

Текстура конус-в-конусе: новые данные

И. Х. Шумилов

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, 167982, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, 54, e-mail: shumilov@geo.komisc.ru

Поступила в редакцию 01.02.2019 г., принята к печати 15.04.2019 г.

Предмет исследований. В статье приведены результаты изучения кальцитовых линз с текстурой конус-в-конусе из терригенных глинистых отложений среднего девона на Среднем Тимане. **Методы.** Изучение петрографических шлифов проводилось с помощью поляризационного микроскопа Nikon eclipse LV100 ND с фотокамерой Nikon DS Fi2, шлифов полированных и протравленных HCl – на сканирующем электронном микроскопе JSM-6400 Jeol с энергодисперсионным спектрометром ISIS Link и волновым спектрометром Microspec. Разложение карбонатов и измерение изотопного состава углерода в режиме непрерывного потока гелия производились на аналитическом комплексе ThermoFisher Scientific. **Результаты.** Установлено, что кальцитовые тела сложены мозаичными блок-кристаллами и имеют структуру кристаллической щетки. Кальцит отличается аномально низкими значениями $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$ – до -23.5‰ . Детально изучены глинистые пленки и включения слойков аргиллита. Установлен механизм образования пилообразной верхней границы слойков – локальное замещение алюмосиликатов кальцитом с сохранением реликтовой слоистой текстуры. **Выводы.** Предложен новый частный вариант кристаллизационной модели генезиса карбонатных тел со структурой конус-в-конусе.

Ключевые слова: текстура конус-в-конусе, кристаллизационная модель, девон, Средний Тиман

Благодарность

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 20-05-00445А.

Cone-in-cone structure: New data

Igor' Kh. Shumilov

N.P. Yushkin Institute of Geology, Komi Science Center, Ural Branch of RAS, 54 Pervomayskaya st, Syktyvkar 167982, Russia, e-mail: shumilov@geo.komisc.ru

Received 01.02.2019, accepted 15.04.2019

Research subject. The article presents the results of investigating calcite lenses with a cone-in-cone structure from Middle Devonian clay terrigenous deposits in the Middle Timan. **Methods.** The investigation of petrographic thin-sections was carried out using a polarizing microscope Nikon eclipse LV100 ND equipped with a Nikon DS Fi2 camera. Polished sections etched with HCl were examined using a scanning electronic microscope JSM-6400 Jeol with a power dispersive spectrometer ISIS Link and a wave spectrometer Microspec. The decomposition of carbonates and the measurement of isotope carbon composition in the mode of continuous helium stream were carried out using a ThermoFisher Scientific analytical complex. **Results.** It is established that the investigated calcite bodies consist of mosaic block crystals having a drusy structure. Calcite is characterized by abnormally low values $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ – up to -23.5‰ . Clay films and soapstone inclusions were studied in detail. The formation mechanism of the saw-tooth profile of the upper bound of these inclusions was determined, which consists in the local substitution of aluminosilicates with calcite under the maintenance of their relic layered texture. **Conclusions.** A new version of the crystallization model of carbonate body genesis with a cone-in-cone structure is proposed.

Keywords: cone-in-cone structure, crystallizational model, Devonian, Middle Timan

Acknowledgements

The work was supported by the RFBR, grant 20-05-00445A.

Для цитирования: Шумилов И.Х. (2020) Текстура конус-в-конусе: новые данные. *Литосфера*, **20**(1), 76–92. DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-1-76-92

For citation: Shumilov I.Kh. (2020) Cone-in-cone structure: New data. *Litosfera*, **20**(1), 76–92. DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-1-76-92

ВВЕДЕНИЕ

Текстуры конус-в-конусе (конус в конус, сложные конусы, фунтиковая текстура, cone-in-cone, con-in-con) достаточно давно известны: впервые были упомянуты Давидом Уром в книге “История Рудзерглина и Восточного Кильбрайда в Шотландии”, опубликованной в 1793 г. Наиболее широко развиты кальцитовые образования с текстурой конус-в-конусе, гораздо реже встречаются гипсовые, сидеритовые, пиритовые, силикатные, угольные (Woodland, 1964; Carstens, 1984; Becq-Giraudon, 1990; Колокольцев, 2002; Lugli et al., 2005).

Кальцитовые прослои и линзы с данной текстурой толщиной от 1 до 50 см распространены в карбонатных и терригенно-карбонатных разрезах всех возрастов, часто приурочены к толщам с повышенным содержанием органического вещества или к перекрывающим их породам, к границам раздела карбонатных отложений различного типа и стратиграфическим несогласиям в них. Нередко они встречаются как каймы и оторочки, развитые вокруг карбонатных конкреций и биогермов, отмечены внутри конкреций и в псевдоморфозах по органике (Woodland, 1964; Fairbridge, Rampino, 2003; Boggs, 2005; Тугарова, Синай, 2011; Тугарова, 2014; Колокольцев, 2015). Иногда слои имеют широкое площадное распространение и могут использоваться в качестве коррелятов (Матвеев, 1948; Бадида и др., 2015).

Текстура характеризуется своеобразной системой вложенных друг в друга конусов, разделенных пленками глинистого вещества. Высота конусов варьирует от первых миллиметров до 10, редко 20 см, обычно их максимальный размер коррелирует с общей мощностью слоя. Коническое строение хорошо видно на выветрелой поверхности слоя и в полированных вертикальных срезах. По данным различных авторов, ориентировка конусов может быть совершенно разной: сверху вниз, снизу вверх, в сторону от окруженного тела (конкрекции, линзы, пласта), к телу.

Следует особо подчеркнуть, что во всех проанализированных автором работах, посвященных объектам с текстурой конус-в-конусе, речь идет о сложении их расщепленными кристаллами в виде волокнистых, сноповидных, радиально-лучистых агрегатов.

История исследования образований с текстурой конус-в-конусе длится более двух веков, но до сих пор нет ясности в их генезисе. В.Г. Колокольцев (2002, с. 616) пишет: “Несмотря на обилие существующих сегодня генетических гипотез, по мнению большинства геологов, они не могут ответить на многие вопросы, возникающие при изучении cone-in-cone, и ни одну из них нельзя считать вполне объясняющей явления возникновения этих интересных образований”. И, как справедливо от-

метили М.А. Тугарова и М.Ю. Синай (2011, с. 248), “в целом ряде учебных пособий, а также в Геологическом словаре ... генезис фунтиковой текстуры скромно умалчивается”. Помимо дискуссионности механизма образований текстуры нет ясности и со временем его реализации. Так, например, его считают и раннедиагенетическим (Тугарова, 2014; и др.), и позднедиагенетическим (Зарицкий, 1977; и др.), и эпигенетическим (Логвиненко, 1983; и др.).

Обобщая данные отечественных и зарубежных литературных источников, гипотезы о генезисе текстур конус-в-конусе и их вариации можно разделить на несколько групп:

- литостатического давления и растворения,
- газовую,
- кристаллизационную,
- седиментационную,
- микробиолитическую,
- полигенную.

Последняя подразумевает не только то, что в каждом конкретном случае к образованию текстур может быть причастен любой из перечисленных механизмов (Наливкин, 1956), но и то, что возникать они могут на любой стадии литогенеза (Тедорович, 1963).

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ

При исследовании средне- и верхнедевонских терригенных отложений на Цилемской площади Среднего Тимана (Тельнова, Шумилов, 2017; Шумилов, Тельнова, 2017) в породах цилемской свиты в чередобнажений на протяжении 7 км на одном стратиграфическом уровне был обнаружен прерывистый кальцитовый слой с текстурой конус-в-конусе.

Обнаженный разрез средней части свиты имеет следующее строение (рис. 1). Начинается разрез с пачки аргиллитов алевролитистых серо-зеленого цвета, интенсивно рассланцованных. Обнаружено два слоя эллипсоидальных (длиной до 20, толщиной до 14 см) сидеритовых конкреций в кровле и на 0.3 м ниже. В породах помимо мелкого пылеватого углефицированного растительного детрита встречаются единичные крупные фрагменты наземных растений. Также в нижней части отмечены довольно многочисленные фрагменты панцирных рыб. Мощность пачки составляет более 6 м.

Выше залегает пачка алевролитов глинистых голубовато-серых, сильно рассланцованных. Зафиксированы два слоя микроконкреций манганосидеритовых, приуроченных к перерывам в осадконакоплении (МКПОН) (Атлас конкреций..., 1988; Фролов, 1993; Шумилов, 2008) толщиной до 4 см в 1.0 и 1.5 м от подошвы пачки. Мощность пачки 1.8 м.

Далее следует апопелловый (по пеплу основного состава) слой глин иллитового состава нежно-зеленого цвета, пластичных, жирных, мощностью до 0.3 м.

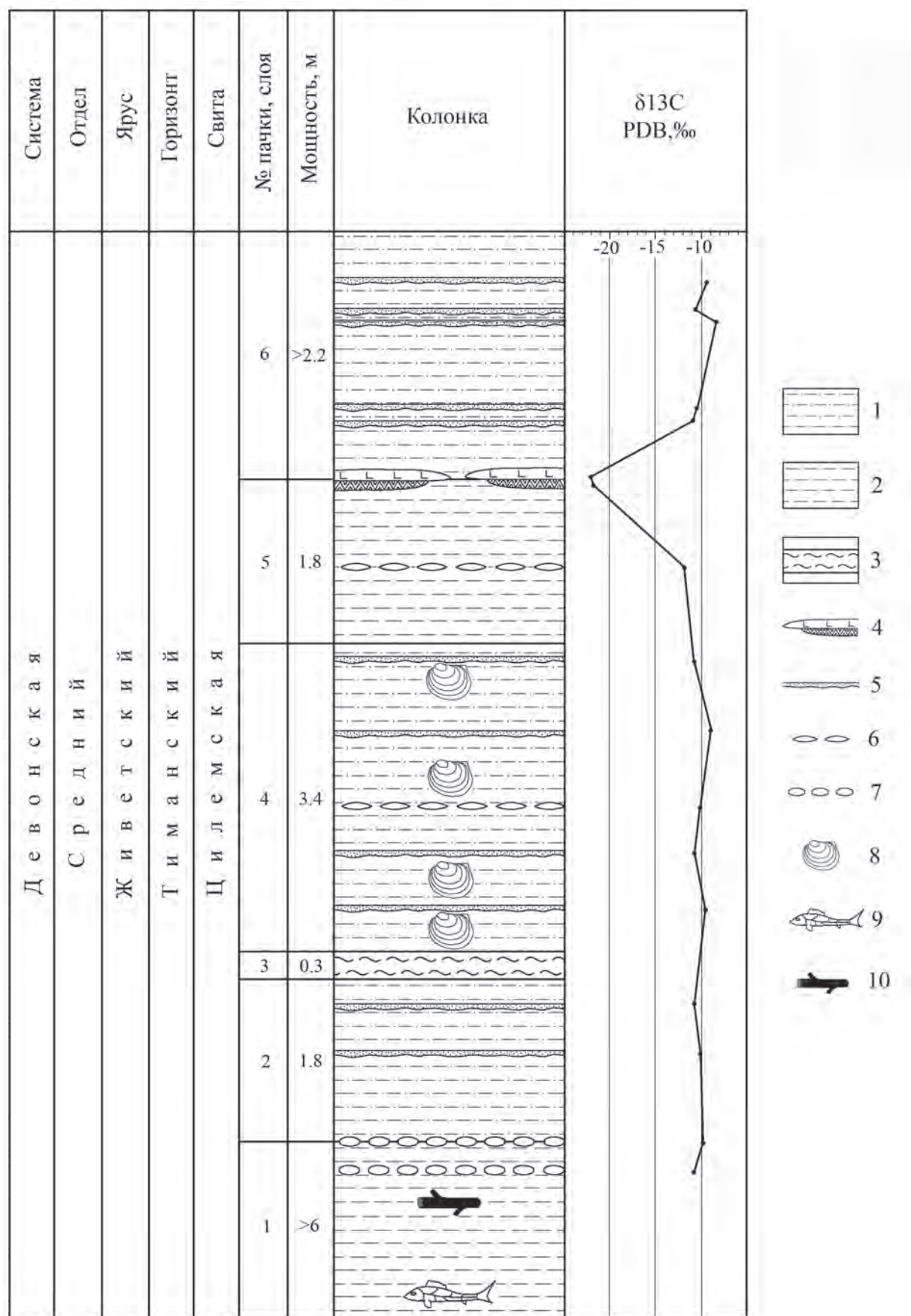


Рис. 1. Литолого-стратиграфическая колонка нижней части цилемской свиты.

