

БИОХЕМОГЕННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ ГЛЕНДОНИТОВ

А.Р. Гептнер

Геологический институт РАН, Москва heptner@mail.ru

В работе приводятся новые наблюдения, дополняющие выдвинутое ранее представление о биохемогенном формировании карбоната глендонитов. Исследованы современные глендониты из литоральных отложений Белого моря, из четвертичных отложений Таймыра и Чукотки. Проанализирован состав, строение и особенности формирования глендонитов с точки зрения возможности их биохемогенного происхождения и формирования за счет мобилизации газообразных углеводов.

Ключевые слова: глендонит, литоральные осадки, Белое море, плейстоцен, Таймыр, Чукотка

Глендониты – это одно из названий, объединяющей группу карбонатных образований разнообразной формы, встречающихся в многочисленных местонахождениях разного возраста от докембрия до современных литоральных морских осадков. Это карбонатные образования кристаллоподобного облика и разного размера от долей до нескольких десятков сантиметров, значительно реже дипирамидальные глендониты достигают 0.6–1.2 метра. Поражает однообразие, структурное и внешнее морфологическое сходство находок глендонитов, не меняющееся за миллиард лет, включая образцы из современных литоральных осадков. Исследования последних лет показывают также полную идентичность главных структурных элементов внутреннего строения глендонитов на всех стратиграфических уровнях.

Образование глендонитов длительное время связывалось с процессом изоморфизма и замещением кальцитом разных минеральных образований, среди которых в качестве предшественника чаще упоминались гейлюссит, глауберит, гипс, целестин, ангидрит, тенардит [Каплан, 1979]. При восстановлении природы минерала предшественника глендонитов диагностика опиралась на результаты кристаллографических измерений палеозойских и мезо-кайнозойских образований.

В последнее время в литературе предшественником глендонитов принято считать икаит. Обоснованием для этого служит в основном сопоставление изотопного состава углерода и кислорода у древних (палеозойских, мезозойских и кайно-

зойских) глендонитов и современного икаита, обнаруженного в арктических и антарктических осадках. При сопоставлении данных изотопного состава обычно не учитываются возможные катагенетические преобразования, происходящие в дочетвертичных отложениях в зоне формирования глендонитов.

Глендониты рассматриваются как псевдоморфозы по икаиту и, следовательно, являются продуктом замещения кристаллов икаита ($\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) без изменения его формы, плотными агрегатами кальцита (CaCO_3).

О находках глендонитов в литературе сообщается из отложений позднего протерозоя, палеозоя, мезозоя, кайнозоя и в современных литоральных осадках Белого моря. Специальных литологических исследований глендонитов из современных и плейстоценовых отложений со времени первой публикации о находке в пермо-карбонатовых отложениях Австралии в 1905 году не проводилось [David et al., 1905].

В последнее десятилетие находки глендонитов стали широко использоваться при стратиграфических построениях и палеогеографических реконструкциях в качестве надёжного индикатора низких, близких к нулю температур вод в бассейне осадконакопления.

Существует альтернативное объяснение появления среди бескарбонатных пород глендонитов как результат микробиохимической деятельности в них в зоне поступления в осадок углеводов [Гептнер и др., 1994; Гептнер и др., 2014;

Тугарова, 2016; Greinert, Derkachev, 2004; Morales et al., 2017]

В предлагаемой работе приводятся новые наблюдения, дополняющие выдвинутое ранее представление о биохомогенном формировании карбоната глендонитов.

В основу рассмотрения альтернативного варианта формирования глендонитов без замещения икаита положено изучение морфологии глендонитов, характер их взаимоотношения с вмещающими осадками и микроскопические особенности внутреннего строения на примере наименее изменённых образований из современных литоральных осадков Белого моря, а также плейстоценовых отложений Таймыра и Чукотки.

Уникальность местонахождения на Белом море состоит в том, что оно единственное в мире и доступно для работы в период отлива. Другого местонахождения с глендонитами в современных морских осадках пока нигде не найдено. Здесь представилась возможность изучить глендониты, не затронутые диагенетическими или более поздними преобразованиями.

Материал в литоральных отложениях Белого моря в разные годы отбирался Ю.А. Лаврушином, Т.А. Садчиковой, А.Р. Гептнером. Для выяснения природы и условий образования глендонитов в настоящей работе привлекается сравнительный материал из четвертичных отложений Таймыра (коллекция образцов Л.Д. Сулержицкого), Чукотки (О.М. Петров), из мезозойских и кайнозойских отложений (образцы М.А. Рогова, В.И. Копорулина, А.Е. Шанцера, А.И. Челебаевой, Н.П. Кураленко, Баринаова К.Б., А.Р. Гептнера), а также пермокарбонатов глендонитов Австралии, любезно предоставленных для исследования Н.Г. Бродской.

ВНЕШНИЙ ОБЛИК ГЛЕНДОНИТОВ

Сопоставляя морфологические типы глендонитов пермо-карбона Австралии, мезозоя Якутии, неогена Камчатки и Аляски легко обнаружить полное сходство их внешнего облика с четвертичными глендонитами Таймыра, Чукотки и в современных литоральных осадках Белого моря.

Ромбическая, реже квадратная дипирамида луча глендонитов является главным структурным элементом, различные сочетания которого определяют всё разнообразие встреченных форм современных и древних образований. Определение формы главного морфологического элемента глендонита (луча) как дипирамида, в значительной степени условно, так как искривление граней и рёбер лучей, особенно при тесном соприкосновении в ежеподобных сростках, а также условия

роста в осадке, делает их мало похожими на кристаллы. Наиболее определённо особенности морфологии и структуры лучей глендонитов выявляются при изучении современных и четвертичных образований.

В настоящее время известно несколько морфологических типов карбонатных выделений глендонитов, встречающихся в отложениях разного возраста, в том числе, и в литоральных осадках Белого моря. 1. Дипирамиды с сильно вытянутыми острыми, иногда слегка изгибающимися окончаниями (рис. 1 а, б). 2. Многолучевые (Звёздообразные), состоящие из трёх, пяти и более сростков дипирамид, ориентированных в разных направлениях (рис. 1 в–д). 3. Ёжеподобные, состоящие из большого количества лучей разного размера и формы, плотно примыкающих друг к другу, расходящихся из одного центра (рис. 1 е–з). Подробно морфологические типы глендонитов рассматривается в [Гептнер и др., 1994].

В четвертичных терригенных отложениях Таймыра встречены различные сочетания карбонатных образований, свидетельствующие о многоэтапной природе образования отдельных компонентов (лучей) глендонитов. Например, инкрустации отдельными или группами дипирамид по древесным обломкам (рис. 1 и). Очень любопытна инкрустация маленькими дипирамидальными образованиями шарообразных и линзовидных уплотнений песчано-алевритового осадка, иногда включающих остатки обугленных растительных фрагментов (рис. 1 к–м). Карбонатная оболочка на поверхности уплотнённого песчано-алевритового осадка состоит из плотно прилегающих друг к другу маленьких клиновидных образований, ориентированных в разных направлениях. Есть примеры обрастания линзовидных образований более крупными дипирамидами, расположенными на одном уровне со слоистостью. Важно отметить, что в составе осадка, покрытого карбонатной коркой из маленьких дипирамид, встречаются обугленные растительные остатки (рис. 1 л–н).

На рёбрах и поверхности лучей ежеподобных образований нередко хорошо видны уступы, ранее воспринимавшиеся как отражение спайности на поверхности луча у предшествующего минерала (рис. 2 а). Ложным проявлением кристаллического строения минерала предшественника глендонитов является параллельная и веерообразная штриховка, отчётливо видная на поверхности некоторых лучей.

