самыми тяжелыми TR, а также с Fe²⁺, Mg²⁺ и другими главными компонентами в изверженных породах. Было отмечено, что геохимия Sc совершенно не похожа на таковые Y и TR: при кристаллизации основной магмы скандий концентрируется в пироксенах, тогда как иттрий и лантаноиды аккумулируются в остаточном расплаве. Л.Ф. Борисенко [2] также отметил прямо противоположный характер распределения Sc и TR в изверженных породах.

Иттрий во всех геологических процессах сопровождается лантаноиды, особенно тяжелые иттриевые группы [5, с. 197], в кимберлитах он рассматривается редко; во многих публикациях, где приведены концентрации TR (в породах и минералах), сведения о содержании иттрия не сообщаются.

При детальном изучении кимберлитов Сибири нами выявлены тесные положительные связи скандия и иттрия с некоторыми породообразующими (Ti, Al, Fe_{общ.}, K, P), а также малыми и ред-

кими (Sr, Ba, La, Th, Zr, Nb) элементами. Основой для подсчетов послужили результаты анализов 122 образцов кимберлитов Сибири. Анализы на макрокомпоненты (иногда также на Ba) выполнены в химических лабораториях Якутского геологического управления, НИИ геологии Арктики (ныне ВНИИОкеангео, Санкт-Петербург) и Тульского отделения ЦНИГРИ; анализ на Sc, La, Th, Ba — методом инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) в ЦНИГРИ; анализ на Sr, Y, Zr, Nb, Th — рентгеноспектральным методом во ВСЕГЕИ.

Выборка разделена на 19 групп (объектов), отвечающих кимберлитовым полям Сибирской провинции или их фрагментам. Для каждого из объектов вычислены средние арифметические значения, для этих значений подсчитаны коэффициенты корреляции (табл. 1). Средние содержания Sc варьируют от 10,2 (южная часть Алакитского поля) до 23,4 г/т (дайки Верхне-Моторчунского поля); Y — от 7,8 (группа трубки Искорка Алакитского поля) до 36,8 г/т (те же дайки Верхне-Моторчунского поля). Скандий и иттрий обнаружили значимую положительную корреляцию со всеми рассматриваемыми элементами, значимую отрицательную с величиной отношения Mg/Fe_{общ.}

Концентрации Sc и Y в отдельных образцах показаны на гистограммах (рис. 1, 2). Кимберлиты северной (слабоалмазоносной) части Сибирской провинции отличаются от кимберлитов южной (алмазоносной) ее части повышенными (в среднем) содержаниями Ti, Al, Fe_{общ.}, K, P, а также ряда малых и редких элементов — Sr, Ba, TR, Th, Zr, Nb. Особняком стоят кимберлиты Куойского