

ЛИТОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РИФОВОГО МАССИВА ОСТРОВА БЕРХА (АРХИПЕЛАГ НОВАЯ ЗЕМЛЯ)

А.Б.ТАРАСЕНКО, канд. геол.-минерал. наук, ассистент, *etele1@ya.ru*

В.П.МАТВЕЕВ, канд. геол.-минерал. наук, доцент, *wmatveev@mail.ru*

Д.А.СЛЯДНЕВА, студентка, *dominae.solis@gmail.com*

Д.В.КИРИЛЛОВА, студентка, *kdv-888@mail.ru*

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия

Приведена подробная характеристика 12 литолого-генетических типов пород, выделенных в составе парагенетической ассоциации фаций рифового массива острова Берха: зарифовой лагуны, рифового плато, ядра рифа, предрифового склона (контрфорса), предрифа и пинаклей. Изложена информация о структуре и текстуре, об особенностях минералого-петрографического и химического состава пород рифа и вмещающих отложений. Анализ строения фациальных зон и особенностей их латеральных изменений позволил создать модель строения рифового массива.

Ключевые слова: остров Берха, рифовый массив, литолого-генетический тип, аутигенные минералы, петрохимические модули.

Введение. Остров Берха находится в Баренцевом море у северо-западного берега острова Северный архипелага Новая Земля и входит в группу островов Горбовых. Этот район расположен в зоне сочленения двух структурно-формационных зон: Северно-Новоземельской и Западно-Новоземельской (рис.1). В строении органогенного массива острова Берха принимают участие породы нижне-среднекаменноугольного возраста.

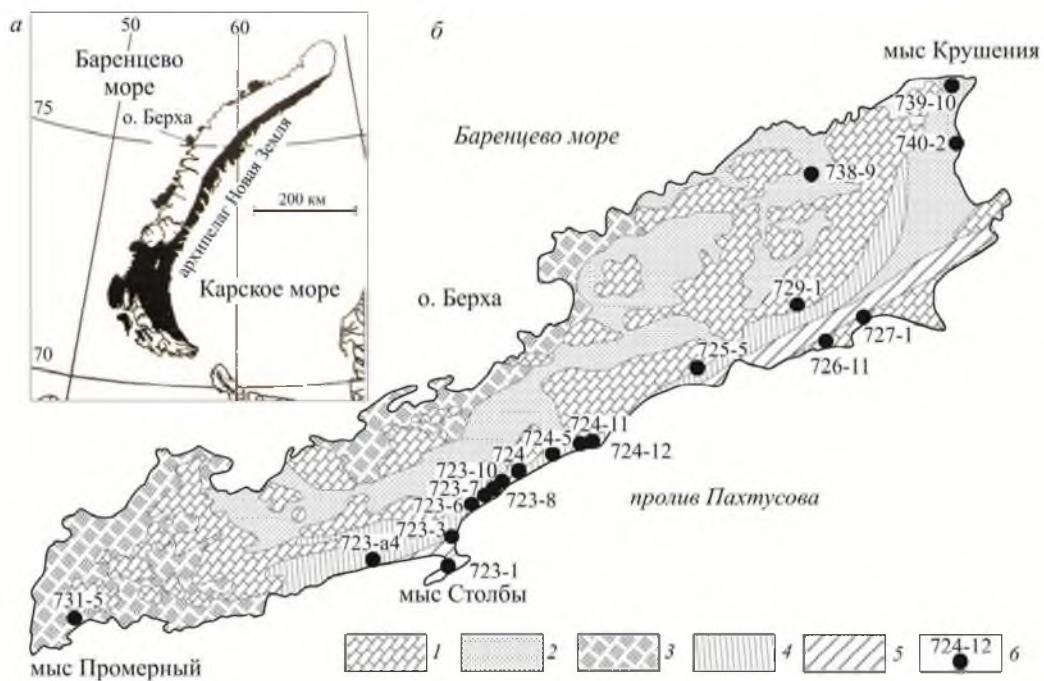


Рис.1. Местоположение острова Берха в архипелаге Новая Земля: *а* – карта архипелага Новая Земля; черным отмечены площади развития каменноугольно-нижнепермских отложений; *б* – выкопировка из геологической карты Горбовского рифового массива масштаба 1:10 000 [3] с дополнениями авторов