1 – глинистый алевролит; 2 – алевролитистый аргиллит; 3 – слой глины иллитового состава; 4 – двойные слой-линзы, сложенные туфом основного состава сверху и кальцитом с текстурой конус-в-конусе снизу; 5 – микроконкреционные слои перерывов осадконакопления; 6 – слои линзовидных конкреций; 7 – слои эллипсоидальных конкреций; 8 – раковины конхострак; 9 – остатки панцирных рыб; 10 – крупные фрагменты углефицированных наземных растений.

Fig. 1. Lithology-stratigraphic column of the lower part of Tsilma formation.

1 – clayey siltstone; 2 – silty soapstone; 3 – illite clay layer; 4 – the doubled lenses: tuff (upper) and calcite with a cone-in-cone texture (lower); 5 – microconcretion layers of breaks of sedimentation; 6 – layers of concretion lenses; 7 – layers of ellipsoidal concretions; 8 – conchostracan shells; 9 – remains of armor-clad fishes; 10 – large fragments of the carbonized land plants.

Пачка алевролитов глинистых темных, голубовато-серых, рассланцованных на тонкие чешуйки, покрытых буро-черными пленками и натеками гидроокислов железа. Особенностью отложений является обилие захороненных раковин конхострак, количество которых постепенно убывает вверх по разрезу. Отмечено присутствие мелких угольных включений. Обнаружены слои конкреций двух морфологических типов: четыре слоя МКПОН в 0.5, 1.1, 2.4, 3.2 м от подошвы пачки, и в средней части (1.6 м от подошвы) – горизонт сидеритовых линзовидных конкреций (длиной до 16, толщиной до 3.5 см). Мощность пачки составляет 3.4 м.

Пачка аргиллита алевролитистого голубовато-серого с явным зеленым оттенком, рассланцованного. Отличительной особенностью пород является белесый карбонатный налет на выветрелой поверхности. Помимо мелкого углефицированного растительного детрита других органических остатков не обнаружено. В 0.8 м от подошвы залегает горизонт линзовидных сидеритовых конкреций (длиной до 20, толщиной до 5 см). В кровле пачки обнаружен горизонт линзообразных тел из туфа и кальцита с текстурой конус-в-конусе. Мощность пачки достигает 1.8 м.

Венчает разрез пачка алевролита глинистого серого с зеленоватым оттенком, рассланцованного на тонкие чешуйки. Отмечен мелкий угольный детрит. Обнаружено пять слоев мanganосидеритовых МКПОН толщиной 2–5 см в 0.6, 0.9, 1.8, 1.9 и 2.2 м от подошвы. Мощность пачки более 2.2 м.

Как показано выше, на границе пятой и шестой пачек обнаружен горизонт линзовидных тел длиной по 5–7 м, сложенных разнородными слоями (рис. 2а, б). Верхний, более протяженный (в каждой линзе), слой представлен голубовато-зеленым прочным и плотным вулканическим туфом с более светлыми желтоватыми пятнами (рис. 2в). Сложена порода остроугольными обломками вулканического стекла основного состава сложных и ажурных очертаний, часто пузырчатых, окрашенных в темно-зеленые и буроватые цвета. В голубовато-зеленых участках породы цементом служит железистый хлорит, развившийся, по-видимому, по пылеватой фракции вулканического пепла, в светлых – кальцит, замещающий хлорит. Толщина слоя достигает 8 см.

Нижний слой в линзах сложен кальцитом с текстурой конус-в-конусе, хорошо видимой на выветрелой поверхности (рис. 2г), его толщина достигает 6 см. Данный слой всегда имеет меньшую протяженность, чем перекрывающий его туфовый. Следует отметить, что во всем разрезе отложений цилемской свиты только эти тела из присутствующих карбонатных образований являются кальцитовыми, остальные – сидеритовые, мanganосидеритовые.

Образцы для дальнейших исследований отбирались с обязательной маркировкой кровли и подошвы слоя.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Макроскопически образцы изучались в свежих сколах и полированных срезах, ориентированных в вертикальной и горизонтальной плоскостях. В свежих сколах текстура просматривается неявно, отмечается наличие трехгранных выколов с ровной блестящей поверхностью, вполне отчетливо видны включения глинистых серых изогнутых слойков с характерной зубчатой верхней кромкой (рис. 3а). Отметим, что по внешнему виду эти включения идентичны вмещающей породе. В прикровельной части просматривается зона толщиной около 5 мм с явно иной структурой.

В полированных вертикальных срезах (рис. 3б) основная кальцитовая масса окрашена в темный медово-желтый цвет, по многочисленным трещинам спайности просвечивает в светло-желтых тонах; тонкие пленки включений, трассирующие конусы, имеют буровато-коричневую окраску. Достаточно контрастно выделяются темно-серые относительно крупные включения, имеющие преимущественно V- и Λ-образные очертания (рис. 4), часто с мелкозубчатой (пилообразной) верхней границей, толщиной до 2 мм и длиной до 2 см. В наиболее толстых просматривается нечеткая параллельная слоистость преимущественно за счет многочисленных тонких мелких включений угля черного цвета. В распределении этих слойков-включений просматривается как минимум два субгоризонтальных уровня их массового сонахождения: примерно в 1/3 и 1/4 толщины кальцитового слоя от кровли. Отчетливо видны зоны с ромбическими системами трещинок совершенной спайности. Тре-

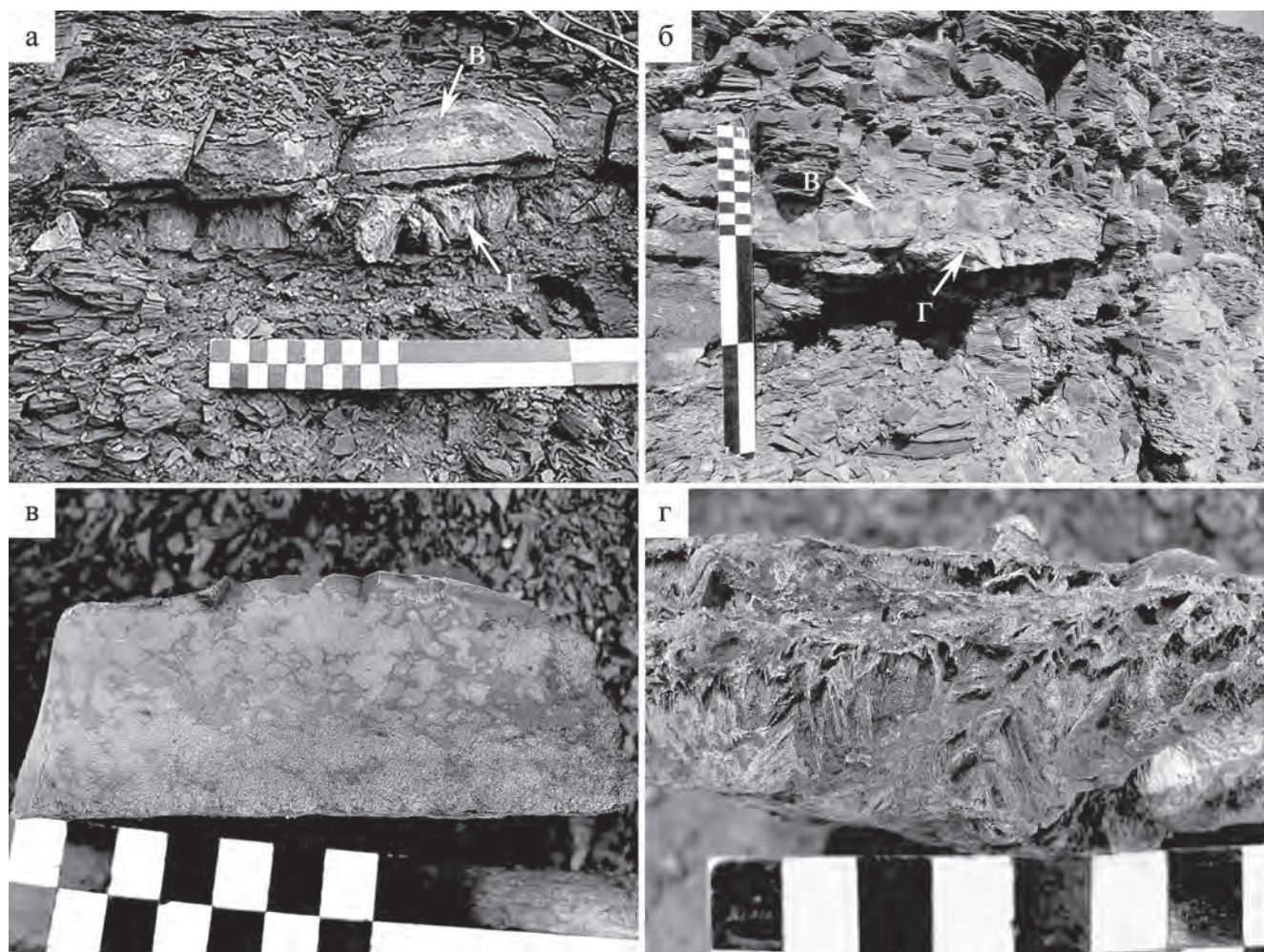


Рис. 2. Сдвоенный слой.

а – обн. Р-3, б – обн. Р-5, в – слой карбонизированного туфа, г – выветрелая поверхность кальцитового слоя с текстурой конус-в-конусе. Деления на линейке – 1 и 10 см.

