

УДК 552.54:551.72

ТЕКСТУРА “КОРЕННОГО ЗУБА” И ЕЕ СВЯЗЬ С ЭВОЛЮЦИЕЙ БИОСА

© 2003 г. В. Г. Кузнецов

Представлено академиком А.Н. Дмитриевским 18.03.2003 г.

Поступило 08.04.2003 г.

В конце XIX в. в ряде разрезов протерозойских отложений была описана своеобразная текстура карбонатных пород. Она представляет собой систему светлых кальцитовых жилок неправильной извилистой формы (изгибающиеся линзочки, “червячки” и т.д.) толщиной обычно в несколько миллиметров, пронизывающих темноокрашенные пласты доломитов и известняков и располагающихся под различными углами к границам слоев. В обнажениях кальцит жилок нередко растворяется, и образуется серия извилистых бороздок, желобков, и поверхность напоминает поверхность зубов слона, благодаря чему и получила свое название – molar tooth structure – MTS (рис. 1). В последние годы ей посвящен ряд публикаций [4, 5, 7, 8, 12].

На изучение подобных текстур или, точнее, отложений такого строения в значительной мере направлен международный проект программы UNESCO/IGCP 447 – Карбонаты и эволюция Земли в протерозое [9]. В рамках последнего осенью 2002 г. в Китае проведена специальная конференция с многодневными полевыми экскурсиями. Наблюдения во время этих полевых работ и послужили основой настоящего сообщения.

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.

В отдельных участках обнажений площади, занятые кальцитовыми прожилками, достигают 50–60% от общей площади содержащих их пластов.

Морфология этих 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 первых сантиметров, и длиной до 10–20 см, хотя имеются и более протяженные. Как правило, они в разной степени часто довольно сложно изогнуты, иногда более поздними трещинами разбиты на отдельные, смещенные относительно друг друга сегменты. Наряду с “одиночными” имеются и ветвящиеся жилки (рис. 2). Наиболее интересны “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 наслоения (рис. 2а). Имеются и противоположные случаи, когда кверху происходит расчленение единого “ствола” и появляются отдельные “ветви”.

Достаточно резко различаются состав и структура вмещающих пород и собственно содержащихся в них прожилков. В изученных разрезах Китая это темноцветные, почти черные, реже буро-желтые известняки и доломиты, обычно микрозернистые и пелитоморфные, часто сильно глинистые, иногда с примесью обломочных зерен алевритовой размерности. Желтый и бурый цвет вмещающих пород вероятнее всего вторичен. 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 происходит окисление рассеянного органического материала и содержащегося в породах железа и, соответственно, изменение цвета и одновременно растворение и вынос чистого кальцита из прожилков.

Текстура вмещающих пород микрослоистая – ламинитовая, образованная микробактериальными матами и корками, массивная однородная.

Сами жилки представлены светлым почти белым микрозернистым и равнозернистым чистым кальцитом с размером изометричных кристалликов в пределах 0.005–0.015 мм. Каких-либо текстур, в том числе биогенных, в жилках не обнаружено. Границы между прожилками и вме-

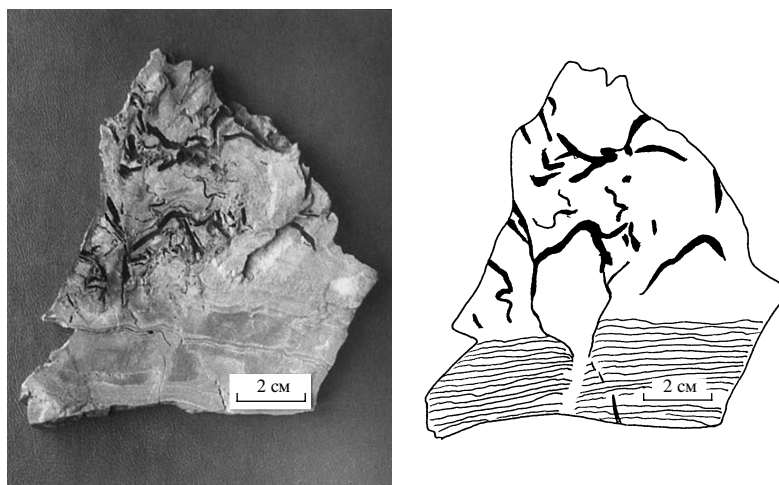


Рис. 1. Извилистые бороздки – карры, образованные за счет выщелачивания кальцитовых жилок – “текстура коренного зуба” (MTS). Снизу бактериально-слоистые доломиты, прорезанные трещинками, которые выше переходят в бороздки – MTS – в массивных мелкозернистых доломитах. Формация Ванлон, разрез Эрдаожан, провинция Гирин.