1 – органогенные известняки; 2 – обломочные известняки; 3 – конгломерато-брекции; 4 – органогенно-обломочные известняки; 5 – аргиллиты; 6 – номер точки наблюдений

Первые геологические наблюдения в районе острова Берха были проведены М.М.Кругловским и В.А.Русановым (1913), О.Хольтедалем (1921), Р.Л.Самойловичем (1925), М.В.Кленовой (1926). В 1936 г. А.А.Петренко было выполнено описание пород на острове Берха и определен их возраст. В 1984 г. в результате специализированных стратиграфических исследований на Горбовых островах сотрудниками ВНИИОкеангеологии Е.П.Карноушенко, Н.Н.Соболевым, Ю.П.Симоновым и сотрудником Палеонтологического института РАН С.В.Яцковым по полевому определению пород и морфологии карбонатных отложений был выделен Горбовский рифовый массив, приведен списочный состав фауны, по которому подтверждался его раннекаменноугольный возраст. В 1981-1985 годах Новоземельской партией ПМГРЭ на архипелаге осуществлялась геологическая съемка масштаба 1:200 000.

Образования Горбовского комплекса (C_{1-2gr}) обнажаются в центральной части острова Личутина и на острове Малый Заячий, но наиболее полно комплекс представлен на острове Берха (рис.1), где он слагает органогенный массив протяженностью 15 км, шириной 2-5 км и высотой около 300 м. Породы представлены органогенно-обломочными известняками, известняками массивными и карбонатными конгломерато-брекчиями. Главными рифостроющими организмами являлись филлоидные и сине-зеленые водоросли. Среди органических остатков наиболее характерны фрагменты криноидей, мшанок, брахиопод, гониатитов, водорослей, ругоз и гастропод. Выделены три фациальные зоны: рифовая равнина, рифовый уступ с каньонами, предрифовый склон и его подножие [3]. В южной части острова структура массива нарушена тектоническими разломами, по которым развиваются мощные (до нескольких метров) кальцитовые жилы.

Однако до настоящего времени информация о форме, особенностях состава и строения рифового массива является далеко не полной. Важность геологического изучения подобного объекта на архипелаге Новая Земля несомненна. Он имеет существенное значение как для геологического картирования в регионе, так и для уточнения прогнозной оценки нефтегазоносности окружающей геологической площади. Ископаемые органогенные постройки и рифы являются индикаторами палеогеографической и палеотектонической обстановок, а значит, изучение рифового массива острова Берха позволит дополнить историю развития региона в ранне-среднекаменноугольное время.

В связи с этим целью работы являлась литолого-генетическая типизация пород рифового массива и вмещающих отложений, а также определение геохимической специализации палеобассейна на острове Берха.

Фактический материал и методика. Основой работы являются многочисленные маршрутные наблюдения В.П.Матвеева, выполненные на острове Берха (180 точек наблюдения) в процессе геологической съемки листов S-40, T-41 (1981-1985); каменный материал, в том числе около 100 шлифов и пришлифовок основных разновидностей пород. Изучение палеозойского рифового массива острова Берха базируется на методике Н.М.Задорожной [1], которая позволяет выявить тип и получить унифицированную характеристику каркасной органогенной постройки, проследить ее латеральные изменения и пространственные взаимоотношения с вмещающими отложениями.

Для достижения цели выполнен комплекс исследований:

1. Проведено оптико-микроскопическое изучение пород в шлифах и пришлифовках, выделены первичные признаки пород: вещественный состав, структура и текстура (в том числе биоморфная), микроскопические органические остатки, остатки рифостроителей, количество и состав примесей.

2. Выполнена диагностика аутогенных и акцессорных минералов методом комбинационного рассеяния света на спектрометре «Renishaw InVia Reflex» на кафедре минералогии, кристаллографии и петрографии Горного университета, а также компьютерная томография образцов на рентгеновском нанотомографе 2211 фирмы «SkyScan» на кафедре исторической и динамической геологии Горного университета.