Fig. 2. Doubled layer.

а – the outcrop Р-3, б – the outcrop Р-5, в – layer of carbonized tuff, г – weathered surface of calcite layer with cone-in-cone structure. Scale bars are 1 and 10 cm.

щинки прямолинейные и параллельные друг другу. В верхней части (5–7 мм ниже кровли) заметна субгоризонтальная граница, по которой расположены мелкие линзы более светлого кальцита с перламутровым отливом за счет параллельно-волокнистой структуры. Выше границы следует карбонизированный алевролитистый аргиллит, довольно резко переходящий в бескарбонатный. Следует заметить, что между слоем туфа и слоем кальцита залегает прослой вмещающего аргиллита толщиной 2–5 мм.

Микроскопические исследования шлифов вертикальных и горизонтальных срезов проводились в поляризованном свете с помощью микроскопа Nikon eclipse LV100 ND с фотокамерой Nikon

DS Fi2, аншлифов полированных и протравленных HCl – на сканирующем электронном микроскопе JSM-6400 Jeol с энергодисперсионным спектрометром ISIS Link и волновым спектрометром Microspes (ЦКП “Геонаука” ИГ Коми НЦ УрО РАН¹, аналитик В.Н. Филиппов).

В проходящем свете видно сложное строение породы с наличием нескольких порядков конусных фигур (рис. 5а). Самые мелкие конусы первого порядка (рис. 5б) с размером сторон 0.1–0.5 мм наиболее распространены в приподошвенной части слоя и над каждой серией включений слойков породы. Видны они за счет буроватых пленок минеральных примесей

¹ Здесь же выполнены и другие анализы.

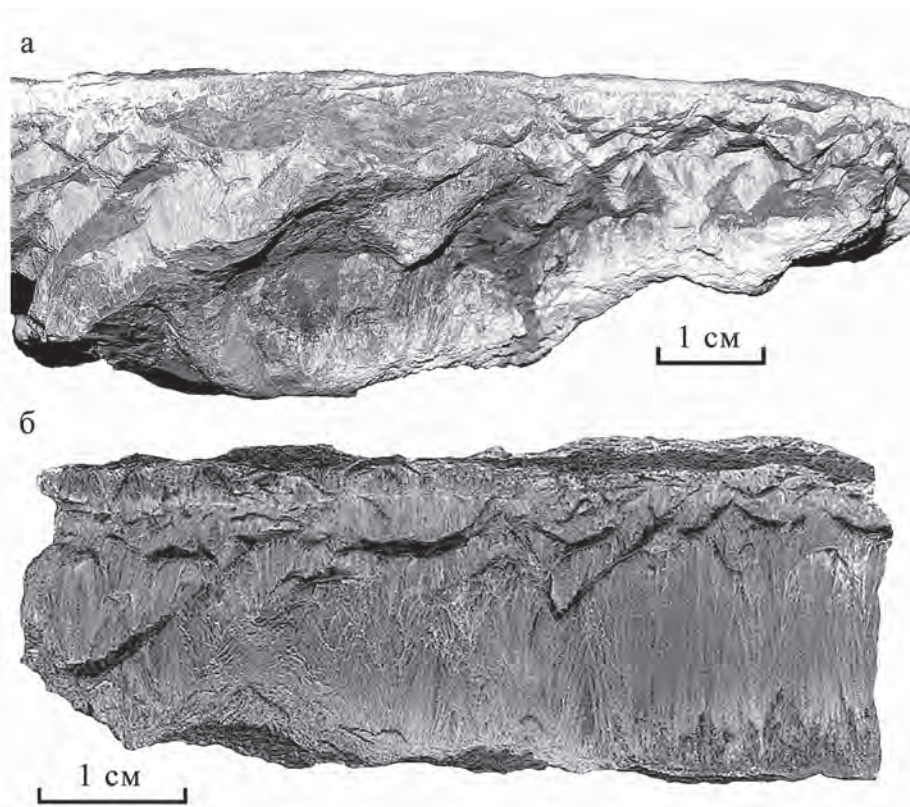


Рис. 3. Кальцитовый слой с текстурой конус-в-конусе.

а – свежий скол, б – полированный вертикальный срез.

Fig. 3. Calcite layer with cone-in-cone structure.

а – a fresh chip, б – a polished vertical cut.

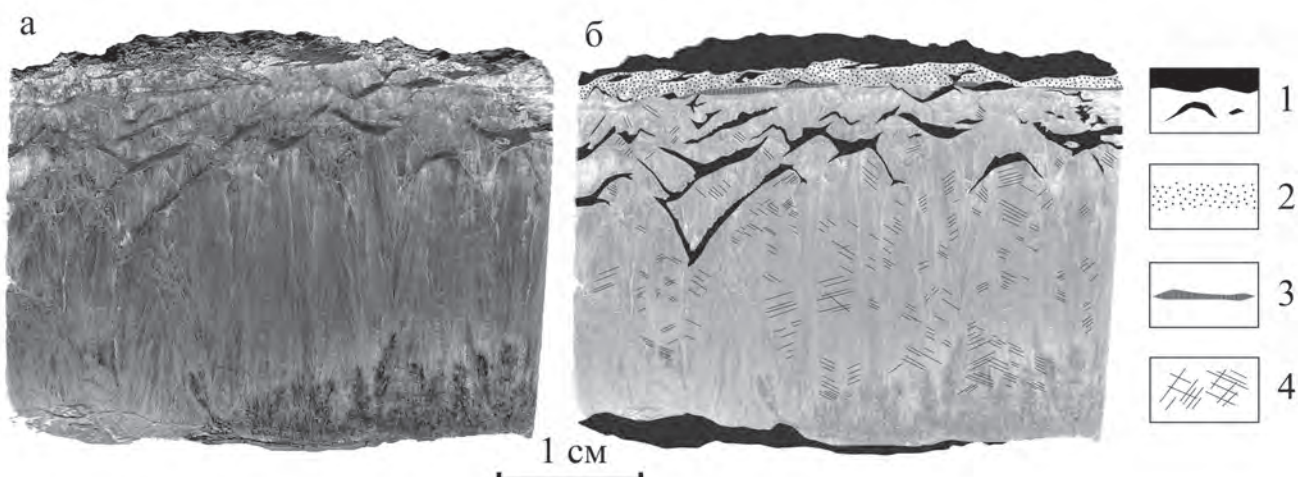


Рис. 4. Сканограмма полированного вертикального среза (а) и калька с выделенными элементами строения (б).

1 – вмещающая порода и включения слоев породы, 2 – карбонизированная вмещающая порода, 3 – линзы шестоватого кальцита, 4 – хорошо различимые трещины спайности.

Fig. 4. Scanogramme (a) of polished vertical cut and a sketch (b) with the allocated structure elements.

1 – host rock and rock laminae, 2 – carbonized host rock, 3 – lenses of fibrous calcite, 4 – well distinguishable cracks of an eutomatic cleavage.

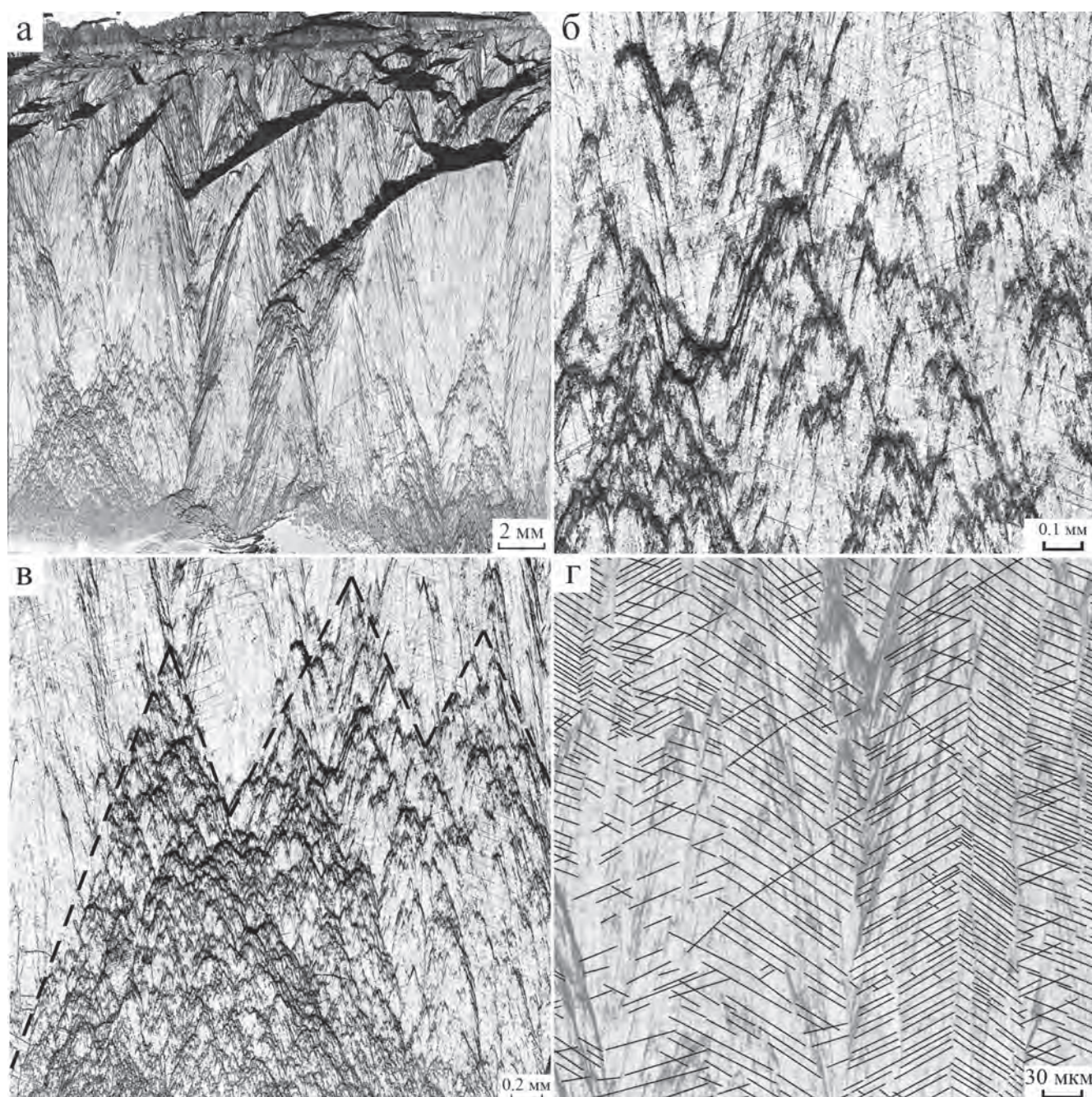


Рис. 5. Фотоплан шлифа.

а – общий вид, б – конусы первого порядка, в – конусы второго порядка, г – калька фрагмента шлифа с системами трещин спайности; без анализатора.

Fig. 5. Photoplan of a thin section.