щающими породами весьма четкие, резкие, каких-либо взаимопереходов не обнаружено.

Взаимоотношения жилок с текстурными показателями вмещающих пород достаточно разнообразны. Наиболее общий случай – жилки под тем или иным углом пересекают слоистость, в том числе ламинитовую микробиальную. Нередки, однако, случаи, когда микробиальные слои довольно резко прогибаются вниз у нижнего окончания кальцитовой жилки, как бы проваливаются вниз, и образовавшаяся при этом трещинка заполнена светлым мелкозернистым кальцитом – сама жилка (собственно MTS) продолжается и выше (рис. 1, рис. 2б). Детальные наблюдения в обнажениях показывают, что верхние и нижние концы веретенообразных жилок как бы облекаются микрослойками вмещающих пород. Еще более отчетливо это видно в шлифах.

Прямолинейные явно тектонические трещины секут кальцитовые жилки MTS, нередко вызывая смещение отдельных их частей, т.е. являются более поздними образованиями.

Положение слоев с MTS в разрезах карбонатных циклитов достаточно закономерно. В целом они развиты в средних и верхних частях мелеющих к кровле циклитов – наиболее распространенных типов циклитов мелководных карбонатных толщ. К примеру, в разрезах формации Шисанлитай в районе Чипанмо циклиты имеют трехчленное строение. На поверхности перерыва даже с корочкой выветривания залегает пласт темноцветных ламинитов – тонкослоистых карбонатных микробиальных матов, мощностью 10–15 см. Выше располагаются опять-таки темноцветные карбонатные породы с обильными кальцитовыми прожилками – пласт с MTS, мощностью 30–35 см. Завершают разрез массивные карбонаты различ-

ной, видимо, более крупнозернистой структуры, в том числе спаритовой, но практически без MTS.

Справедливости ради надо отметить, что положение MTS в разрезах не всегда такое закономерное. Нередко MTS отмечаются и в ламинитах, хотя чаще кальцитовые жилки как бы начинаются в них и затем переходят в вышележащие отложения. Имеются также случаи выхода MTS прямо к кровле циклита и срезание их поверхностью перерыва (рис. 2а).

Весьма важной особенностью отложений с текстурами MTS является их достаточно четкое стратиграфическое положение. Все известные в мире проявления связаны с протерозоем, причем более 80% случаев с рифеем–вендом.

При установлении происхождения подобной текстуры необходимо использовать по крайней мере три показателя – структурные соотношения кальцитовых жилок с вмещающими отложениями, различный минеральный состав и структуру жилок и вмещающих пород и стратиграфическую приуроченность отложений подобного типа к рифею–венду.

Структурные соотношения прожилков с вмещающими породами позволяют говорить об образовании первичных трещинок за счет прорыва флюидов – своеобразного природного гидроразрыва с последующим их заполнением и, соответственно, консервацией кальцитом. В ряде случаев видно, что прорыв и удаление части вещества (в виде флюидов) образуют пустоты и проседание в них твердых практически литифицированных отложений, формируются своеобразные микроколлапсные структуры, особенно заметные в ламинитах. В других случаях прорыв флюидов, их “извержение” ведет в образованию “эксплозивных” брекчий, хорошо фиксируемых опять-таки доста-

точно прочными к тому времени обломками ламинитов.

О том же нередко свидетельствует и морфология прожилков. Иногда мелкие извилистые струйки соединяются и образуется единый более мощный и более прямолинейный и более вертикальный “ствол”, который кончается либо на границе перерыва (рис. 2а), либо при входе в более грубозернистые, т.е. более проницаемые, отложения, где происходит уже межзерновая фильтрация и нет необходимости создавать трещины. Пока струйки были маломощные, они поднимались вверх относительно затруднительно по извилистым относительно более проницаемым участкам. По мере соединения струй их энергия возрастала, они приобретали способность прорывать уже более прочную покрывку и подниматься более вертикально.

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

Объяснение этому, видимо, следует искать в строгой стратиграфической приуроченности текстур подобного рода. Рифей и венд – эпоха расцвета цианобактерий, практически единственных представителей биоты мелководных эпиконтинентальных морей, генерировавших и поставлявших в осадок органическое вещество [2]. При этом роль гетеротрофов, если они и существовали, в утилизации этого органического вещества была крайне ограничена, пищевые цепи были очень короткими. Длинные пищевые цепи и интенсивные трофические взаимоотношения в экосистемах фанерозоя ведут к активной биологической переработке первично произведенной биомассы и резко сокращают количество мортмассы, окончательно переходящей в осадок. Не было и илоедов, которые также сокращают количество органического вещества в осадке. В связи с этим диагенетическая переработка этого органического вещества заключалась главным образом, если не исключительно, в брожении, а с 1–1.2 млрд. лет и в окислении, т.е. генерации газов.