3. Определены концентрации химических элементов в известняках методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа (РСФА) в Центральной лаборатории ФГУП ВСЕГЕИ им. А.П.Карпинского. РСФА выполнялся из плавленых таблеток: проба смешивалась с флюсом (50 % метабората лития и 50 % тетрабората лития) в отношении 1:9; смесь плавилась в золото-платиновых тиглях на установке «Classe Fluxer-Bis» фирмы «Classe Fluxer» (Канада). Анализ выполнил Б.А.Цимошенко.

4. Петрохимическая методика Я.Э.Юдовича и М.П.Кетрис [5] позволила перейти к количественной оценке процессов литогенеза.

5. Полученные результаты в сочетании с анализом смены фаций позволили создать модель строения рифового массива на острове Берха.

Литолого-генетические особенности пород рифового массива острова Берха. Комплексный анализ фактического материала показал, что остров Берха – органогенная структура высокого ранга, состоящая из разнообразных элементарных органогенных построек (калиптр, биогермов, биостромов), сложенных каркасными водорослевыми и кораллововодорослевыми известняками, микросгустковыми известняками с многочисленными фенестрами и распространенных на значительной площади. Межрифовые пространства выполнены органогенными и органогенно-обломочными известняками. По периферии располагаются карбонатные конгломерато-брекчии, биокалькареныты, калькареныты. Мощность органогенного массива оценивается приблизительно в 700 м. Масштаб органогенной постройки, длительная история геологического развития и структурная позиция позволяют отнести ее к рифу. В его составе выделена парагенетическая ассоциация фаций: зарифовая лагуна, рифовое плато, ядро рифа, предрифовый склон (контрфорс), предриф и пинакли (рис.2). Породы, слагающие фации, представлены 12 литолого-генетическими типами.

Отнесение литотипов к различным ландшафтным зонам базируется на реконструкции таких характеристик, как динамика среды, скорость седиментации и соленость вод. При описании карбонатных пород использована классификация Р.Данхема [6], как наиболее полно отражающая не только литологический тип породы, но и способы ее образования.

Зарифовая лагуна выделена условно. Вероятно, на острове Берха существовали небольшие полузамкнутые водоемы с нарушенной соленостью в пределах рифовой платформы. Зарифовые отложения представлены микритовыми известняками с субгоризонтальной слойчатостью, намечаемой плитчатым расколом.

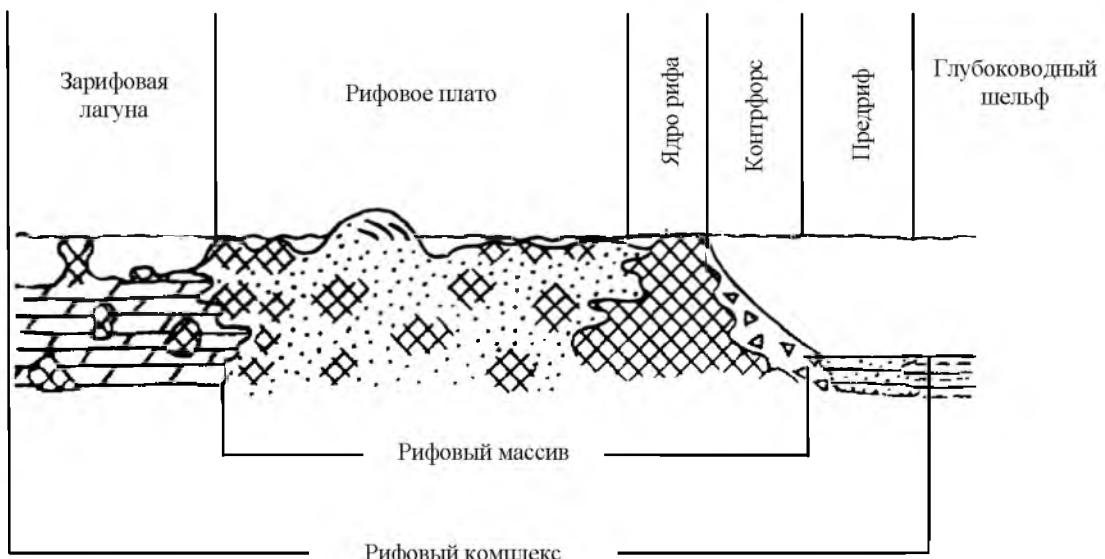


Рис. 2. Модель строения рифового массива острова Берха по Н.М. Задорожной [1] с дополнениями авторов