а – a general view, б – the first range cones, в – the second range cones, г – a sketch of a thin section fragment with an eutomous cleavage system; without an analyzer.

треугольных очертаний с вершинами, обращенными к кровле. Исследования шлифов при больших увеличениях показали, что пленки имеют толщину 10–50 мкм, в большинстве случаев сложены рассеянными минеральными обломками, окислы железа

пропитывают кальцит и обволакивают зерна включений (рис. 6а). В СЭМ при изучении протравленных образцов было установлено, что кластогенный материал представлен кварцем размером 1–15 мкм с корродированной поверхностью (рис. 6б).

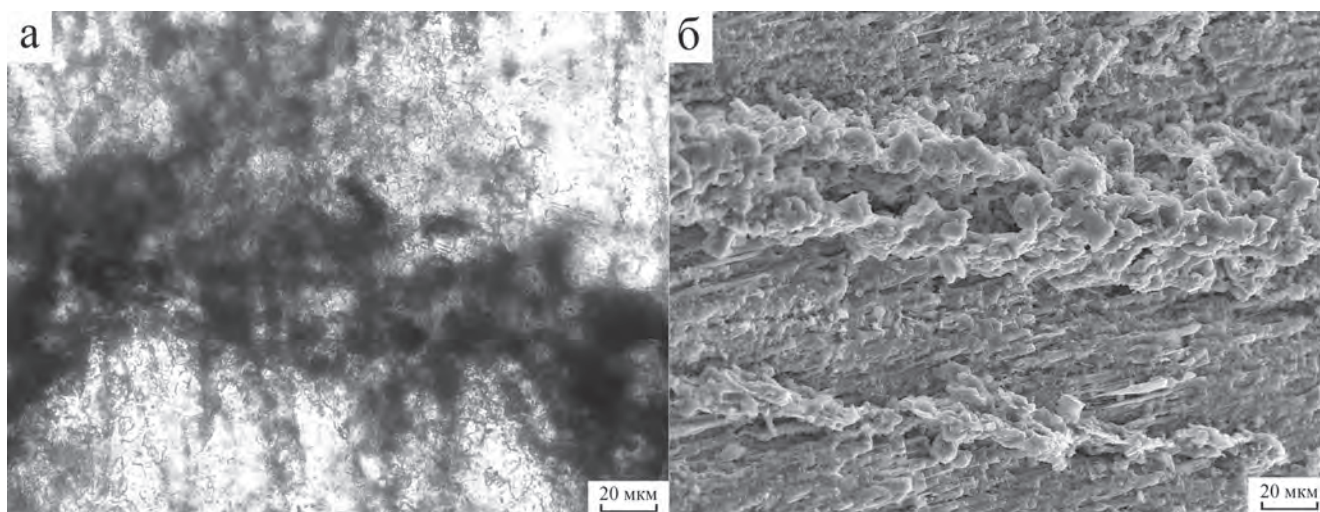


Рис. 6. Пленка в кальците.

а – в шлифе, без анализатора; темное – гидроокислы железа; б – скопления обломков кварца в виде гребней в протравленном образце; СЭМ, изображение во вторичных электронах.

Fig. 6. Film in calcite.

а – in a thin section, without analyzer; dark – iron hydroxides; б – congestions of quartz grains as a crest, the pickled sample; SEM, SE.

Конусы второго порядка объединяют в себе скопления вышеописанных фигур, имеют нечеткие пунктирные очертания из крайних генераций пленок мелких конусов (см. рис. 5в), которые располагаются довольно закономерно и ритмично – нечеткими слоями через каждые 0.1–0.2 мм. Размер конусов второго порядка по вертикальной оси в приподошвенной части слоя составляет около 6–8 мм, над крупными (протяженными) включениями слойков породы – 2–4 мм. Конусы первого и второго порядков обладают наиболее правильными геометрическими параметрами, поэтому в них удобнее измерять углы их вершин, составляющие 30–40°.

Самые крупные, третьего порядка, конусы вмещают в себя конусы более мелких порядков, имеют близкие размеры и довольно равномерно распределены по площади шлифа (объему тела). Внутри у них хорошо видны почти прямолинейные пленки из минеральных включений, чередующиеся каждые 0.2–0.5 мм. Их толщина составляет 50–100 мкм, а микронзондовые исследования позволили установить, что в срединных частях помимо кварца присутствуют глинистые минералы, представленные шамозитом и гидрослюдами с незначительной примесью смектитов. Конусы нижней серии перекрываются включениями слойков породы, которые покрывают V-образные углубления между конусами и Λ-образные вершины конусов. Если на пути роста конуса включение слойка породы отсутствует, то конус пронизывает почти всю толщину кальцитового слоя, достигая высоты около 2 см. Выше включений слойков породы начина-

ются новые серии конусов всех порядков, а сами включения слойков породы выступают в роли новой подложки.

В прикровельной части слоя кальцита конусы становятся менее выраженными, их размеры уменьшаются, ориентировка начинает варьировать в широком диапазоне, появляются радиально-лучистые и сноповидные агрегаты. Выше они уступают место микрозернистому кальциту, сменяющемуся, в свою очередь, в самой кровле цепочкой из линз параллельно-волокнистого кальцита (рис. 7). Толщина линз достигает 0.8 мм, диаметр кальцитовых волокон измеряется первыми микрометрами.

Следующим, что обращает на себя внимание, является множество трещин спайности – их гораздо больше, чем наблюдалось в полированных образцах невооруженным глазом, почти нет участков, где бы они отсутствовали (см. рис. 5г). Зоны с одинаковой ориентировкой систем трещин вытянуты в вертикальном направлении и, как правило, группируются внутри конусов третьего порядка.

При включенном анализаторе и просмотре шлифов при увеличении в 100 раз видна блочно-мозаичная структура основной массы кальцита (рис. 8). Блоки вытянуты в вертикальном направлении, их ширина в основном колеблется от 0.1 до 0.5 мм, реже вдоль границ наиболее крупных конусов достигает 1.5 мм. Волнистого и крестообразного погасания не наблюдается, за исключением небольших участков в прикровельной части слоя, где локализованы радиально-лучистые, сноповидные и параллельно-волокнистые агрегаты.

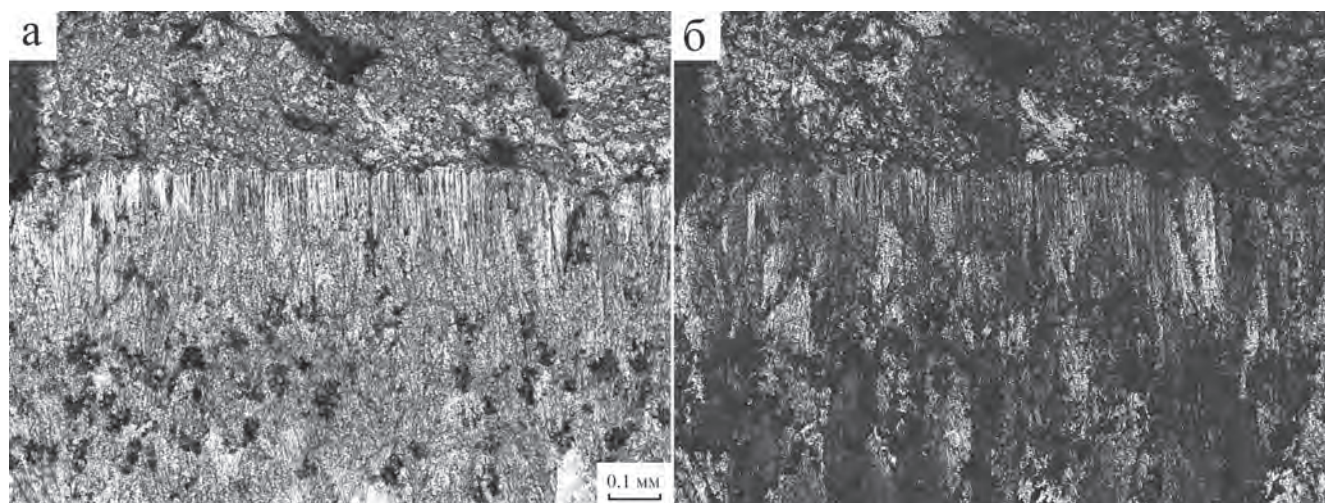


Рис. 7. Слоек-линза параллельно-волокнистого кальцита.

а – без анализатора, б – с анализатором. Внизу – микрокристаллический кальцит, выше – кальцитизированная порода, темное – выделения гидроокислов железа.

Fig. 7. Lamina-lense of fibrous calcite.

а – without analyzer, б – with analyzer. Microcrystalline calcite is below, carbonized host rock is upper, dark – iron hydroxides.

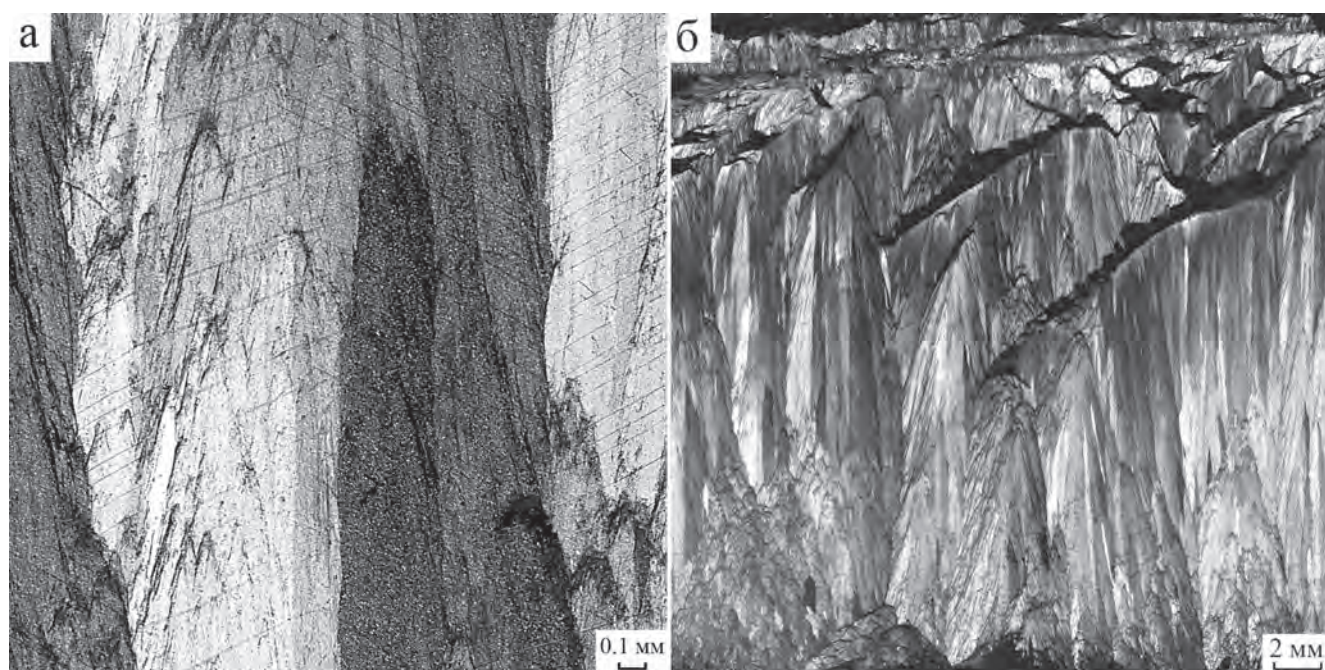


Рис. 8. Структура кальцита при включенном анализаторе.