Чисто кальцитовый состав жилок в отличие от доломитового состава вмещающих пород, видимо, обусловлен двумя обстоятельствами. Первое – это специфическая геохимическая обстановка диагенеза, которая определяется значительными массами органического вещества, генерированного цианеями. Эта обстановка была благоприятна для садки магниезальных соединений, а не их растворения. Развивающиеся на 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. Это вело к де-

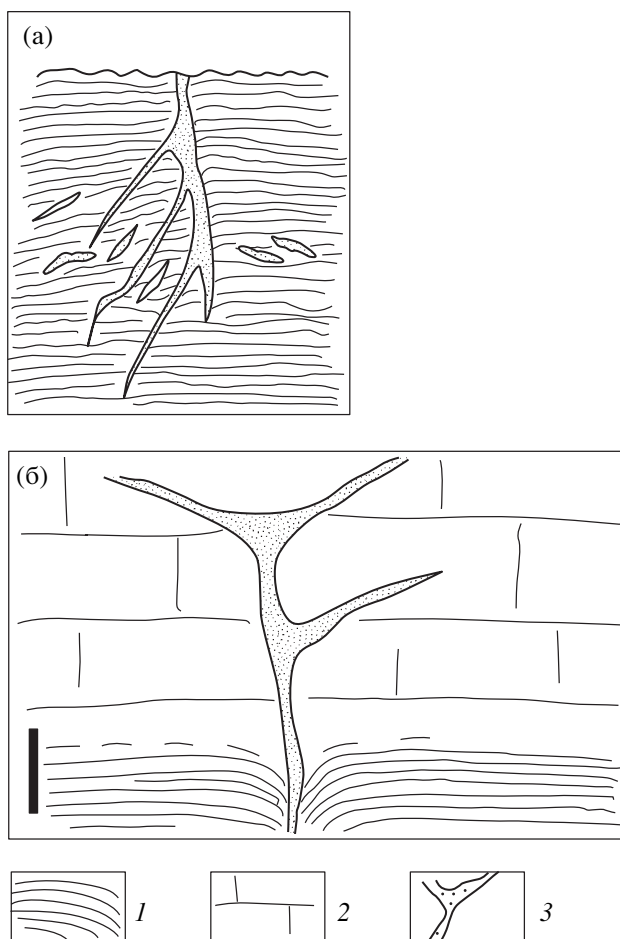


Рис. 2. Морфология некоторых кальцитовых жилок. а – формирование вертикальной относительно толстой жилки за счет соединения наклонных мелких жилок – форма “ствола и корневой системы”; формация Сянминкун, разрез Жиншитан, провинция Далин; высота рисунка 25 см. б – ветвление жилок к кровле пласта – форма “древесной кроны”; отчетливо видно проседание подстилающих ламинитов – микробияльно-слоистых доломитов, откуда начинается кальцитовая жилка; формация Ванлон, разрез Хунньянь, провинция Гирин. Масштабная линейка 2 см. 1 – мелкозернистые доломиты; 2 – массивные доломиты; 3 – кальцитовые жилки.

фициту анионов и избытку катионов и магния в частности. В этих условиях магний легче образовывал малорастворимые карбонаты и гидраты оксидов или органометаллические комплексы. Подобные процессы установлены, в частности, на современных осадках, где в оболочке цианобактерий концентрация магния возрастает в 3–4 раза. Это 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 [3]. Осаждение доломита в присутствии сульфатредуцирующих бактерий было показано экспериментально и на примере современных

осадков [10, 11]. Таким образом, расцвет цианобактериальных сообществ в рифее определил преобладающее накопление доломитов (частично и магнезитов) по отношению к известнякам. Карбонаты кальция в этой обстановке в виде бикарбонатов оставались в иловом растворе.

Второе обстоятельство – образовавшийся в диагенезе диоксид углерода частично растворялся в иловых водах, способствовал растворению твердой карбонатной фазы осадка, и прежде всего его наиболее реакционноспособной части – карбоната кальция, переводя его в растворимый бикарбонат. При этом менее растворимый доломит сохранялся в осадке.

По достижении определенного критического объема газовой фазы давление в осадке возрастало и в конце концов происходил прорыв, газы устремлялись вверх, формировали извилистые, а затем и более прямолинейные трещинки или дробили полулитифицированные отложения, что обусловило формирование брекчий. Эти каналы дегазации тут же заполнялись иловыми растворами, пересыщенными растворенными в них бикарбонатами кальция. Прорыв и удаление углекислого газа вели к мгновенному падению давления, что в свою очередь способствовало распаду бикарбоната и обратному выпадению карбоната кальция. Быстрота процесса обусловила микрозернистую и равнозернистую структуру образовавшегося кальцита и одновременно вела к заполнению им каналов дегазации, что и предохранило их от замыкания в результате сдавливания.