1-й литотип. Мадстоун – известняк темно-серый до черного, микритовый или тонкокристаллический, средне-крупноплитчатый, с пятнами и прожилками, выполненными ясно-крупнокристаллическим и параллельно-шестоватым кальцитом. Из органических остатков в известняке могут присутствовать единичные мелкие фораминиферы, остракоды, членики криноидей, обрывки мшанок и водорослей, темные микритовые сгустки и комочки. Радиально-лучистый кремень заполняет пустоты, образует желваки и стяжения, доломит ромбической формы рассеян в основной массе.

2-й литотип. Вакстоун – известняк темно-серый, серый микросгустковый, разнодетритовый до шламово-детритового. Присутствуют членики криноидей, створки остракод, фрагменты слоевищ водорослей, фораминиферы; пеллеты, редкие окатанные обломки пелитоморфного известняка. Характерна частичная перекристаллизация основной массы с укрупнением зерна, а также отчетливые инкрустации вокруг био- и литокластов.

Формирование плитчатых известняков происходило в низкодинамичной хорошо аэрируемой мелководной части морского бассейна. На это указывают микритовый состав пород и незначительное содержание терригенной примеси. Наличие субгоризонтальной слойчатости в известняках позволяет считать, что эпизоды относительно быстрого накопления микритового преимущественно карбонатного вещества многократно сменялись кратковременными седиментационными перерывами, во время которых под действием слабых волнений возникали относительно ровные межслойковые поверхности.

Рифовое плато располагается за рифовым ядром со стороны внутренней части бассейна и характеризуется устойчивым преобладанием сортированного скелетного и литокластового материала. Положение структуры указано на модели Д.К. Патрунова [3] вне площади острова и не подтверждено геологическими наблюдениями. Нами рифовое плато идентифицировано на острове Берха. Здесь широко развиты карбонатные псаммиты, гравелиты и агрегатные зерна. Литокласти, как правило, имеют микробиальную каемку, ширина которой колеблется от миллиметров до первых сантиметров. Сортировка литокластов по размеру неравномерная. Биогермные и биоморфные разности, а также слойчатость выражены в этой зоне слабо. Эти отложения формировались в условиях мелководья, на выровненной поверхности, а также в межрифовом пространстве, где накапливался органогенно-обломочный материал, забрасываемый туда интенсивными волнениями. Наиболее характерны следующие разновидности известняков: пакстоуны и флаутстоуны.

3-й литотип. Пакстоун – известняк серый водорослево-фораминиферово-детритовый, криноидный, мшанково-криноидно-водорослевый, бактериально-водорослевый, фораминиферо-микросгустковый. Многочисленны хаотично расположенные форменные элементы: микросгустки, пеллеты, фораминиферы, криноиды, брахиоподы, гастроподы, обрывки мшанок, слоевища и трубочки водорослей, кальцисфера, обломки пелитоморфных известняков изометричной формы, окатанные и гранулированные. Наблюдается перекристаллизация в виде пятен неправильной формы и прожилков с нерезкими границами (размер кристаллов кальцита уменьшается постепенно), а также полости, заполненные крупнокристаллическим кальцитом.

4-й литотип. Флаутстоун – известняк серый, темно-серый органогенно-обломочный мшанково-брахиоподовый, криноидно-фораминиферово-мшанковый. Присутствуют многочисленные биокласти рудитовой размерности и мелкий детрит: обломки, разрозненные створки и целые раковины брахиопод, «веточки» мшанок, членики и стебли криноидей, створки остракод, фрагменты кораллов, фораминиферы, водоросли; пеллеты, а также литокласти микритового известняка изометричной формы (2-5 мм). Биокласти часто гранулированы. В полостях и цементе встречается ясно-гигантокристаллический и параллельно-шестоватый кальцит, антраксолит.

Ядро рифовой постройки распознается по гнездовым и банковым скоплениям представителей как колониальной, так и раковинной фауны среди мощных биогермных пород. Здесь рифостроители достигают наибольшего таксономического разнообразия и самых

крупных размеров. Преимущественно развиты массивные плотные водорослевые образования. При жизни рифа эта часть представляла собой рифовый край с уступами, системой желобов и рифовый гребень, расположенный в полосе волнового прибоя со стороны открытого моря. Ископаемая постройка острова Берха включает в качестве составной части своей структуры калипты, небольшие биогермы и биостромы.