Особенности скульптуры и тонкой морфологии структуры лучей и характер взаимоотношения лучей отчётливо выявляются при изучении их поверхности и на естественных сколах ежеподобных глендонитов. Форма многих лучей, тесно

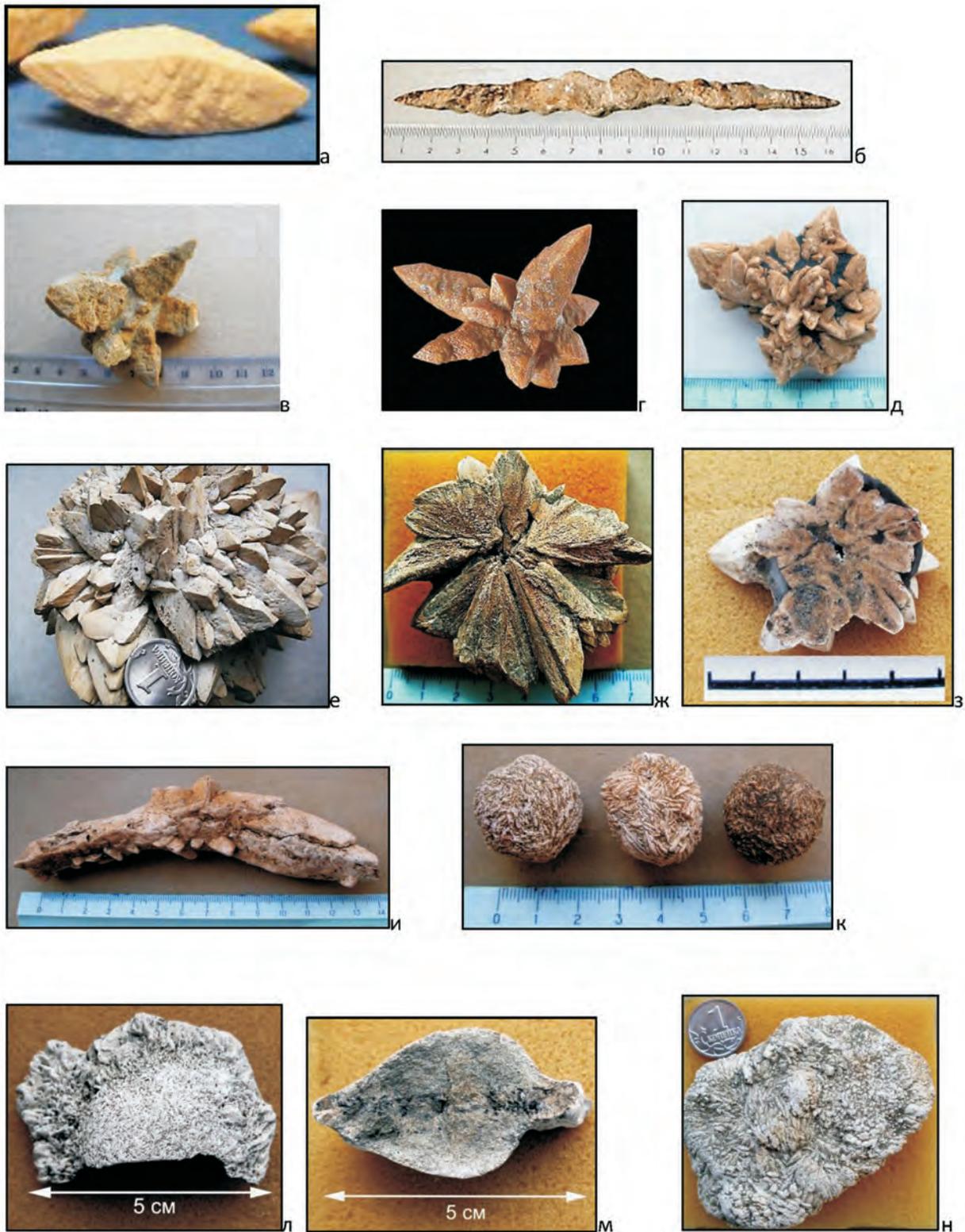


Рис. 1. Основные морфологические типы глендонитов

а, б – дипирамидальные; в–д – многолучевые или звездообразные; е–з – ёжеподобные: е – внешний вид, ж – скол половины глендонита, з – срез и полировка глендонита, запечатанного в конкреции; и – инкрустация дипирпмидами обломка ветки кустика; к – карбонатная корка, состоящая из плотно прижатых друг к другу мелких дипирамид на шарообразных уплотнениях песчано-алевритового осадка; л–м – карбонатная корка, состоящая из плотно прижатых друг к другу мелких дипирамид на линзовидном уплотнении песчано-алевритового осадка. Более крупные, позже образовавшиеся дипирамиды располагаются каймой согласно слоистости вмещающего осадка: л – внешний вид, м – поперечный скол, демонстрирующий слой с остатками обугленной растительности; н – неоднократное обрастание мелкими дипирамидами линзовидного уплотнения во вмещающем осадке

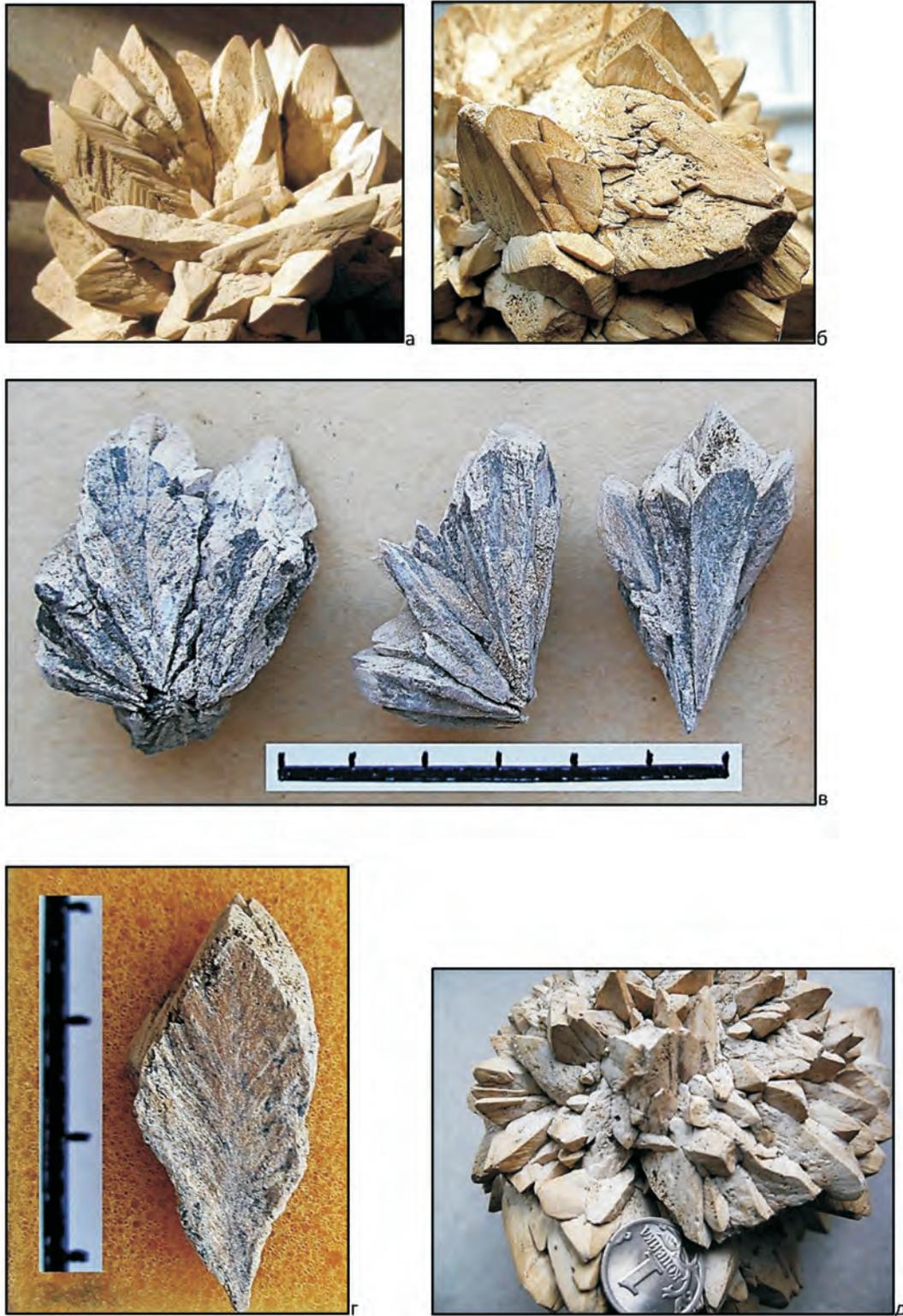


Рис. 2. Ёжеподобные глендониты, возникшие при последовательном формировании серии лучей и дополнительных дипирамид, сростков и агрегатов на их поверхности

а – отражение постепенного роста – уступы на ребре луча. На плоскости – небольшие выросты (бугорки) сформировавшиеся после образования лучей; б – комбинация лучей разной формы (объёмных и плоских), различная их ориентировка, указывает на несколько этапов образования; в – сколы лучей, демонстрирующие сильное искажение псевдокристалломорфного строения ёжеподобных глендонитов; г – внутренняя сторона плоского луча с характерным скульптурным рисунком роста; д – пример ёжеподобного глендонита с многочисленными тесно соприкасающимися лучами, возникшими на поверхности более ранних образований

соприкасающихся, сильно искажена, соответствует серии плоских пластинок. На поверхности лучей видна радиальная штриховка, а внешний контур иногда имеет плавные очертаниями. Картина постепенного роста луча проявляется в виде ориентированных структур, напоминающих рисунок ветки (рис. 2 а–г).