а – поле зрения при $\times 100$, б – фотоколлаж (фотоплан) всего шлифа.

Fig. 8. Calcite structure, thin section, crossed bars.

а – field of view by $\times 100$, б – photocollage of a hole thin section.

Кроме того, при скрещенных николях удалось обнаружить тонкие (толщиной до 50 мкм) линзы параллельно-волокнистого кальцита непосредственно

под включениями слоев породы. При этом тяготеют линзы к пологонаклонным и субгоризонтальным участкам подошв этих включений слоев породы.

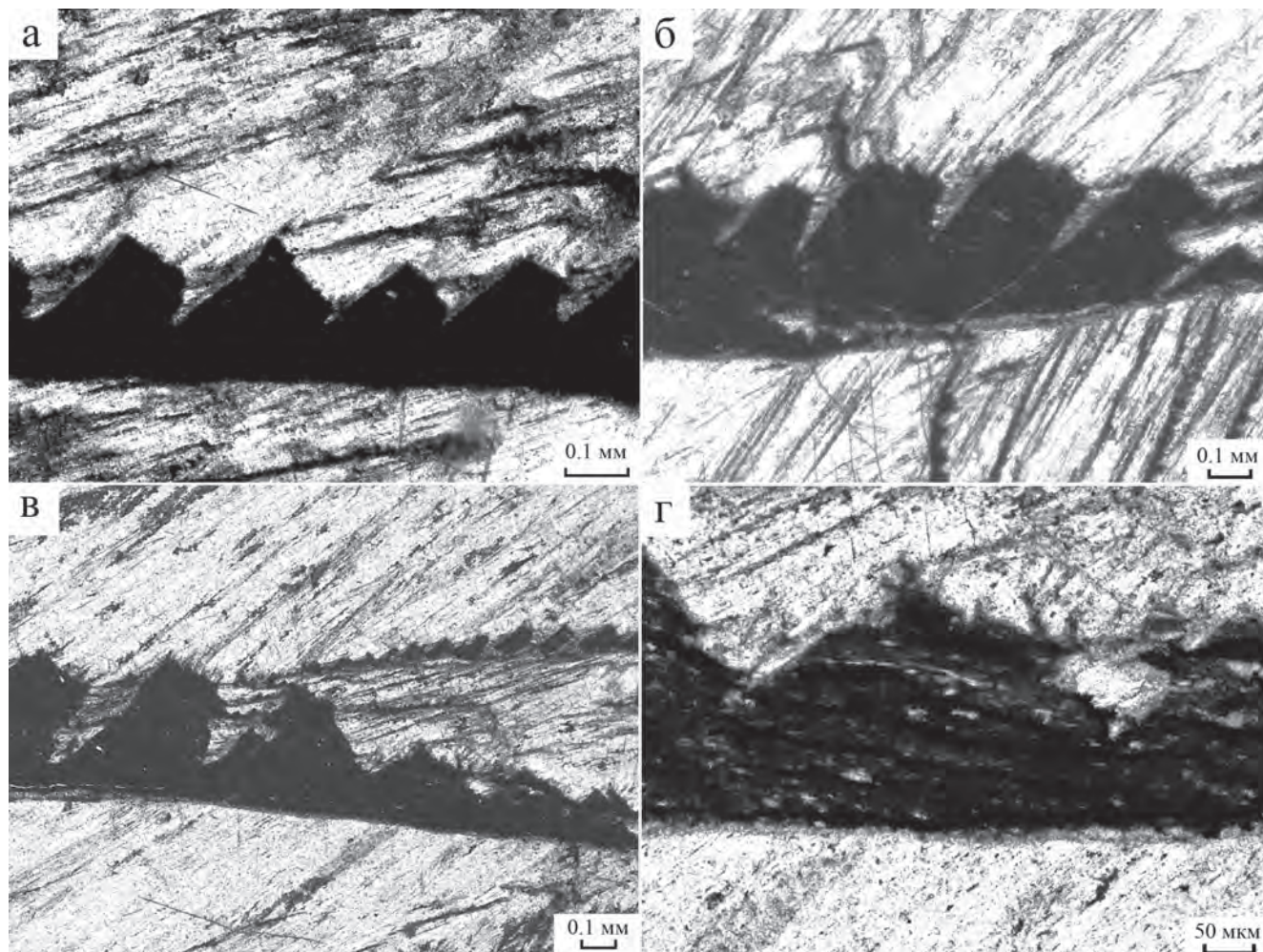


Рис. 9. Верхняя пилообразная граница слоя породы.

а – со слабо развитыми клиновидными углублениями (средние зубцы); б – с интенсивно развитыми клиновидными углублениями; в – с клиньями, проникающими почти сквозь крупный слой и разрывающими слой полностью (тонкий выше); г – крупный план, видна слоистость слоя. Все фотоснимки без анализатора.

Fig. 9. Upper sawtooth border of rock lamina.

а – poorly developed wedge-shaped hollows (medium-sized tooth); б – strongly developed wedge-shaped hollows; в – with the wedges which are getting almost through a large lamina and breaking off a lamina completely (thin above); г – large plan, the lamination of rock lamina is visible. All views without an analyzer.

В шлифах, сделанных из горизонтальных срезов кальцитового тела, при включенном анализаторе основная площадь изотропна, отмечаются лишь небольшие хаотично рассеянные анизотропные блоки. Также отсутствует явление псевдоабсорбции, не видно ни одной трещины совершенной спайности.

Большое внимание было уделено исследованию включений слоев породы в кальцитовом теле. Установлена полная их идентичность породе, вмещающей это кальцитовое тело, представлены они алевроитистым аргиллитом с обильными угольными включениями, часто создающими отчетливую микроскопическую параллельную слоистость, которая повторяет все изгибы включений слоев по-

роде. Порода включений не карбонатизирована, только на периферии отмечаются микроскопические пятна кальцита.

Весьма характерной чертой многих включений слоев породы является плоская подошва и зубчатая, пилообразная кровля (рис. 9). Шаг между вершинами зубцов выдержан, но различен для каждого слоя и в целом зависит от его толщины. Форма углублений между зубцами близка прямоугольному треугольнику. На продолжении одной из сторон треугольника развивается клиновидное углубление, от едва наметившегося до соизмеримого самому “междузубью” и рассекающего слой породы насквозь (рис. 9а–в).

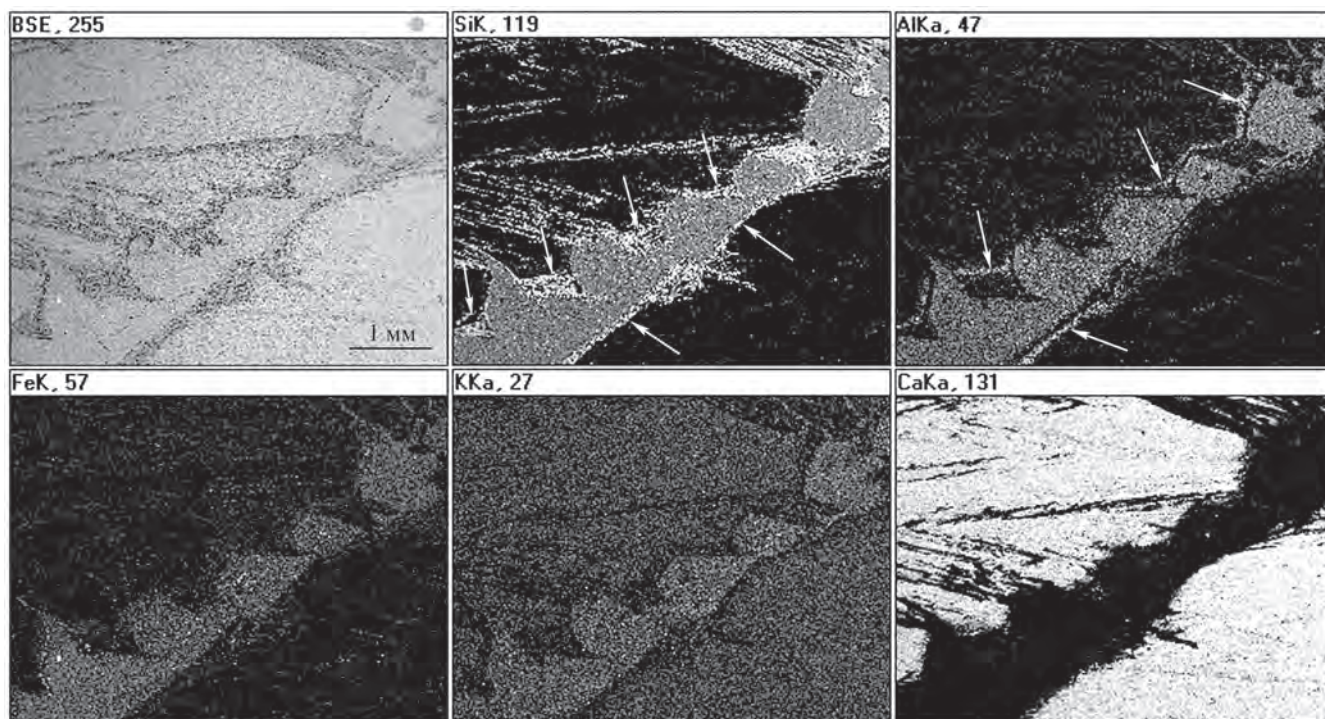


Рис. 10. Распределение химических элементов по площади аншлифа с пилообразным слойком; СЭМ, характеристическое излучение.

Fig. 10. Distribution of chemical elements on the area of a polished section with sawtoothed lamina; SEM, X-ray images.

Особо следует отметить, что никаких смещений текстурно-структурных элементов в кальцитовой матрице, окружающей “пилу”, не наблюдается.

Кальцит в углублениях между породными зубцами при оптическом наблюдении выглядит мутным, наполненным инородными включениями (рис. 9г). По периметру самого слойка породы отмечается более светлая оторочка.

Исследования с помощью СЭМ позволили выяснить следующее. По распределению химических элементов в плоскости образца с “пилой” отчетливо видны (рис. 10):

- кремниевая оторочка по периметру слойка породы шириной около 0.1 мм, сложенная обломками кварца, промежутки между которыми заполнены кальцитом;

- зерна кварца в кальцитовых промежутках между зубцами породы расположены цепочками, продолжающимися алевритовые слойки аналогичных кварцевых зерен, наблюдающихся в породе зубцов;

- кайма в кальцитовой матрице за кремниевой оторочкой, сложенная растрескавшимся аморфным веществом (рис. 11), обогащенным алюминием² (мас. %): Al_2O_3 – до 35.42, SiO_2 – до 16.44, Fe_2O_3 – до 6.49, сумма – до 64.97.