Калипты – это мелкие постройки желвакообразной формы размером от нескольких сантиметров до первых десятков сантиметров, состоят из каркасобразующих организмов (водорослей, мшанок и кораллов). Калипты обнаружены в точках наблюдений 723-6, 723-7, 724, 725-5, 727-1 (см. рис.1).

Биогермы – массивные ископаемые органогенные постройки, возвышающиеся над прилегающими синхронными отложениями, сложены преимущественно разнообразными водорослями, реже кораллами. Тела биогермов обнаружены в точках наблюдений 724-5, 724-11, 724-12, 723-a4.

Биостромы – массивные или слоистые ископаемые органогенные постройки, не выделяющиеся над прилегающими синхронными отложениями, состоят из водорослей, мшанок и строматолитов. Биостромы встречены в точках 723-8, 723-10, 726-11, 731-5. В точке 723-1 зафиксированы два биострома размерами 1-2 м с частыми перекристаллизованными водорослями шарообразной, эллипсоидальной формы.

Рифовое ядро острова Берха слагается каркасными известняками, для которых характерно отсутствие слоистости, пятнисто-неравномерное распределение скелетных органических остатков, кавернозность, крустикационные текстуры, гнезда и крупные полости, выполненные органогенно-обломочным материалом. Широко распространены инкрустационные корки синседиментационного радиально-лучистого кальцита. Отчетливо выражена пятнистость массивных известняков – беспорядочное расположение светлых и темных участков.

5-й литотип. Фреймстоун – каркасный водорослевый, мшанковый, коралловый известняк. Вокруг жеод и прожилков яснокристаллического кальцита обнаружен лущистый, параллельно-шестоватый кальцит. Возможно, это инкрустация по слоевищам водорослей. Обломков мало, есть органогенный шлам, единичные криноиды, фораминиферы, небольшие (<1 мм) стяжения кремней.

6-й литотип. Бафлстоун – известняк, первичные компоненты которого улавливались и осаждались водорослями *Calcifolium*. Микритовый матрикс частично перекристаллизован, наблюдаются ажурные спаритовые инкрустации полостей и вокруг водорослей. Присутствуют единичные фораминиферы и криноиды, а также аллохемы эллипсоидальной формы.

7-й литотип. Байндстоун – темно-серый криноидно-водорослевый известняк. Водоросли *Syaphyta coactilum* нередко стелются и обволакивают органические остатки, нарастают на членики криноидей. Присутствуют сомкнутые створки брахиопод, единичные фораминиферы и хорошо окатанные обломки пелитоморфного известняка.

Предрифовый склон (контрфорс) ограничивает ядро со стороны открытого моря. Фация сложена грубообломочными несортированными карбонатными конгломерато-брекчиями, образовавшимися в результате разрушения каркасных образований рифового края. Обломки представлены фрагментами черных микритовых пород и фрагментами мелководно-морских карбонатных песков. Присутствие сингенетичных карбонатных конгломерато-брекчий фиксируется юго-восточнее острова Берха на острове Личутина. Здесь они перекрыты зернистыми известняками, что указывает на распространение обломков постройки на значительное расстояние в область глубокого моря. Однако вопрос о генезисе карбонатных конгломерато-брекчий пока остается открытым. По мнению Н.Н.Соболева [3], все конгломерато-брекчии являются сингенетичными, В.П. Матвеев считает, что большая их часть имеет тектоническое происхождение [2]. В частности, по южному (мористому) краю органогенного массива проходит зона тектонического дробления, сложенная конгломерато-брекчиями (с гнездовыми вкраплениями флюорита).

Грубообломочные породы переходят в отложения с градационной сортировкой материала: органогенно-обломочные пакстоуны, грейнстоуны, рудстоуны и флаутстоуны. Фаунистические остатки представлены фрагментами мшанок, члениками криноидей, обломками раковин брахиопод, гониатитов, трубчатых водорослей, ругоз, гастропод и остракод.