У многих своеобразных глендонитов отчётливо выявляется последовательность образования и разная интенсивность формирования лучей. Просмотры многочисленных образцов свидетельствуют о том, что рост лучей не всегда начинался из центра шарообразной структуры. Отмечаются лучи, возникающие на поверхности более ранних образований или пересекающие их, (рис. 2 д).

На поверхности некоторых лучей глендонитов хорошо видны ассиметричные накладывающиеся друг на друга бугорки, сложенные волокнистым кальцитом. На поверхности луча бугорки ориентированы одинаково к вершине луча в одних случаях и к ребру луча в других. Наличие этих и подобным им структур свидетельствуют о формировании карбонатного материала на поверхности лучей на разных стадиях образования глендонитов. На гладкой поверхности других лучей видна тонкая продольная штриховка, иногда расходящаяся веером (рис. 3 а–г).

В литоральных осадках Белого моря глендониты и ассоциирующие с ними конкреции содержат раковины морских моллюсков. Увеличение размера лучей в рыхлом осадке совершенно определённо устанавливается при рассмотрении взаимоотношения глендонитов с раковинами моллюсков. В некоторых случаях раковины оказались зажатыми между лучами глендонита, в других зафиксирован контакт луча глендонита с крупной раковиной *Mytilus*. Раковина была взломана и проткнута лучом глендонита. Это очень важное наблюдение, указывающее на постепенный рост лучей в длину и ширину в осадке плотном настолько, что раковины, соприкасающиеся с растущими лучами глендонитов, не могли быть отодвинуты.

В литоральных осадках Белого моря и в четвертичных отложениях Таймыра в одном слое осадка зафиксировано наличие нескольких типов по прочности глендонитов: Рыхлые состоят из карбонатной внешней зоны и слабо сцементированного осадочного материала внутри (рис. 4 а). Во вмещающем осадке в шлифах видны зоны слабой карбонатной цементации, по форме напоминающие фрагмент луча глендонита (рис. 4 б, в). Сильно пористые, непрочные, легко разрушающиеся рукой глендониты, включают большое количество терригенного материала, контакт с вмещающей породой нечёткий (рис. 4 г). Прочные пористые глендониты с неровной шерохова-

той поверхностью, включают небольшое количество терригенного материала (рис. 4 д). Прочные плотные глендониты с гладкой поверхностью, светло-коричневого цвета, не содержат терригенный материал, а их контакт с вмещающей породой чёткий (рис. 4 е). Лучи всех типов глендонитов, независимо от количества включённого терригенного материала, несут сходные морфологические черты роста в виде уступов.

Залегание рассмотренных типов глендонитов в одном слое указывает на одновременное их появление на одном стратиграфическом уровне и постепенное формирование в разных точках слоя осадка. Исследование этого осадка в шлифах выявило наличие участков слабой карбонатной цементации ограниченной прямыми границами, особенно хорошо выявляющимися в поляризованном свете, (см. рис. 4 б, в).

При сопоставлении данных микроскопического изучения в шлифах глендонитов разной пористости и разного содержания обломочного материала выяснилось, что соседство в одном слое пористых и прочных глендонитов возникло в процессе растворения в теле глауконита почти всех терригенных компонентов. Место этих компонентов заняли разные микроскопические кальцитовые образования, но главную роль играли гранулы, биохемогенное формирование которых рассматривается ниже. В прочных глендонитах гранулы заполняют почти всё пространство, «упираясь» в ровную границу изнутри объёма глендонита (рис. 5 а–г).

МИКРОПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ГЛЕНДОНИТОВ

Исследование микропетрографических структур глендонитов разного возраста (пермо-карбона Австралии, палеогена Камчатки, неогена Аляски, плейстоцена Таймыра и Чукотки) показало, что они идентичны с современными из литоральных осадков Белого моря. В древних образцах, частично преобразованных в процессе вторичной карбонатизации, легко распознаются основные микропетрографические структуры и типичный хаотичный характер их размещения в теле лучей глендонитов.

В строении беломорских, таймырских и чукотских глендонитов при изучении шлифов установлено наличие нескольких основных микроструктурных типов выделений кальцита. Подробно особенности микроскопического строения глендонитов из литоральных осадков Белого моря рассматриваются в [Гептнер и др., 1994, Гептнер и др., 2014].

По результатам оптической микроскопии были выявлены следующие основные микроструктур-

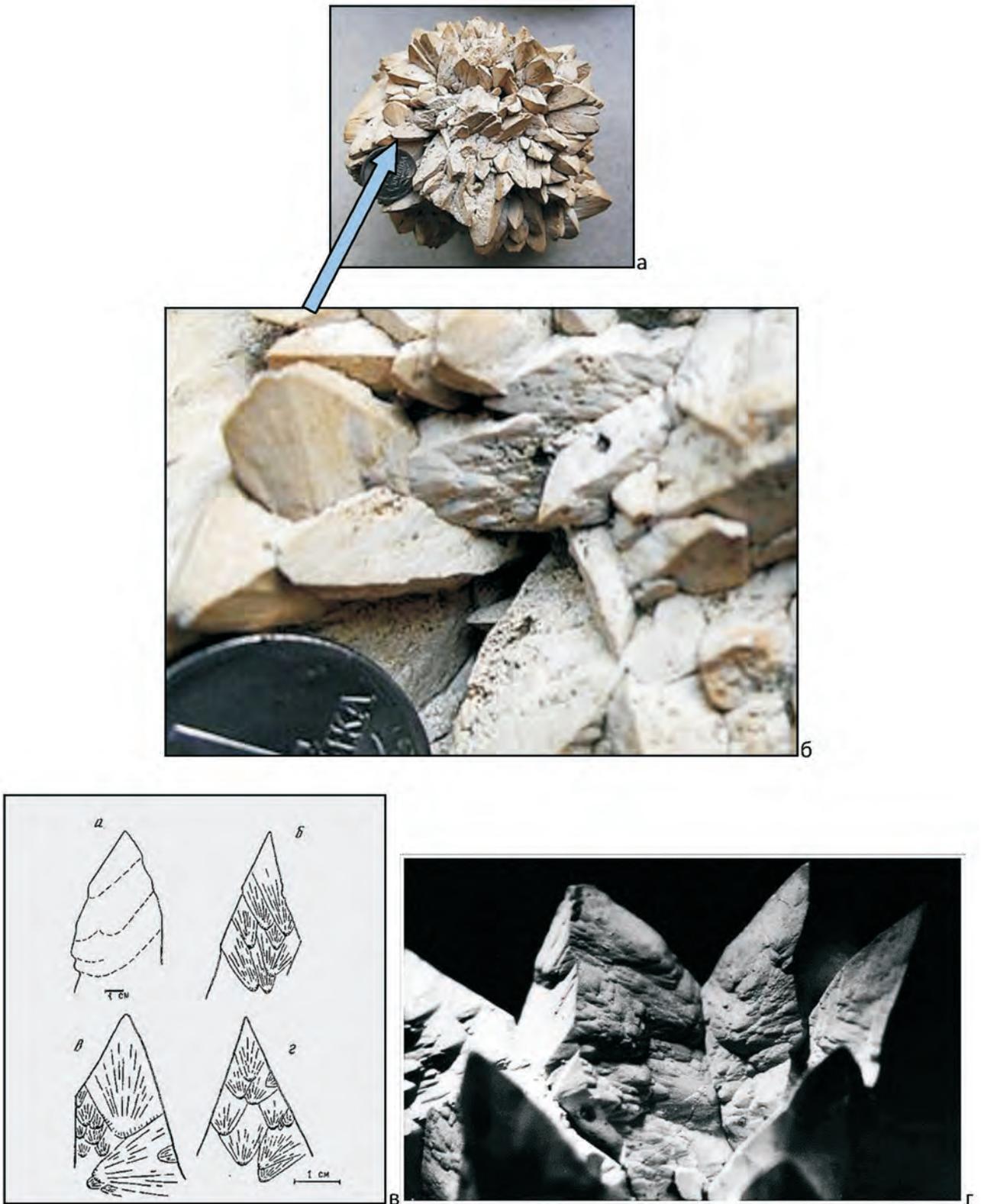


Рис. 3. Характерные особенности скульптурных элементов, образовавшихся на поверхности лучей глендонитов

а – общий вид ёжеподобного глендонита; б – увеличенный фрагмент ёжеподобного глендонита. Детали строения скульптурных элементов – ассиметричных бугорков и штриховки; в – расположение разных скульптурных элементов на поверхности лучей: (см. рис. 2 а; уступов – а, ассиметричных бугорков – б на зарисовке); г – пример расположения ассиметричных бугорков и уступов на разных лучах одного ёжеподобного глендонита