² Содержание прочих элементов ниже порога чувствительности микрозондового анализа.

Не совсем обычные данные получены при исследовании изотопного состава углерода в карбонатных образованиях разреза цилемской свиты. Разложение карбонатов и измерение изотопного состава углерода в режиме непрерывного потока гелия производились на аналитическом комплексе ThermoFisher Scientific (аналитик И.В. Смоленева). Значения $\delta^{13}C$ даны в промилле относительно стандарта PDB, ошибка определения составляет $\pm 0.01\%$ (1 σ).

Для всех сидеритовых и манганосидеритовых конкреций рассматриваемого разреза содержание тяжелого изотопа колеблется около значения -10% , в то время как в образцах, соответствующих кальцитизированному туфу и кальциту с текстурой конус-в-конусе, наблюдается резкий экскурс к значениям -23.52 и -23.22% соответственно (см. рис. 1). Здесь же отметим, что изотопный состав углерода угля, захороненного в девонских породах района, колеблется от -23.50 до -26.16% (среднее значение -24.83%).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Геологическая ситуация в целом и литолого-фациальные характеристики отложений (Шумилов, Тельнова, 2017) соответствуют “стандартным” условиям для нахождения здесь карбонатных тел с

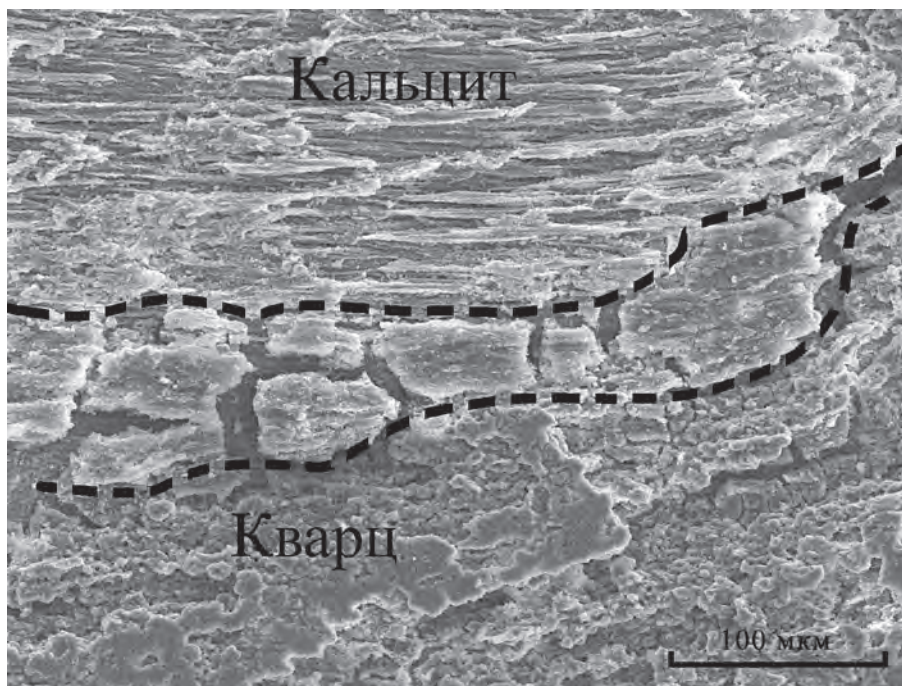


Рис. 11. Растрескавшийся слой алюмосиликатного состава, протравленный образец; СЭМ, изображение во вторичных электронах.

Fig. 11. The cracked aluminosilicate layer, the etched sample; SEM, SE.

текстурой конус-в-конусе (Gillman, Metzger, 1967; Bates, Jackson, 1987; Selles-Martinez, 1994; и мн. др.).

Макроскопически изученные образцы как в сколах, так и в полированных срезах сходны, а иногда почти идентичны описанным и иллюстрированным объектам во многих работах, посвященных геологическим телам с текстурой конус-в-конусе (Woodland, 1964; Колокольников, 2002; Бадида и др., 2015; и мн. др.).

Обязательная фиксация при отборе образцов кровли и подошвы кальцитового слоя позволяет однозначно установить, что все конусы направлены вершиной вверх.

В некоторых вертикальных срезах (см. рис. 4) включения обрывков слойков породы своими нижними границами довольно четко оконтуривают треугольные формы в кальцитовой матрице, многие из которых соответствуют вершинам конусов. Создается впечатление, что обрывки слойков плотного, но еще не литифицированного осадка упали на щетку кристаллов и, изогнувшись, укрыли их головки.

На макроскопическом этапе изучения образцов наличие трехгранных выколов с блестящими ровными поверхностями, видимые в полированных срезах довольно обширные зоны с системами трещин совершенной спайности послужили основанием для сомнений в том, что данный кальцит имеет волокнистое строение (fibrous).

Оптические микроскопические исследования показали, что кальцит сложен в основном вытянутыми в вертикальном направлении блоками шириной до 1.5 мм. В русскоязычной минералогической литературе для характеристики степени удлиненности кристаллов применяется множество терминов описательной минералогии: столбчатые, шестоватые, проволоковидные, тонкоиглообразные, нитеподобные, волосовидные, волокнистые и др. При этом разделение на отдельные морфологические разновидности достаточно неопределенное (Григорьев, 1961; Малеев, 1971; Жабин, 1979). Тем не менее многие исследователи считают, что верхний предел диаметра волокнистых (нитеподобных, волосовидных) индивидов составляет около 50 мкм. Таким образом, автор не считает возможным определять исследуемый кальцит как волокнистый.

Анализ литературных данных (особенно иллюстративных материалов) привел к несколько необычному выводу: создается впечатление, что в некоторых случаях авторы публикаций называют исследуемый ими кальцит волокнистым лишь потому, что “так принято”, “так считается”. Например, согласно Вудланду (Woodland, 1964, p. 287), волокнистая структура должна являться обязательным и постоянным свойством тел с текстурой конус-в-конусе.

Настоящий (по мнению автора) волокнистый кальцит в изученных образцах отмечен только в виде линзочек параллельно-волокнистых агрега-

тов в кровле слоя, под некоторыми включениями обрывков слойков породы и в виде сноповидных небольших агрегатов в прикровельной части.

На рис. 8б вполне отчетливо видно, что вытянутые блоки группируются внутри границ крупных конусов. Блоки расположены вертикально и вдоль боковых границ конусов, часто создавая картину дефектных, но полнотелых кристаллов (блок-кристаллов) скаленоэдрического габитуса.

В приподошвенной части слоя кальцита при включенном анализаторе по углам погасания блоков просматривается начальная стадия роста щетки из небольших разноориентированных кристаллов. По мере удаления от подошвы слоя блоки увеличиваются в размерах и приобретают вертикальное и субвертикальное положение. Максимальная упорядоченность (сонаправленность) блоков достигается под нижним массовым появлением включений обрывков слойков породы. Таким образом, мы имеем картину геометрического отбора: в результате конкуренции между кристаллами остаются и продолжают рост (совместный) только индивиды, ориентированные вектором роста (осью удлинения кристаллов) нормально к подложке (Григорьев, 1961; Жабин, 1979).

Поскольку кальцит относится к минералам тригональной сингонии, он является оптически одноосным. Есть только одно направление, нормально к которому он будет изотропным, – это его оптическая ось (L3) (Лодочников, 1955). В результате в шлифах из горизонтальных срезов наблюдается картина, соответствующая перпендикулярному сечению параллельно ориентированных кристаллов (их осей L3), т. е. щетки. Блоки со слабой интерференцией – мелкие кристаллы с несколько иной ориентировкой (отклонение незначительно). Возвращаясь к вопросу о волокнистой структуре кальцита, заметим, что, по мнению многих исследователей, конусовидные формы обусловлены веерообразными волокнистыми агрегатами расщепленных кристаллов кальцита, а не параллельно ориентированными. В таком случае здесь не может быть ни обширных систем трещин совершенной спайности, ни изотропной картины, описанной выше.

Параллельно-волокнистый кальцит небольших линзочек в кровле слоя и под включениями обрывков слойков породы является наиболее поздней генерацией минерала, образовавшейся в стесненных условиях (Жабин, 1958).

Так называемые минеральные пленки, оконтуривающие конусы различных размеров, преимущественно рассматривают как нерастворимый остаток циклических растворов загрязненного глиной кальцита (Tagg, 1932) или внедрение глинистых частиц по трещинам спайности (Tagg, 1922), открывшимся в результате напряжений литостатических или кристаллизационных сил. Отсюда происходит треугольная форма пленок (конусы).

В результате проведенных исследований нами было установлено, что пленки сложены не только глинистыми частицами, но и кластогенными зернами кварца, окисными (по-видимому, аморфными) формами железа. Поскольку образование кальцита происходило в щелочных условиях, часть глинистых частиц (как самых мелких) была выщелочена. В итоге в тонких пленках остались только обломки кварца с признаками коррозии. Алюмосиликаты остались только в срединных частях более толстых пленок. Также замечено, что простираание пленок во многих случаях не совпадает с трещинами спайности (см. рис. 5).

Автор полагает, что глинисто-кварцевые пленки выпадали из питающего раствора на грани кристаллов, т. е. являются присыпками, рубашками. В результате образования таких присыпок кристаллы начинали объемно расщепляться – появлялись многочисленные головки субиндивидов на их гранях (конусы первого порядка). Однако после выпадения минеральной взвеси (мути) раствор становился чистым: происходила своего рода регенерация, продолжался рост нормальных граней исходных кристаллов, но с внутренними дефектами. Судя по чередованию плоскостей с микроголовками, поступление питающего раствора имело пульсационный характер. Количество конусов первого порядка (головок субиндивидов) свидетельствует о том, что наиболее “грязный” раствор был на начальном этапе становления кальцитового слоя и вслед за каждым массовым выпадением слойков-включений аргиллита (см. рис. 5, 8).

Включения относительно крупных слойков “глины” в телах с текстурой конус-в-конусе – явление весьма распространенное и описывается в работах многих исследователей. Трактуются они по-разному в зависимости от гипотезы образования карбоната с текстурой конус-в-конусе. Наиболее распространены взгляды, что эти слойки являются: реликтами метасоматически замещенной аргиллитовой матрицы (начиная с G.A. Cole, 1893); глинистым нерастворимым остатком после циклического выщелачивания кальцита (O.M. Reis, 1903); результатом самоочистки (автолизии) кальцитовых кристаллов (O.M. Reis, 1914). В более поздних работах и по сегодняшний день с различными вариациями повторяются эти гипотезы.