8-й литотип. Пакстоун-рудстоун – известняк серый или слабо пестроцветный с зеленовато-розовым оттенком, фораминиферо-микросгустковый, водорослево-пеллетовый. В известняке встречаются многочисленные органические остатки: створки брахиопод, членики криноидей, обрывки мшанок, фораминиферы, единичные гастроподы, кораллы, нитчатые водоросли, обволакивающие пленочки, комочки и слоевища, мелкий детрит; пеллеты и сгустки (темные микритовые комочки), а также пеллоиды пелитоморфного известняка. Форменные элементы имеют неотчетливую ориентировку вдоль длинных осей и размещаются субпараллельно. Может наблюдаться градационная слоистость от недонасыщенного биомикрита к дисмикриту. Присутствуют изометричные полости с крупнокристаллическим кальцитом.

9-й литотип. Флаутстоун-рудстоун – известняк пятнистый темно-серый, серый криноидно-мшанково-пеллоидный. Характерны четкие крупные пластины мшанок и их обломки, ругозы, водоросли (нити, трубочки и слоевища), микросгустки, пеллеты и пеллоиды, остракоды, членики криноидей, фораминиферы, фрагменты известняков: пелитоморфного микросгусткового, кластогенного микросгусткового. Нередко биокласты гранулированы. Изометричной формы полости выполнены кальцитом. Многочисленные форменные элементы рудитовой размерности, пеллеты и детрит сортированы и ориентированы субпараллельно.

Разнообразные остатки морских организмов снесены течениями с рифа и рифовой платформы. Повышенные концентрации остатков морской фауны в нижней части слоя и окатанные обрывки уплотненных донных илов указывают на механическое переотложение и гидродинамическую сортировку материала [4]. Градационная текстура и тонкая ламинационная слойчатость свидетельствуют о том, что часть материала отлагалась из взвеси во время снижения гидродинамической активности придонных вод.

Предрифовая фауния на острове проявлена не выразительно. Глубоководные отложения шельфа представлены аргиллитами.

10-й литотип. Черный массивный аргиллит с неотчетливой горизонтальной слойчатостью, с единичными тонкостенными раковинами двустворок и тонкими прожилками кварца.

Пинакли – отпрепарированные карбонатные башни, которые образовались в заключительную стадию развития рифа. Это отдельные биогермы, расположенные на песчано-карбонатном морском мелководье. Сложены они фораминиферово-криноидными, преимущественно спаритовыми известняками – грейнстоунами и рудстоунами (криноидные биокалькрениты), характеризуются наличием карбонатных интракластов и незначительной доломитизацией.

11-й литотип. Грейнстоун – известняк серый массивный плотный мелко-среднекристаллический (мраморизованный) мшанково-водорослево-криноидный, фораминиферово-водорослевый, микросгустковый (слабо отмытый биоспарит, органогенный песчаник). Цемент микросгустковый и спаритовый с несортированными и неокатанными биокластами: обилие криноидей, водоросли *Calcifolium okensi*, *Girvanella*, мшанки, фораминиферы, разновеликие обломки раковин брахиопод, гастроподы, остракоды, оoidsы. Спаритового цемента и илистой известковой массы примерно поровну. Встречаются окатанные обломки пелитоморфных известняков.

12-й литотип. Рудстоун – известняк инкрустированный с перекристаллизованными пеллетами, пеллоидами и редкими биокластами. Форменные элементы представлены члениками криноидей (особенно многочисленны в образце 729-1 и образуют энкрикитовый известняк), створками спириферид, кустиками нитевидных водорослей, крупными гранулированными обломками известняков, близких к грейнстоуну и сгустково-комковатому известняку.

Минерало-петрографическая характеристика рифогенных известняков и вмещающих пород. С помощью рамановской спектроскопии выполнена диагностика минералов путем сравнения полученного рамановского спектра со спектрами стандартных образцов. Были изучены новообразования в наиболее распространенных на территории острова Берха литолого-генетических типах пород.