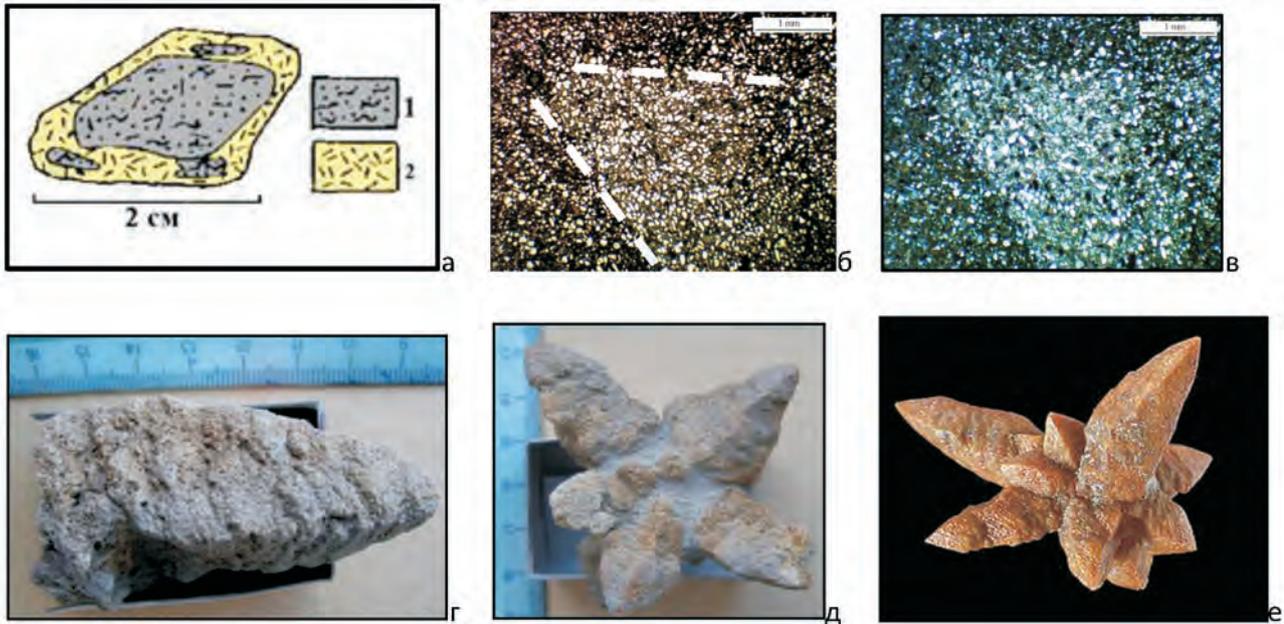


Рис. 4. Внутреннее строение глендонитов, отражающее последовательность их формирования
 а – участок слабо карбонатизированного осадочного материала, (на зарисовке поперечный срез рыхлого глендонита, 1 – осадок, 2 – осадок обогащённый микроскопическими выделениями карбоната); б, в – осадок, включающий глендониты, с неравномерной слабой карбонатизацией, а – естественный свет, б –поляризованный свет, фото шлифа; г – луч непрочного пористого глендонита, фото образца; д – прочный пористый глендонит, фото образца; е – прочный плотный глендонит с гладкой поверхностью, фото образца

ные петрографические типы выделений карбоната в теле глендонитов,

1. гранулы (удлиненные зёрна), состоящие из волокон с концентрическим расположением зон пористости на продольных и поперечных срезах (рис. 6 а, б).

2. шары или ооиды с отчётливым радиально лучистым, реже концентрическим расположением микроразделов (рис. 6 в, г).

3. нити, состоящие из скопления криптокристаллического карбоната с включениями чёрного вещества, слагающего колломорфные выделения с чёткими границами (рис. 6 д, е).

4. метельчатые пучки волокон, образующие скопления ориентированных волокон на поверхности гранул, шаров, нитей и терригенных компонентов

5. крустификационные выделения метельчатых пучков волокон на поверхности гранул, шаров, на стенках пустот и на внутренней стороне границы глендонита с породой.

Необходимо подчеркнуть, что наиболее широко распространены образования, напоминающие при небольшом увеличении по форме удлиненные гранулы или рисовые зёрна. Размер этих образований варьирует в широких пределах. Максимальные размеры по длинной оси составляют 0.4–0.5 мм. Гранулы в теле глендонита никак не

ориентированы, распределены хаотично. В некоторых случаях наблюдалось прислонение несколько гранул друг к другу по длинной оси или соединение их торцом в цепочку. Гранулы состоят из пучков плотно прилегающих волокон, первоначально, вероятно, состоявших из арагонита, замещившегося позднее кальцитом. На продольных и поперечных срезах гранул отчётливо видно концентрическое строение, выявляющееся благодаря наличию в отдельных слоях непрозрачного колломорфного вещества, содержащего, вероятно, большое количество органики (см. рис. 6 а, б).

Реже встречаются шарообразные выделения и разнообразные срастания типа гантелей, состоящие из целых или половинок шаров, соединённых тонковолокнистой перемычкой. На срезе шаров отчётливо видна тонкая радиальная структура, (см. рис. 6 в, г).

Криптокристаллические метельчатые и веерообразные скопления карбоната распространены в свободных полостях между гранулами, слагают оболочки на поверхности гранул, шарообразных и нитевидных структур, терригенных обломках и выстилают стенки полостей в пористых глендонитах (см. рис. 6 д, е). Подробно эти и другие структуры глендонитов из литоральных осадков Белого моря рассмотрены в [Геппнер и др., 1994, см. рис. 5]. Аналогичные структуры наблюдались

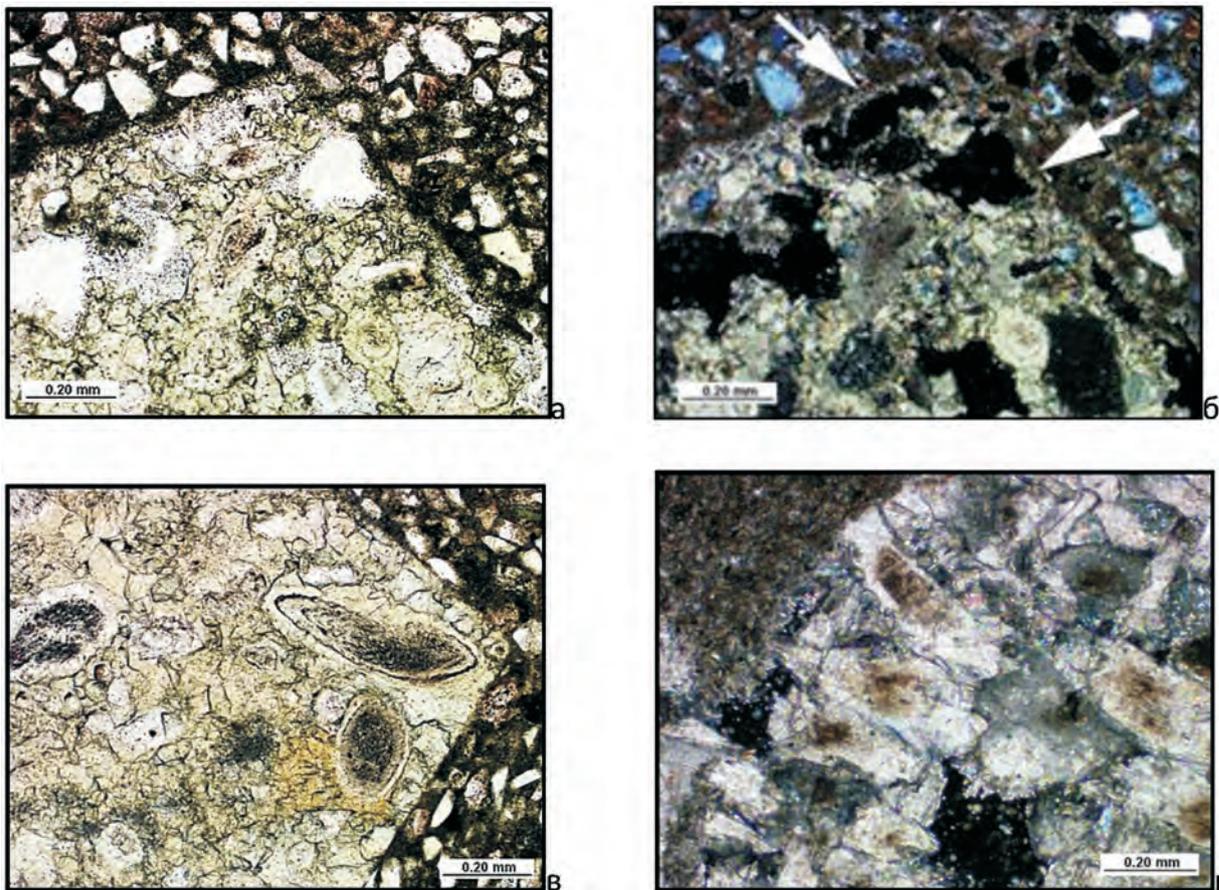


Рис. 5. Сопоставление результатов микроскопического изучения глендонитов разной пористости, с разным содержанием обломочного материала. Фото шлифов

а, б – контакт луча пористого глендонита с осадком. По контуру луча на границе с осадком располагается карбонатная крустификационная кайма (стрелки на б), первоначально сформированная арагонитом: а – естественный свет, б – поляризованный свет; в – луч плотного глендонита, сложенного гранулами разного размера, естественный свет; г – край луча плотного глендонита, сложенного крупными гранулами, вплотную примыкающими к ровной границе с осадком, поляризованный свет

в строении глендонитов из четвертичных отложений Таймыра и Чукотки.