Наблюдения над формой прожилков и особенно их резкие границы с вмещающими породами показывают, 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 и прочным. Именно поэтому в шлифах и частично в образцах отмечаются следы более позднего уплотнения вмещающей массы и облекания кальцита трещинок. Уплотнение при дальнейшей литификации основной массы породы, вероятно, вело и к более поздней деформации и дополнительному изгибанию и самих кальцитовых жилков.

Подобный механизм формирования MTS объясняет появление такой текстуры именно в микрозернистых разностях и микробактериальных ламинитах. Эти водонасыщенные, а затем и полужатвердевшие осадки были изначально непроницаемы, и образующиеся в диагенезе газы не могли свободно удаляться из них, пока объем газов не достигал

некоторой критической величины, когда избыточное давление вызывало их прорыв и практически мгновенную дегазацию. Но осадки к этому времени уже достаточно литифицируются. В отложениях со столбчатыми строматолитами подобных текстур не наблюдается или они редки. Видимо эти образования прежде всего из-за своей морфологии представляют собой более открытую систему, лучше аэрируемую при образовании и более проницаемую в диагенезе, благодаря чему образующиеся газы не задерживаются и быстро удаляются.

Представляется принципиально важной синхронизация времени распространения текстур MTS и развития строматолитообразующих цианобактерий. Связь эта, скорее всего, является не генетической, а опосредованной и обусловлена общим развитием биоты – сменой цианобактериальных сообществ значительно более разнообразным и более высокоорганизованным сообществом организмов, что и обусловило ликвидацию широко развитых в рифее микрозернистых непроницаемых биохомогенных отложений, существенно обогащенных органическим веществом, и формирование зернистых, органогенных в узком смысле слова более проницаемых карбонатных осадков в фанерозое. Фанерозойские образования такого типа с микробактериальными матами, во-первых, уже не производили такого количества органического вещества, и, во-вторых, количество кислорода было значительно больше.

Поэтому определенные гомологи рифейских MTS – это лофериты и текстуры птичьих глазок, где диагенетическое газообразование было более ограничено и не достигает масштабов подобных процессов в рифее.

З а к л ю ч е н и е. В протерозойских карбонатных отложениях установлена своеобразная текстура – многочисленные часто червеобразно изгибающиеся жилки, прослойки и линзочки светлого микрокристаллического кальцита. Формирование этих жилок связано с генерацией газов, образующихся при деструкции органического вещества с цианобактериальных матов. Массовое развитие цианей в протерозое обусловило формирование подобных текстур именно в протерозое.

Автор считает приятной обязанностью выразить искреннюю благодарность профессорам Менг Сянхуа, Ге Минг и Шао Лонгуи за помощь в изучении описываемых текстур во время полевых работ и полезные дискуссии.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 02–05–64181).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов В.Г. // ДАН. 2001. Т. 378. № 3. С. 366–369.

2. Соколов Б.С. // Геология и геофизика, 1999. Т. 40. № 10. С. 1389–1396.
3. Baker P., Kastner M. // Science. 1981. V. 213. P. 214–216.
4. Fairchild I.J., Einsele G., Song T. // Sedimentology. 1997. V. 44. № 4. P. 611–636.
5. Furniss G., Rittel J.F., Winston D. // J. Sediment. Res. 1998. V. 68. № 1. P. 104–114.
6. Gebelein C.O., Hoffman P. // J. Sediment. Petrol. 1973. V. 43. № 3. P. 602–613.
7. James N.P., Narbonne G.M., Sherman A. // J. Sediment. Res. 1998. V. 68. № 5. P. 716–722.
8. Meng Xianghua, Ge Ming. In: Newsresearch of UNESCO/IUGS IGCP 447. Beijing: China Univ. Geosci. 2002. P. 20–22.
9. Newsresearch of UNESCO/IUGS IGCP 447. Beijing: China Univ. Geosci. 2002. 79 p.
10. Vasconcelos Cr., McKenzie J.A. // J. Sediment. Res. 1997. V. 67. № 3. P. 378–390.
11. Vasconcelos Cr., McKenzie Ju., Bernasconi St., Grujic D. // Nature. 1995. V. 377. P. 220–222.
12. Winston D., Rittel J.F., Furniss G. // J. Sediment. Res. 1999. V. 69. № 5. P. 1140–1145.