Так, в черных аргиллитах с горизонтальной слойчатостью, с единичными отпечатками двусторок (образец 723-3) присутствуют тонкие (< 1 мм) короткие (1-2 см) прожилки, выполненные скрытокристаллическим веществом белого цвета. Установлена их кварцевая диагенетическая природа. В образце 738-9 – сером органогенно-обломочном пеллетово-криноидном известняке (пакстоуне), выявлены разветвленные прожилки соломенно-желтого цвета с металлическим блеском, рамановский спектр которых сопоставлен со спектром пирита. В образце 739-10 – пакстоуне-грейнстоуне дегритово-водорослевом установлены диагенетические кальцитовые прожилки. В образце пакстоуна-флаутстоуна криноидно-фораминиферового 740-2 была выполнена диагностика состава раковины брахиоподы, ее перекристаллизованного мягкого тела и окружающей основной массы. По полосе построена рамановская карта и выполнено ее сравнение с оптическим изображением агрегата. Выявленная полоса соотнесена с «морским» кальцитом, что подтвердило аутигенное происхождение как цемента, так и инкрустации внутри раковины.

Компьютерная микротомография позволила визуализировать структуру образцов пород. Программное обеспечение DataViewer было использовано для визуализации пакета изображений в ортогональных сечениях с сохранением их оригинального объема и разрешения. Снимки в 3D-формате дали возможность исследовать аутигенную прожилково-вкрапленную минерализацию в известняках и аргиллитах, а также органические остатки, их ориентировку и распределение в объеме породы. Так, в структуре рифовых известняков более темные участки соответствует менее плотной – пористой части образца. Более светлые участки отвечают плотной, непористой составляющей. Терригенная примесь отсутствует. Структура аргиллитов массивная, поровое пространство отсутствует, на снимках видны тонкие разноориентированные кварцевые прожилки.

Для проведения точного детального анализа морфометрических и плотностных характеристик компьютерных томографических моделей использован программный пакет СТАп. Набор эффективных, настраиваемых и программируемых инструментов позволил провести сегментацию изучаемого объекта – криноидно-фораминиферово-мшанкового водорослевого пак-флаутстоуна. На отдельных ортогональных сечениях и по всему объему образца видна система прожилков, выполненных антраксолитом. Твердый битум антраксолит внешне представляет собой черное хрупкое блестящее вещество с раковистым изломом, характеризующееся отсутствием признаков растительных тканей. Твердость колеблется от 2-3 до 4-5. Плотность 1,3-2,0 г/см³. Содержание углерода до 93 %. Антраксолит на острове Берха встречается в органогенно-обломочных известняках контрфорса и пинаклей в виде мелких включений и гнезд в пустотах и внутри раковин, выполняет прожилки в сочетании с минералами гидротермального происхождения – кальцитом и флюоритом. Антраксолит мог образоваться при контактовом воздействии гидротерм на осадочные породы, богатые органическим веществом (углистые аргиллиты), или при региональном метаморфизме битумсодержащих толщ.

Постседиментационные преобразования пород из разных фациальных зон рифового комплекса изучались в шлифах под оптическим поляризационным микроскопом. Изменение карбонатных остатков фауны в породах обычно ограничивается перекристаллизацией кальцита и частично доломитизацией.

Кальцит развивается по микротрещинам в виде прожилков, иногда в срастании с антраксолитом. Вторичный кальцит встречается в виде пятнистых включений и зон в перекристаллизованных известняках. Особенно интенсивная перекристаллизация развивается в переотложенных органогенно-обломочных известняках – грейнстоунах и рудстоунах предрифового

склона и пинаклей. Выявлен кальцит трех генераций: 1) раннедиагенетический изопахитовый цемент представляет собой параллельно-шестоватый, лапчатый агрегат по периферии полостей, с внутренней стороны раковин брахиопод и двустворок; 2) к центральным частям полостей он постепенно замещается блочно-мозаичным кальцитом; 3) цемент перекристаллизации представлен ясно кристаллическим кальцитом. В южной части острова Берха рифовый массив разрушен тектоническими трещинами, с которыми ассоциируют мощные (до нескольких метров) жилы молочно-белого высокотемпературного кальцита.

Доломитовая минерализация является синхронной с образованием кальцита третьей генерации. Ромбические кристаллы доломита распределены равномерно, реже присутствуют в виде скоплений в карбонатном тонкозернистом матриксе мадстоунов и вакстоунов зарифовой лагуны. Средний размер зерен доломита 0,1 мм. Образование доломита связано с жизнедеятельностью микробиальных сообществ, которые в процессе своей жизнедеятельности усваивали растворенный в воде углекислый газ, что вело к повышению рН морской воды (> 9,5) и осаждению магнезиальных соединений.