Анализ строения гранул в шлифах в поперечных и продольных срезах показал, что концентрическая зональность обусловлена существованием микроканалов и неравномерным заполнением их непрозрачным коллоидным веществом. Нитевидные структуры состоят из крипнокристаллического карбоната с неравномерно распределёнными сгустками непрозрачного коллоидного вещества. Нитевидные структуры со всех сторон обрастают многочисленными карбонатными метельчатыми выделениями первоначально состоявшие, вероятно, из арагонита.

В исследованных районах в современных литоральных осадках и в четвертичных отложениях глендониты и ассоциирующие с ними кальцитовые конкреции являются единственными карбо-

натными образованиями, формировавшиеся при интенсивном или полном разрушении вмещающего терригенного осадка.

МИКРОСТРУКТУРНЫЕ ТИПЫ АУТИГЕННЫХ ВЫДЕЛЕНИЙ КАРБОНАТА КАЛЬЦИЯ ГЛЕНДОНИТОВ

Дополнительно к ранее опубликованным микроструктурным особенностям глендонитов [Гептнер и др., 1994; Гептнер и др., 2014] необходимо рассмотреть некоторые результаты исследований на сканирующем электронном микроскопе.

Изучение гранул в сканирующем микроскопе показало, что они сложены волокнами арагонита или пирамидальными образованиями. Пучки, состоящие из волокнистого карбоната, с одной стороны узкие расширяются в виде метёлки с другой.

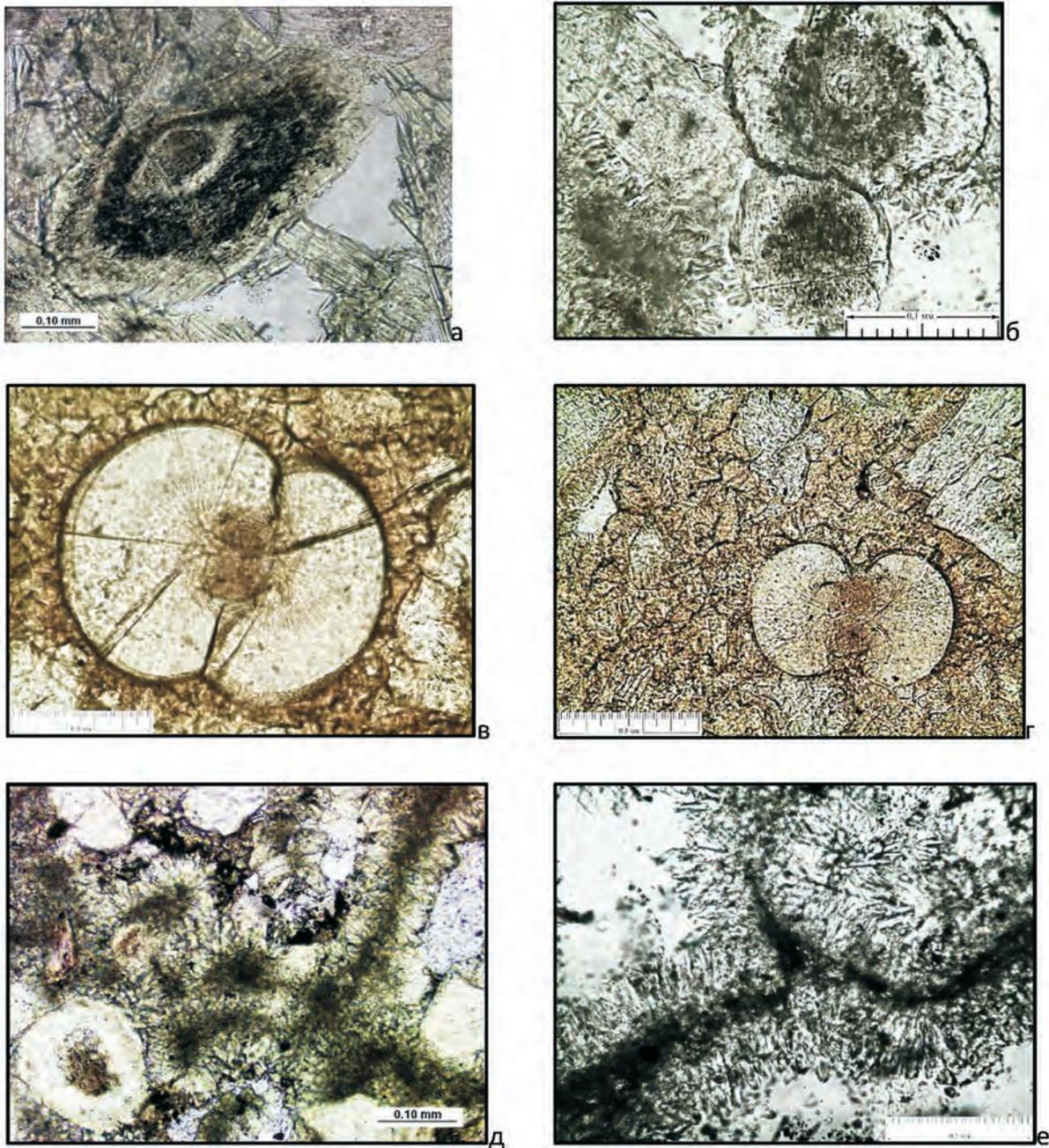


Рис. 6. Структурные типы аутигенных выделений карбоната в глендонитах. Фото шлифов а, б – гранулы: а – продольный срез, б – поперечный срез, характер сочленения гранул. Неравномерное распределение тёмного вещества подчёркивает зональность строения гранул; в – шаровая структура с намечающимся делением на две половинки; г – гантелеобразная структура, образовавшаяся из двух половинок разделившегося шара; д, е – метельчатые и веерообразные скопления карбоната на нитях, гранулах и стенках полостей: д – естественный свет, е – другое поле зрения, поляризованный свет, нить располагающаяся между гранулами

В теле гранулы пучки волокон плотно прилегающие друг к другу, по длинной оси ориентированы противоположными концами, образуя вытянутые гантелеобразные структуры, (рис. 7 а, б). В торцевой части гранул располагаются расширяющиеся части пучков, пронизанные многочисленными ка-

налами, (рис. 7 в). На поперечных и продольных срезах гранул, как было показано при исследовании шлифов, сочетание пучков образует concentricкую зональность, хорошо видную в случае неравномерного заполнения полостей непрозрачным материалом, (см. рис. 6 а, б).