В процессе наших исследований установлено, что слойки-включения полностью идентичны окружающим алевритистым аргиллитам. Они сложены глинистыми минералами иллит-сметтитового состава, смешанослойными фазами, хлоритами группы шамозита; алевритовая фракция представлена обломками кварца, вулканического стекла основного состава, микрокварцита и слюдистых сланцев. Тонкая параллельная слоистость обусловлена не только слойками концентрации кластогенного материала, но и обильными мелкими включе-

ниями углефицированной растительной органики. Автор полагает, что такие включения являются обрывками слоев окружающих отложений, попавших в зону формирования карбонатного тела.

Весьма яркой особенностью многих включений слоев породы, также отмечаемой множеством исследователей, является пилообразный характер одной их границы и ровный – другой. Неровную границу называют “пилой”, “зубцами”, “ступеньками”, “гофрировкой” и т. п. В исследованных нами образцах пилообразная граница является всегда верхней.

Обычно “ступеньки” трактуют как микроструктуры давления (микробудинаж, микрокливаж и др.), обусловленные совершенной спайностью кальцита и связанные с более поздними процессами механических деформаций (Колокольников, 2002; Woodland, 1964; и др.). Возникает вопрос: почему при микросмещениях нет сдвига по другой (нижней) границе? Кроме того, при микроскопических исследованиях отчетливо видно по ненарушенности тонких минеральных пленок, что нет никаких смещений и в ближайшем пространстве от “ступенек” (рис. 9).

Приведенные выше результаты исследований с помощью СЭМ показывают, что в треугольных врезках глинистый материал замещен кальцитом, а корродированные зерна кварца и угольные частицы остались *in situ*, причем сохраняя слоистую текстуру исходной породы.

Поскольку рост новой генерации кристаллов кальцита происходил на подложке нелигитированного (относительно пористого и проницаемого) материала слоев-включений, то происходило некоторое дорастание кристаллов в сторону подложки с замещением алюмосиликатов. Рост происходил по кристаллографическим направлениям, в результате чего получались геометрически одинаковые зубцы.

Таким образом, возникновение пилообразной границы слоев породы связано с кристаллизационными процессами, а не механическим воздействием (разрывами, сдвигами и др.).

Аналогичный процесс происходил и по другой (нижней) границе слоев-включений аргиллита, но в менее агрессивной форме. Здесь образовалась равномерная линейная “кварцевая” зона с замещенной глинистой составляющей шириной около 50 мкм (см. рис. 10).

Продукты растворения алюмосиликатов и частично кварца отлагались недалеко от границы породы в виде каймы Al-Si-(Fe)-геля, в дальнейшем растрескавшегося на полигональные блоки при усыхании (см. рис. 11).

Как было показано в результатах исследований, кальцит с текстурой конус-в-конусе отличается от всех прочих карбонатов разреза резким экскурсом в сторону облегчения изотопного состава углерода. При этом достигается значение $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}} -23.22\text{‰}$,

почти равное $\delta^{13}\text{C}_{\text{орг}}$ угля (-24.83‰), захороненного в окружающих породах.

Смену обычного для толщи манганосидеритового состава карбонатных образований на кальцит и резкий отрицательный изотопный экскурс углерода можно объяснить изменением условий осадконакопления.

Манганосидеритовые микроконкреционные слои перерывов осадконакопления образовались в восстановительных условиях (Атлас конкреций, 1988; Зарицкий, 1977) на дне пресного или опресненного водоема (Шумилов, Тельнова, 2017), для них характерен соответствующий изотопный состав $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}} = -(5-15)\text{‰}$ (Галимов, 1968, 1993; Юдович, Кетрис, 2010). При их формировании могли участвовать три компонента с разным изотопным составом: бикарбонат поровых вод, бикарбонат, образовавшийся в результате растворения седиментогенного карбоната, и бикарбонат, образовавшийся из углекислого газа, выделенного бактериями-редуцентами, которые питаются захороненным в осадке биогенным ОВ (Юдович и др., 1998). Первые два компонента обычно обладают изотопным составом углерода, близким к стандартному ($\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}} = 0 \pm 2-3\text{‰}$), третий – легким ($\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}} = \text{от } -10 \text{ до } -15\text{‰}$ и легче). Судя по полученным значениям для МКПОН (около -10‰), основным источником углерода при их осаждении являлась углекислота, образовавшаяся при разложении захороненной растительной органики. Другой компонент разложения органики – метан – не задерживался в восстановительных условиях осаждения МКПОН и уходил далее вверх.

При активном вулканизме, на который указывают апопелловый пласт глины в средней части разреза и слой туфа, перекрывающий рассматриваемый объект, произошло обмеление водоема, и зона образования карбоната попала в окислительную обстановку. При этом биохимический метан, аномально обогащенный легкими изотопами углерода, попадая уже в кислородсодержащую зону осадка, окислялся до CO_2 , который участвовал в образовании кальцита. Таким образом, здесь вновь “соединились” два основных углеродсодержащих летучих продукта, возникших при разложении растительной органики в подстилающих отложениях. В результате образовался кальцит с аномально легким изотопным составом углерода для карбонатов ($\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}} = -23.22\text{‰}$), но почти равным изотопному составу угля ($\delta^{13}\text{C}_{\text{орг}} = -24.83\text{‰}$) – основному источнику углерода при осаждении кальцита.

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Предлагаемая модель образования рассматриваемых кальцитовых тел с текстурой конус-в-конусе построена на интерпретации только наших данных и полностью применима только для данного объекта.

Последовательность образования тел включает следующие этапы.

– Отложение пачки глинистых осадков с примесью алевритового материала и мелкого растительного детрита. Седиментогенез протекает в тиховодных условиях, в кислой восстановительной среде опресненного водоема. Периодически образуются слои манганосидеритовых и сидеритовых конкреций.

– Очередная активация вулканической деятельности, при которой отлагаются линзы обломков основного вулканического стекла, сцементированные хлоритом (вероятно, изначально пылеватой фракцией вулканического пепла). Происходят тектонические подвижки, приводящие к подъему ложа бассейна и обмелению водоема, в результате чего верхний слой осадка попадает в зону окислительной среды. Кальцитизация приводит к консолидации туфовых линз, делая их монолитными и прочными.

– Начинается постепенное уплотнение глинистого осадка. Под туфовыми прочными линзами образуются декомпрессионные зоны гидро-, литостатического давления. В то же время линзы туфа выполняют роль покрышек, препятствовавших оттоку седиментационных вод при их отжиме из уплотняющегося осадка – они здесь скапливаются под некоторым давлением, раздвигая пластичный осадок. В результате под туфовыми линзами возникают также линзовидные полости, заполненные водой. При этом их кровли образуются не по подошве туфа, а чуть ниже. На это указывает аргиллитовый прослой между туфом и кальцитовым телом.

– На “дне” полости начинает кристаллизоваться кальцит в виде щетки мелких разноориентированных кристаллов. Питающий раствор содержит минеральную взвесь при каждом пульсационном поступлении, которая осаждается в виде глинисто-кварцевых пленок на гранях кристаллов кальцита (в вертикальном срезе мы их видим в виде конусов).

– Постепенно система стабилизируется, раствор становится более чистым, по мере роста кристаллов происходит их геометрический отбор с образованием щетки.

– При встряске осадка, обусловленной, возможно, сильным штормом (мелководные условия), землетрясением (вулканизм) или иными причинами, происходит массовое отслаивание обрывков-слоев глинистой кровли. Упав на кальцитовую щетку, обрывки слоев изогнулись, обволакивая ее рельеф. На примере вертикального среза, приведенного на рис. 4, можно выделить два массовых падения обрывков слоев с кровли.

– После падения обрывков слоев породы в питающем растворе опять появляется много муты. Поэтому кристаллы, нарастающие уже на слоях-включениях, опять содержат множество глинистых пленок (конусов первого порядка).

– По мере роста кристаллов кальцита свободного пространства остается все меньше и меньше. При его финальном заполнении питающий раствор поступает с затруднениями и неравномерно, отмечается частое падение небольших обрывков слоев породы кровли. В результате кальцит кристаллизуется в виде мелкозернистой массы или расщепленных сноповидных агрегатов. Наконец полость полностью заполняется кальцитом. На заключительных этапах уплотнения осадка образуются микротрещины в кровле кальцитового тела на границе со слоем аргиллита, под включениями обрывков слоев породы в самом кальцитовом теле. Здесь уже в стесненных условиях начинается расти параллельно-волокнистый кальцит.

В целом данная модель является вариантом кристаллизационной модели с ростом кальцитовых кристаллов не в полужидком глинистом осадке, а в полости, в более “чистых” условиях, на стадии раннего диагенеза. Разумеется, применять ее ко всему многообразию карбонатных тел с текстурой конус-в-конусе не следует.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

К породам с текстурой конус-в-конусе часто относят самые разные образования, до недавнего времени к ним причисляли даже импактные конусы разрушения (shutter cones), не имеющие никакого отношения к кристаллогенезису. Еще в 1964 г. Б.Г. Вудланд предлагал четко различать ложные и истинные текстуры конус-в-конусе. К истинным, по его мнению, следует относить только текстуры карбонатных тел. Вторым обязательным свойством должна являться их волокнистая структура (Woodland, 1964, p. 287). Однако его предложение не получило широкой поддержки. Если с первым тезисом Вудланда можно согласиться, то второе, как показывает материал представленной статьи, вызывает сомнения.

Невзирая на все многообразие положений тел с текстурой конус-в-конусе в геологических разрезах, особенности истории развития осадочных толщ, некоторые авторы упорно предлагают считать выдвигаемые ими гипотезы генезиса единственно верными и применимыми во всех случаях. Автор данной статьи вслед за Д.В. Наливкиным (1956) и Г.И. Теодоровичем (1963) считает, что в каждом конкретном случае к образованию текстуры может быть причастен любой из механизмов на любой стадии литогенеза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Атлас конкреций. (1988) Л.: Недра, 323 с.
Бадида Л.В., Мизенс Г.А., Мельничук О.Ю. (2015) Текстура “конус в конусе” в терригенной толще верхнедевонской кодинской свиты на востоке Среднего Урала. *Ежегодник-2014*. Тр. ИГГ УрО РАН, вып. 162, 44-48.