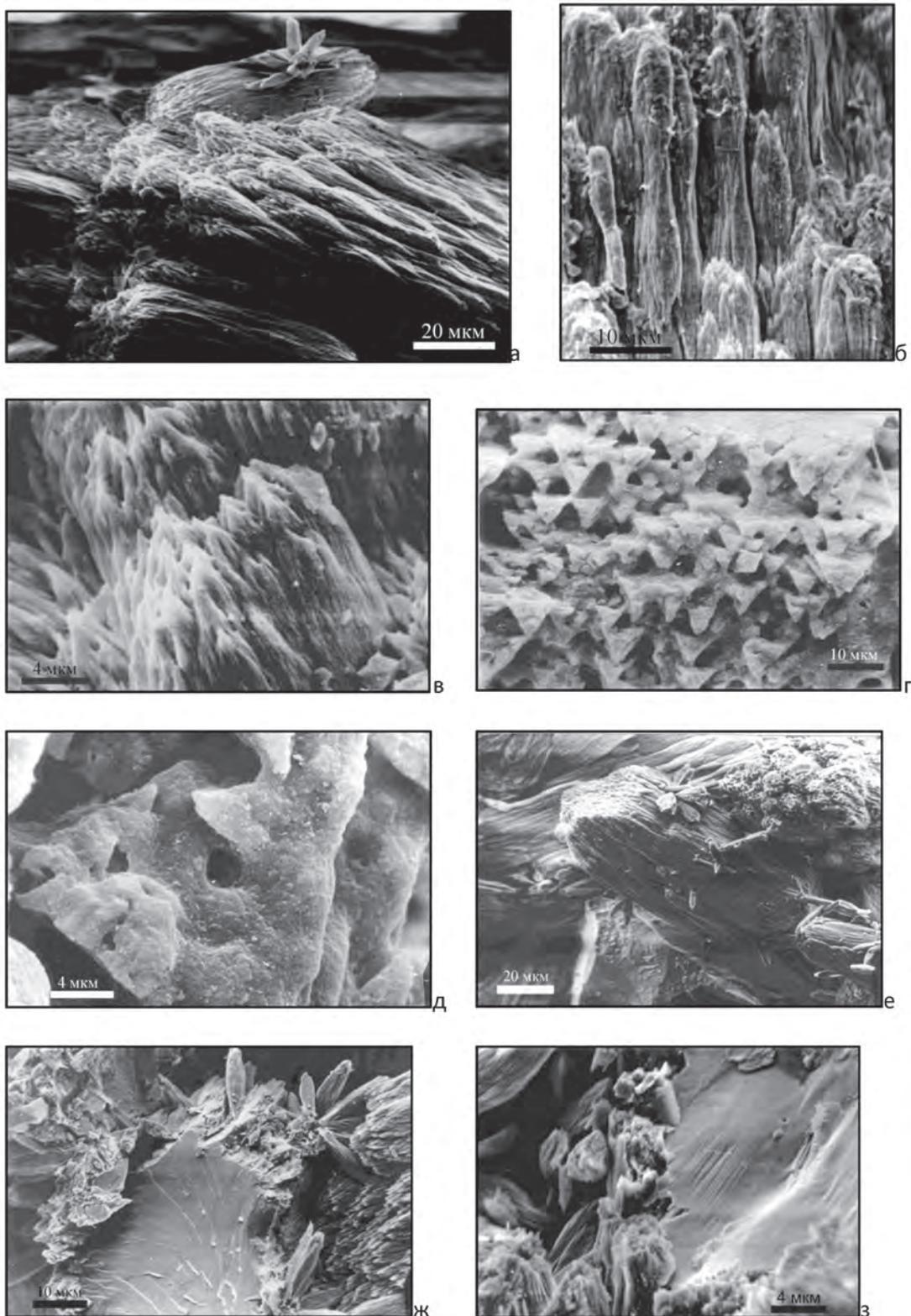


Рис. 7. Микроструктурные типы аутигенных выделений карбоната в глендонитах, результаты исследования на сканирующем электронном микроскопе, СЭМ

а, б – гантелеобразные структуры пучков, слагающие гранулы; а – общий вид гранул, б – гантелеобразная упаковка пучков в теле гранулы; в – торцовая часть пучков, слагающих гранулу; г – гранула, состоящая из серии пирамидальных одинаково ориентированных образований, поперечный срез; д – деталь строения пирамидального образования с круглым отверстием; е – характер взаимоотношения внутри глендонита обломков кварца и новообразованного карбоната; е – пассивный контакт зерна кварца с гранулами; ж, з – следы интенсивного растворения на контакте кварца и волокнистых карбонатных (арагонитовых) пучков

Наблюдения в сканирующем микроскопе позволили установить, что пирамидальные структуры образуют вытянутые формы аналогичные тем, которые состоят из волокнистого арагонита. Они ориентированы по длинной оси пучка и пронизаны многочисленными круглыми отверстиями, (рис. 7 г, д).

Зёрна кварца, расположенные между гранулами, интенсивно корродированы. Располагающиеся на контакте с кварцем одиночные и группы волок-

нистых пучков, вероятно, возникли в процессе разрушения терригенных компонентов (рис. 7 е–з).

Глендониты из литоральных осадков Белого моря включают большое количество целых и обломки панцирей диатомовых. Диатомовые иногда столь многочисленны, что облепляют гранулы со всех сторон (рис. 8 а). Среди панцирей диатомовых выделяется две группы: с чётко видимой структурой и покрытые тонкой минерализованной

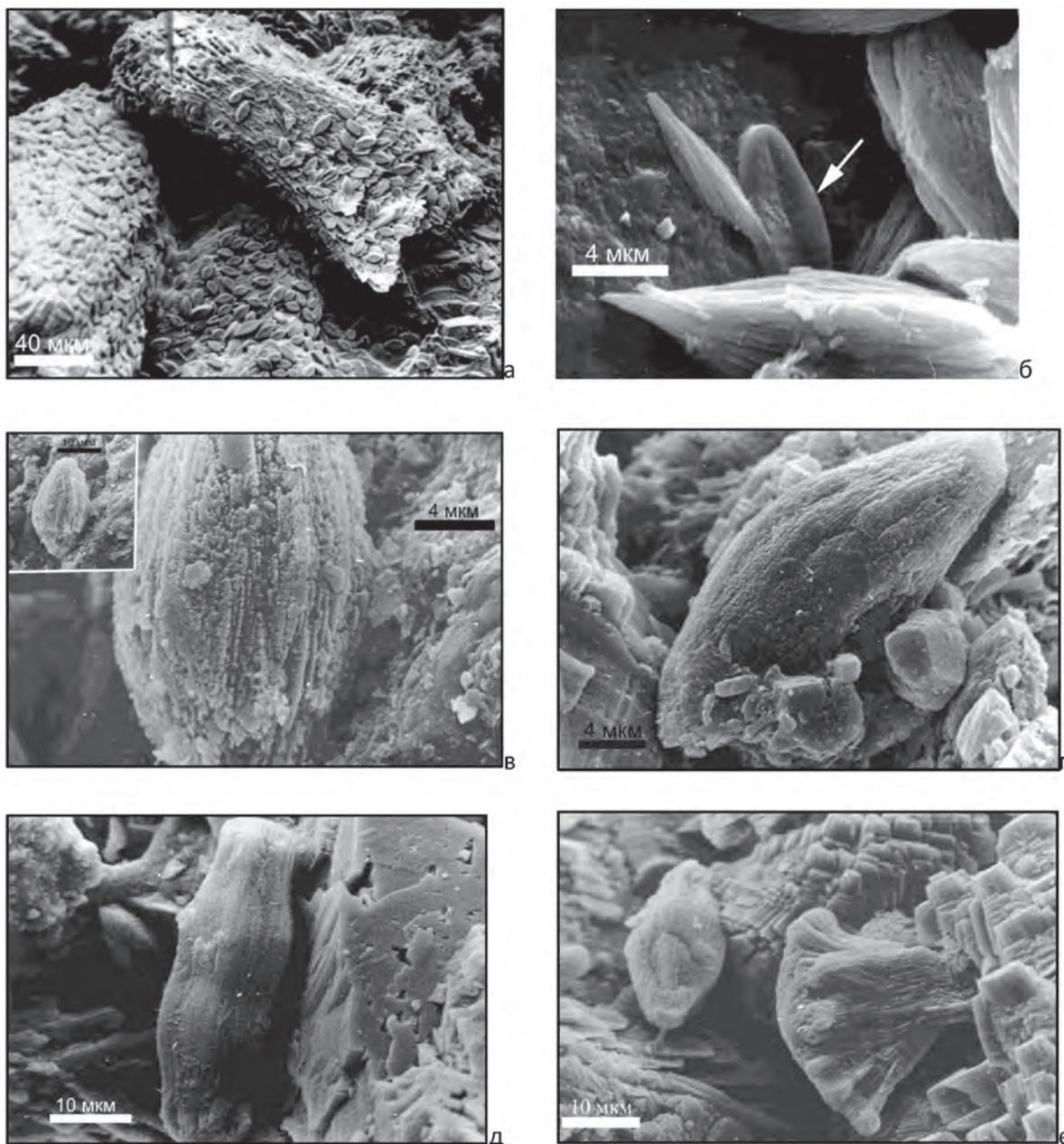


Рис. 8. Карбонатный материал, образовавшийся внутри глендонитов на поверхности панцирей диатомовых, СЭМ а – диатомовые панцири на поверхности гранул; б – тонкая карбонатная плёнка на поверхности панциря диатомовой водоросли (стрелка), располагающейся среди волокнистых пучков арагонита; в–д – карбонатная пленка, полностью покрывающая створки панциря диатомовой водоросли; е – крупный фрагмент метельчатого карбонатного образования и панцирь диатомовой водоросли, полностью покрытый карбонатной плёнкой

плёнкой, скрывающей основные черты строения створки панциря (рис. 8 б). Здесь же присутствуют панцири диатомовых полностью покрытые карбонатным слоем. Такое карбонатное выделение на поверхности створок диатомовых отличается ребристой формой, ориентированной по длинной оси панциря, хорошо различимой сегментацией вдоль ребра на микроскопические индивидуумы (рис. 8 в–д). Повсеместно в теле глендонитов видны многочисленные метельчатые пучки волокнистого карбоната, в некоторых случаях слагающие структуры, напоминающие фрагмент внутренней структуры цветной капусты (рис. 8 е).