- Галимов Э.М. (1968) Геохимия стабильных изотопов углерода. М.: Недра, 226 с.
- Галимов Э.М. (1993) Геохимия углерода. *Природа*, (3), 3-13.
- Григорьев Д.П. (1961) Онтогенез минералов. Львов: Изд. Львовск. ун-та, 284 с.
- Жабин А.Г. (1958) Морфология и генезис параллельношестоватых агрегатов минералов. *Зан. ВМО*, **87**(5), 57-64.
- Жабин А.Г. (1979) Онтогенез минералов. Агрегаты. М.: Наука, 272 с.
- Зарицкий П.В. (1977) Минералогия и геохимия конкреционных образований угленосных отложений. *Конкреции и конкреционный анализ*. М.: Наука, 60-73.
- Колокольцев В.Г. (2015) Загадочная текстура конус-в-конусе. *Природа*, (11), 27-36.
- Колокольцев В.Г. (2002) Текстура Coin-in-coin и ее происхождение. *Литология и полез. ископаемые*, (6), 612-627.
- Логвиненко Н.В. (1983) Петрография осадочных пород. М.: Высш. школа, 416 с.
- Лодочников В.Н. (1955) Главнейшие породообразующие минералы. М.: ГНТИ, 248 с.
- Малеев М.Н. (1971) Свойства и генезис природных нитевидных кристаллов и их агрегатов. М.: Наука, 99 с.
- Матвеев К.К. (1948) О распространенности образований нарушенной кристаллизации ("кон-ин-кон") в кунгурских отложениях западного склона Урала (по данным 1944 г.). *Тр. Горно-геологического ин-та*, **14**(1), 28-32.
- Наливкин Д.В. (1956) Учение о фациях. М., Л.: Изд-во АН СССР, 534 с.
- Тельнова О.П., Шумилов И.Х. (2017) Саргаевский горизонт верхнего девона в бассейне р. Цильма, Средний Тиман. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **25**(2), 49-71.
- Теодорович Г.И. (1963) О сутуро-стилолитовых поверхностях и образованиях "конус-в-конус". *Изв. АН СССР. Сер. геол.*, **11**, 85-94.
- Тугарова М.А. (2014) Микробиолиты триаса архипелага Шпицберген. СПб.: ВНИИОкеангеология, 198 с.
- Тугарова М.А., Синай М.Ю. (2011) Текстура конус-в-конусе как индикатор наложенной углеводородной флюидизации на стадии диагенеза (на примере триасовых разрезов восточных островов арх. Свальбард). *Минеральные индикаторы литогенеза*. Сыктывкар: Геопринт, 248-249.
- Фролов В.Т. (1993) Литология. Кн. 2. М.: Изд-во МГУ, 432 с.
- Шумилов И.Х. (2008) Манганосидеритовые конкреции в девонских отложениях Среднего Тимана. *Геология и полезные ископаемые Западного Урала*. Пермь: Перм. ун-т, 176179.
- Шумилов И.Х., Тельнова О.П. (2017) История геологического развития бассейна р. Цильма (Средний Тиман) в девоне. *Литология и полезн. ископаемые*, (3), 266-282.
- Юдович Я.Э., Беляев А.А., Кетрис М.П. (1998) Геохимия и рудогенез черносланцевых формаций Пай-Хоя. СПб.: Наука, 366 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (2010) Соотношения изотопов углерода в стратифере и биосфере: четыре сценария. *Биосфера*, **2**(2), 231-246.
- Bates R.L., Jackson J.A. Glossary of Geology. (1987) Elsevier Science, 788 p.
- Beccq-Giraudon J.F. (1990) Cone in cone structure in an environment of siliciclastic deposition. New observation on Lower Ordovician cone-in-cone structures of the Montagne Noire, south French Massif central. *Géologie de la France*, (2), 11-19.
- Boggs S. (2005) Principles of Sedimentology and Stratigraphy. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, 662 p.
- Carstens H. (1984) Early diagenetic cone-in-cone structures in pyrite concretions. *J. Sed. Petrol.*, **55**, 105-108.
- Fairbridge R.W., Rampino M. (2003) Diagenetic Structures. *Encyclopedia of Sediments and Sedimentary Rocks*. Kluwer Academic Publishers, 219-225.
- Gillman, R.A., Metzger, W.J. (1967) Cone-in-cone concretions from western New York. *J. Sed. Petrol.*, **37**, 87-95.
- Lugli S., Reimold W.U., Koeberl Ch. (2005) Silicified Cone-in-Cone Structures from Erfoud (Morocco): A Comparison with Impact-Generated Shatter Cones. *Impact Tectonics, Part of the series Impact Studies*. Springer, 5, 81-110.
- Selles-Martinez J. (1994) New insights in the origin of cone-in-cone structures. *Carbonates and Evaporites*, (9), 172-186.
- Tarr W.A. (1922) Cone-in-cone. *Amer. J. Sci.*, **220**, 199-213.
- Tarr W.A. (1932) Cone-in-cone. *Treatise on Sedimentation*. Baltimore: Williams and Wilkins, 716-733.
- Woodland B.G. (1964) The nature and origin of cone-in-cone structure. *Fieldiana. Geology*, **13**(4), 189-305.

REFERENCES

- Atlas konkretsiy* (1988) [Atlas of concretions], Leningrad, Nedra Publ., 323 p. (In Russian)
- Badida L.V., Mizens G.A., Melnichuk O.Yu. (2015) Cone-in-cone structure in terrigenous strata of Kodinskaya Formation of Upper Devonian in the east of Middle Urals. *Ezhгодnik-2014*. Tr. IGG UrO RAN, V. 162, 44-48. (In Russian)
- Bates R.L., Jackson J.A. Glossary of Geology. (1987) Elsevier Science, 788 p.
- Beccq-Giraudon J.F. (1990) Cone in cone structure in an environment of siliciclastic deposition. New observation on Lower Ordovician cone-in-cone structures of the Montagne Noire, south French Massif central. *Géologie de la France*, (2), 11-19.
- Boggs S. (2005) Principles of Sedimentology and Stratigraphy. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, 662 p.
- Carstens H. (1984) Early diagenetic cone-in-cone structures in pyrite concretions. *J. Sed. Petrol.*, **55**, 105-108.
- Fairbridge R.W., Rampino M. (2003) Diagenetic Structures. *Encyclopedia of Sediments and Sedimentary Rocks*. Kluwer Academic Publishers, 219-225.
- Frolov V.T. (1993) *Litologiy. Kn.2* [Lithology. Book 2], Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 432 p. (In Russian)
- Galimov E.M. (1968) *Geokhimiya stabil'nykh izotopov ugleroda* [Geochemistry of carbon stable isotopes], Moscow, Nedra Publ., 226 p. (In Russian)
- Galimov E.M. (1993) Carbon geochemistry. *Priroda*, (3), 3-13. (In Russian)
- Gillman R.A., Metzger W.J. (1967) Cone-in-cone concretions from western New York. *J. Sed. Petrol.*, **37**, 87-95.
- Grigor'ev D.P. (1961) *Ontogeniya mineralov* [Ontogenesis of minerals], L'vov, L'vov Univ. Publ., 284 p. (In Russian)
- Kolokol'tsev V.G. (2002) Structure coin-in-coin and it's genesis. *Litol. Polezn. Iskop.*, (6), 612-627. (In Russian)
- Kolokol'tsev V.G. (2015) Mysterious cone-in-cone struc-

- ture. *Priroda*, 11, 27-36. (In Russian)
- Lodochnikov V.N. (1955) *Glavneishie porodoobrazuyushchie mineraly* [The main rock-forming minerals], Moscow, GNTI Publ., 248 p. (In Russian)
- Logvinenko N.V. (1983) *Petrografiya osadochnykh porod* [Sedimentary petrography], Moscow, Vyssh. Shkola Publ., 416 p. (In Russian)
- Lugli S., Reimold W. U., Koeberl Ch. (2005) Silicified Cone-in-Cone Structures from Erfoud (Morocco): A Comparison with Impact-Generated Shatter Cones. *Impact Tectonics, Part of the series Impact Studies*. Springer, 5, 81-110.
- Maleev M.N. (1971) *Svoystva i genezis prirodnykh nitevidnykh kristallov i ikh agregatov* [Properties and genesis of natural whiskers crystals and their units]. Moscow, Nauka Publ., 99 p. (In Russian)
- Matveev K.K. (1948) About abundance of formations of the broken crystallization ("con-in-con") in the Kungur deposits of the western slope of the Urals (according data of 1944). *Tr. Gorno-geologicheskogo in-ta* [Works of Mining-geology Institute], 14(1), 28-32. (In Russian)
- Nalivkin D.V. *Uchenie o fatsiyakh* [The doctrine about facies]. (1956) Moscow, Leningrad, AN SSSR Publ., 534 p. (In Russian)
- Selles-Martinez J. (1994) New insights in the origin of cone-in-cone structures. *Carbonates and Evaporites*, (9), 172-186.
- Shumilov I.Kh. (2008) Manganosiderite concretions in Devonian sediments of Middle Timan. *Geologiya i poleznye iskopaemye Zapadnogo Urala* [Geology and mineral resources of the Western Urals] Perm, Perm Univ. Publ., 176-179. (In Russian)
- Shumilov I.Kh., Telnova O.P. (2017) History of the geological evolution of the Tsil'ma river basin (Middle Timan) in the Devonian. *Litol. Polezn. Iskop.*, (3), 266-282. (In Russian)
- Tarr W.A. (1922) Cone-in-cone. *Amer. J. Sci.*, 220, 199-213.
- Tarr W.A. (1932) Cone-in-cone. *Treatise on Sedimentation*. Baltimore: Williams and Wilkins, 716-733.
- Tel'nova O.P., Shumilov I.Kh. (2017) The Upper Devonian Sargaev horizon in the Tsil'ma river basin, Middle Timan. *Stratigr. Geol. Korrel.*, 25(2), 49-71. (In Russian)
- Teodorovich G.I. (1963) About suturo-stylolitic surfaces and formation "cone-in-cone". *Izv. AN SSSR. Ser. Geol.*, (11), 85-94. (In Russian)
- Tugarova M.A., Sinai M.Yu. (2011) Cone-in-cone structure as an indicator of the imposed hydrocarbon fluidization at a diagenesis stage (on the example of Triassic profile of east islands of Svalbard archipelago). *Mineralnye indikatory litogeneza* [Mineral indicator of lithogenesis]. Syktyvkar, Geoprint Publ., 248-249. (In Russian)
- Tugarova M.A. (2014) *Mikrobiolity triasa arkhipelaga Shpitsbergen* [The Triassic microbiolites of Svalbard archipelago]. St.Petersburg, VNIIOkeangeologiya Publ., 198 p. (In Russian)
- Woodland B.G. (1964) The nature and origin of cone-in-cone structure. *Fieldiana. Geology*, 13(4), 189-305.
- Yudovich Ya.E., Belyaev A.A., Ketris M.P. (1998) *Geotsimiya i rudogenez chernoslancevykh formatsii Pai-Khoya* [Geochemistry and oreogenesis of blackslate formations of Pay-Khoy Ridge]. St.Petersburg, Nauka Publ., 366 p. (In Russian)
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P. (2010) Ratios of carbon isotopes in a stratisphere and the biosphere: four scenarios. *Biosfera*, 2(2), 231-246. (In Russian)
- Zarickij P.V. (1977) Mineralogy and geochemistry of concretions in coalbearing sediments. *Konkretsii i konkretionnyy analiz* [Concretions and concretion analysis]. Moscow, Nauka Publ., 60-73. (In Russian)
- Zhabin A.G. (1958) Morphology and genesis of parallel fibrous units of minerals. *Zap. VMO*, 87(5), 57-64. (In Russian)
- Zhabin A.G. (1979) *Ontogeniya mineralov. Agregaty* [Ontogenesis of minerals. Aggregates], Moscow, Nauka Publ., 272 p. (In Russian)