Одиноким метельчатым образованиям широко распространены в открытых полостях между гранулами, шарами, нитями и терригенными обломками (рис. 9 а). У многих шарообразных структур намечается шов, разделяющий их на две половинки. Гантелеобразная структура, образовавшаяся при разделе шара, сформирована волокнистым пучком, (рис. 9 б). Сходные формы волокнистых пучков, гантелей и гранул обнаружены в составе микроагрегатов арагонита бактериально осаждённого в лабораторных условиях [Ehrlich, 1996].

Анализ микроструктур показал, что в ёжеподобных глендонитах локально вокруг гранул, шарообразных структур и обломков терригенного материала образовались крустификационные арагонитовые каёмки (рис. 9 в, г). Там, где каёмки располагаются вокруг гранул, фиксируется их частичное растворение и замещение новообразованным карбонатным материалом, (рис. 9 д). В этой зоне в теле гранул видны структуры растворения в виде микроскопических полостей и микрорельефа из положительных форм с полосчатой ориентировкой (рис. 9 е). Можно предположить, что формирование крустификационных каёмок и разрушение гранул произошло внутри глендонитов в результате активной биохемогенной деятельности микроорганизмов. Свидетелями этой деятельности могут служить минерализованные плёнки (вероятно, минерализованный гликокаликс), покрывающие отдельные части гранул, фрамбоиды пирита и стенки больших полостей в карбонатных структурах внутренней части глендонита (рис. 9 е, ж).

ОБСУЖДЕНИЕ МАТЕРИАЛА

Проанализированы условия залегания, состав, строение и ряд микроструктур, возникшие с точки зрения биохемогенного происхождения глендонитов за счет мобилизации газообразных углеводородов. Для района Белого моря этот источник мог быть связан с поступлением углеводородов из отложений докембрийского фундамента [Гептнер и др., 1994, см. фиг. 2].

Фундаментальное отличие икаита от глендонитов заключается в том, что кристаллы икаита, судя по литературным данным, не содержат терригенный материал, формируясь на поверхности или в верхнем слое осадка и «раздвигая» осадочные компоненты [Selleck, et al., 2007]. Напротив, глендониты, особенно на начальной стадии образования, включают большое количество различных компонентов терригенного осадка (минералы, обломки раковин, панцири диатомовых водорослей).

Литологические исследования свидетельствуют о том, что глендониты и ассоциирующие с ними конкреции являются единственными карбонатными образованиями в рыхлых литоральных осадках Белого моря и в четвертичных отложениях Таймыра и Чукотки. Результаты минералогическо-петрографических исследований определенно указывают на то, что глендониты образуются ещё в слое рыхлого осадка, а их размер увеличивается, захватывая терригенные и органогенные (раковины) компоненты. Формирование глендонитов в слое осадка сопровождается интенсивным разрушением включенных в них терригенных компонентов и образованием ряда микроструктур карбонатного состава, вероятно, арагонита.

Последовательность формирования и рост лучей глендонитов определённо были установлены при их изучении в составе карбонатных конкреций [Гептнер и др., 2014, см. рис. 4 и 5].

О стадиях роста и постепенном увеличении размера глендонитов свидетельствуют наблюдающийся «ступенчатый» скульптурный рисунок на поверхности граней лучей глендонитов, захват глендонитами терригенных обломков и раковин моллюсков и разрушение раковины лучами глендонита в процессе его формирования.

Результаты исследования глендонитов из современных литоральных осадков Белого моря и четвертичных Таймыра указывают на постепенный и неравномерный в пределах одного слоя процесс образования и роста глендонитов. Терригенные компоненты в глендонитах распределены неравномерно. Формирование глендонитов сопровождается разрушением минеральных и органогенных компонентов. В плотных разностях, карбонатный материал которых формировался дольше, терригенных компонентов остаётся мало или они отсутствуют. Пористые, «рыхлые» глендониты, находящиеся на ранней стадии формирования, напротив, демонстрируют большое разнообразие содержания обломочного материала и в них повсеместно видна активная коррозия обломков аутигенными карбонатами.

Предполагается, что главную роль в разрушении силикатного материала обломков может игра-

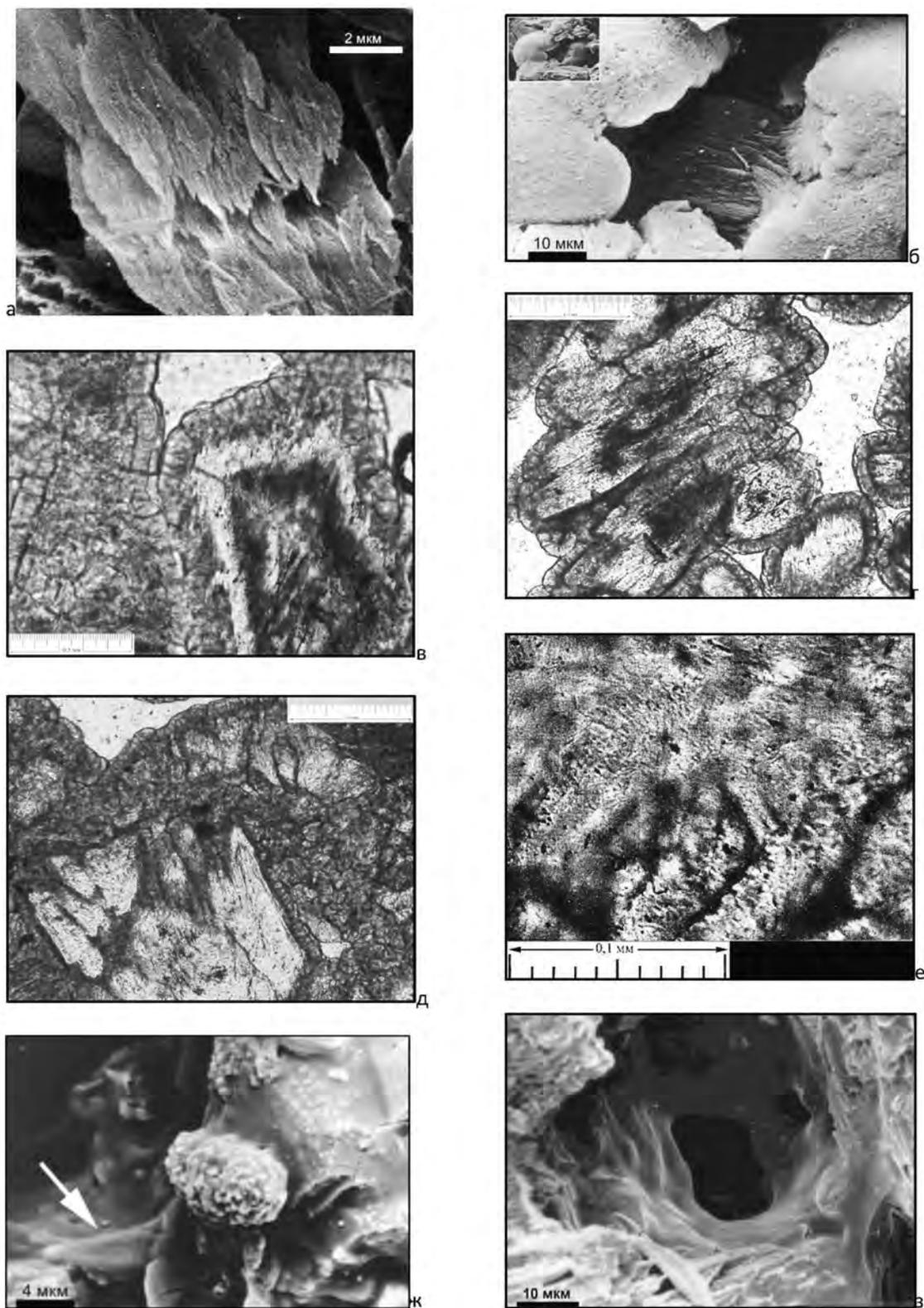


Рис. 9. Типы микроструктур в глендонитах – свидетели микробиохимической деятельности
 а – одиночные метельчатые структуры в полостях глендонита, СЭМ; б – гантелеобразные структуры, образовавшиеся из двух полушарий и перемычки из волокнистой структуры, сходной по структуре с гранулой, СЭМ; в, г – гранула с кристификационной арагонитовой каймой, фото шлифа; д – гранула со следами растворения и замещения арагонитом, непосредственно связанным с кристификационной каймой, фото шлифа; е – структура растворения на поверхности сохранившейся части гранулы, фото шлифа; ж, з – тонкая плёнка – минерализованный гликокаликс внутри пористого глендонита, СЭМ: ж – панцирь диатмовой водоросли (стрелка), выделение пирита и стенки пористого пространства, з – крупная полость между гранулами

ет микробиота. Свидетельством этого являются волокнистые разности карбонатов, широко развитые в глендонитах и представленные в виде единичных или скоплений метельчатых образований, их пучков и гранул, часто сконцентрированных около или непосредственно соприкасающихся с разрушающимся минеральным объектом.

Морфологически эти образования похожи на карбонатные (арагонитовые) выделения, формировавшиеся в различных природных обстановках и в лабораторных условиях при участии бактерий [Астафьева и др., 2011; Chafetz, Guidry, 1999; Wright, 1999; Janssen et al., 1999; Ehrlich, 1995].

Свидетелями активной бактериальной деятельности в глендонитах служат минерализованные нити и плёнки, наблюдающиеся внутри глендонитов в полостях и на поверхности микропетрографических структур. Подтверждением бактериального способа карбонатной минерализации внутри глендонитов служит также наличие карбонатного чехла на поверхности некоторых панцирей диатомовых водорослей и минерализованные плёнки гликокаликса, обнаруженные внутри комплекса карбонатных микроструктур в глендонитах из литоральных осадков Белого моря.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приводятся результаты исследований, дополняющие выдвинутое ранее представление о биохомогенном формировании карбоната глендонитов.

Анализ характера взаимоотношения глендонитов с вмещающими осадками, особенности формы и строение свидетельствует о постепенном и неравномерном в пределах одного слоя увеличении размеров этих образований. Детально изученный комплекс карбонатных микроструктур глендонитов даёт достаточно оснований для предположения о биохомогенной их природе. Для уточнения этого предположения необходимо провести дополнительные биохимические и геохимические исследования на местонахождении беломорских глендонитов у устья реки Оленица (Терский берег, Кольский полуостров) с целью выявления в осадках признаков метановых сипов из реликтовых газогидратных залежей или иных скоплений природного газа в подстилающих толщах. Перспективность таких исследований очевидна при широком распространении явления эмиссии метана в арктических районах [Друщиц, Садчикова, 2017].

Рассмотренные материалы не позволяют согласиться с широко распространённым в литературе мнением о формировании глендонитов при изоморфном замещении кристаллов икаита. Анализ изотопного состава беломорских глендо-

нитов [Гептнер и др., 2014] и сопоставление с соответствующими данными по икаиту указывают на то, что карбонаты глендонитов (ватерит, арагонит, кальцит), появляющиеся в осадке при активном участии бактерий, могли формироваться в более широком диапазоне условий при наличии органического углерода или поступления метана биогенного происхождения из подстилающих отложений.

Литература

- Астафьева М.М., Герасименко Л.М., Гептнер А.Р. и др. Ископаемые бактерии и другие микроорганизмы в земных породах и астроматериалах. М.: ПИН РАН, 2011. 172 с. 71 фототаблица.
- Гептнер А.Р., Покровский Б.Г., Садчикова Т.А., Сулержицкий Л.Д., Черняховский А.Г. Локальная карбонатизация осадков Белого моря (концепция микробиологического образования) // Литология и полезные ископаемые. 1994. № 5, С. 3–22.
- Гептнер А.Р., Ветошкина О.С., Петрова В.В. Новые данные о составе стабильных изотопов глендонитов Белого моря и их генезис // Литология и полезные ископаемые. 2014. № 6, с. 506–424.
- Друщиц В.А., Садчикова Т.А. Природные условия образования и сохранения континентальных гидратов метана на арктических континентальных окраинах // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. 2017. № 75, с. 135–146.
- Каплан М.Е. Кальцитовые псевдоморфозы (псевдогейлюссит, яровит, тинолит, глендонит, геннойши, беломорские рогульки) в осадочных породах. Происхождение псевдоморфоз // Литология и полезные ископаемые. 1979. № 5. С. 125–141.
- Тугарова М.А. Карбонатные микробиолиты, строение, состав, генезис. Автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора геолого-минералогических наук. 2016. Санкт-Петербург. ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга»
- Ehrlich H.L. Geomicrobiology. N.Y.: Marcel Dekker, 1995. 719 p.
- Greinert J., Derkachev A., Glendonites and methane-derived Mg-calcites in the Sea of Okhotsk, Eastern Siberia: implications of a venting-related Ikaite/glenonite formation // Marine Geology 2004. V. 204. P. 129–144.
- David N.W.E., Taylor I.G., Woolnough W.G., Faxall H.G. Occurrence of the pseudomorph glendonite in New South Wales. Records Geol. Surv. N.S. Wales, 1905, v. 8. Pt 2. P. 161–179.
- Janssen A., Swennen R., Podoor N., Keppens E. Biological and diagenetic influence in Recent and fossil tufa deposits from Belgium // Sedimentary Geology. 1999. V. 126. P. 75–95.
- Carr P., Jones B., Selleck B. The father of mineralogy, his son, and frozen prawns – the cool mineral connection. Abstracts. Number 76. SGGMP – Port Macquarie. 2005. P. 33–36.

- Carr P.F., Jones B.G., Middleton R.G.*, Precursor and formation of glendonites in the Sydney Basin // *Australian Mineralogist*. 1989. V. 4. P. 3–12.
- Chafetz H.S., Guidry S.A.* Bacterial shrubs, crystal shrubs, and raycrystal shrubs: bacterial vs abiotic precipitation // *Sedimentary Geology*. 1999. V. 126. P. 57–74.
- Morales C., Rogov M., Wierzbowski H., Ershova V.*, et al., Glendonites track methane seepage in Mesozoic polar seas // *GEOLOGY*, Geological Society of America. 2017. doi:10.1130/G38967.1
- Selleck B.W., Carr P.F., Jones B.G.* A Review and Synthesis of Glendonites (Pseudomorphs after Ikait) with new data: Assessing Applicability as Recorders of Ancient Coldwater Conditions // *J. Sedimentary Research*. 2007. V. 77. P. 980–991. doi: 10.2110/jsr.2007.087.
- Suess E., Balzer W., Hesse K.F.* et al. Calcium carbonate hexahydrate from organic rich sediments of the Antarctic shelf; precursors of glendonites // *Science*. 1982. V. 216. P. 1128–1131.
- Swainson I.P., Hammond R.P.* Ikait, CaCO₃ · 6H₂O: cold comfort for glendonites as paleothermometers // *American Mineralogist*. 2001. V. 86. P. 1530–1533.
- Wright D.* The role of sulphate-reducing bacteria and cyanobacteria in dolomite formation in distal ephemeral lakes of the Coorong region, South Australia // *Sedimentary Geology*. 1999. V. 126. P. 147–157.
- Astaf'yeva M.M., Gerasimenko L.M., Geptner A.R.* i dr. Iskopayemye bakterii i drugiye mikroorganizmy v zemnykh porodakh i astromaterialakh. M.: PIN RAN, 2011. 172 s. 71 fototablitsa.
- Geptner A.R., Pokrovskiy B.G., Sadchikova T.A., Sulerzhitskiy L.D., Chernyakhovskiy A.G.* Lokal'naya karbonatizatsiya osadkov Belogo morya (kontseptsiya mikrobiologicheskogo obrazovaniya) // *Litologiya i poleznyye iskopayemye*. 1994. № 5, S. 3–22.
- Geptner A.R., Vetoshkina O.S., Petrova V.V.* Novyye dannyye o sostave stabil'nykh izotopov glendonitov Belogo morya i ikh genesis // *Litologiya i poleznyye iskopayemye*. 2014. № 6, s. 506–424.
- Drushchits V.A., Sadchikova T.A.* Prirodnyye usloviya obrazovaniya i sokhraneniya kontinental'nykh gidratov metana na arkticheskikh kontinental'nykh okrainakh // *Byulleten' Komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda*. 2017. № 75, s. 135–146.
- Kaplan M.Ye.* Kal'tsitovyie psevdomorfozy (psevdogeylyussit, yarovit, tinolit, glendonit, gennoyshi, belomorskiye rogul'ki) v osadochnykh porodakh. Proiskhozhdeniye psevdomorfoz // *Litologiya i polez. iskopayemye*. 1979. № 5. S. 125–141.
- Tugarova M.A.* Karbonatnyye mikrobiolity, stroyeniye, sostav, genesis. Avtoreferat dissertatsii na soiskaniye uchonoy stepeni doktora geologo-mineralogicheskikh nauk. 2016. Sankt-Peterburg. FGUP «VNII Okeangeologiya im. I.S. Gramberga»

A.R. Geptner **BIOCHEMICAL GENESIS OF GLENDONITES**

New data are presenting which complementing an idea of biochemical genesis of glendonites. Recent glendonites have been studied from littoral sediments of White Sea, Pleistocene deposits of Taimyr and Chukchi Peninsula. Several specified carbon microstructure allow approve of biochemical origin of glendonites and hydrocarbons as possible environment for microbe activity.

Key words: glendonite, littoral sediments, White Sea, Pleistocene, Taimyr, Chukotka