Особенности геохимической специализации палеобассейна на острове Берха в ранне-среднекаменноугольное время. По данным РСФА получена информация о содержаниях химических элементов (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO и др.) в 29 порошковых пробах известняков. Поскольку карбонатное вещество осадочных пород является аутигенным, известняки хорошо отражают специфику условий осадконакопления в палеобассейне. Литохимические данные обработаны по геохимическому стандарту ЮК [5] с использованием петрохимических модулей. Их средние значения приведены в таблице.

Химический состав карбонатолитов рифового массива острова Берха

Компоненты и модули	Фация				
	Платформа, n = 8	Рифовое ядро, n = 7	Контрафорс, n = 2	Пинакли, n = 5	Предриф, n = 7
SiO_2	0,19	0,02	0,02	4,08	0,04
Al_2O_3	0,43	0,21	0,19	0,59	0,14
TiO_2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$	0,64	0,61	0,61	1,25	0,61
MnO	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04
MgO	0,50	0,47	0,49	1,16	0,64
CaO	54,73	55,10	55,05	51,42	54,89
Na_2O	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
K_2O	0,03	0,01	0,01	0,06	0,01
P_2O_5	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05
П.п.п	43,68	43,85	43,85	41,68	43,91
Сумма	100,39	100,46	100,41	100,45	100,44
ГМ	5,89	43,10	42,05	0,47	22,55
АМ	2,27	10,50	9,25	0,15	4,06
ТМ	0,02	0,05	0,05	0,02	0,07
ЖМ	1,54	2,92	3,31	2,16	4,20
ФМ	6,23	55,60	56,55	0,60	36,13
НКМ	0,29	0,53	0,62	0,27	0,78
ЩМ	3,81	8,712	6,90	1,75	7,69

Примечание. n – количество проб; петрохимические модули: гидролизатный модуль ГМ = $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO})/\text{SiO}_2$, алюмокремниевый модуль АМ = $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$, титановый модуль ТМ = $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, железный модуль ЖМ = $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO})/(\text{TiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$, фемический модуль ФМ = $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO})/\text{SiO}_2$, нормированная щелочность НКМ = $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$, щелочной модуль ЩМ = $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$.

Гидролизатный модуль использован для оценки процессов выщелачивания и гидролиза. Наибольшее значение модуля (43,10) характерно для рифового ядра – фациальной зоны, близко расположенной к суше, а следовательно, более подверженной субаэральному выветриванию. Алюмокремниевый модуль указывает на присутствие пелитовой и алевропсаммитовой фракции терригенного происхождения, поскольку глинозем и кремнезем являются некарбонатными компонентами. Высокие значения модуля (10,50) также установлены в пределах рифовой платформы, что говорит о накоплении известково-глинистых отложений в небольших полуизолированных водоемах. Повышенное содержание SiO_2 свидетельствует о поступлении кварца из области суши. Наоборот, предрифовые отложения имеют значения SiO_2 , Al_2O_3 ниже, чем в проксимальных тиховодных фациальных зонах, так как они накапливаются дальше всего от источника сноса терригенного материала. Породы рифового ядра характеризуются низкими значениями SiO_2 , Al_2O_3 и высокими показателями нормированной щелочности (0,53). Высокое значение щелочного модуля указывает на недостаток глинистого вещества в карбонатных породах. Это связано с гидродинамической активностью придонных вод, вымывавших илистый материал из межрифового пространства в предрифовую часть бассейна. Кроме того, рифовое ядро характеризуется максимальными значениями CaO (55,1), что обусловлено высокой биопродуктивностью в этой зоне.

Для предрифовой зоны характерны наиболее высокие значения железного и титанового модулей. Их пониженные значения установлены для фации контрфорса. Здесь же зафиксированы минимальные показатели нормированной щелочности. Для отпрепарированных карбонатных башенок – пинаклей характерны высокие содержания SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 и низкие показатели ГМ (0,47), АМ (0,15) и ЩМ (1,75).

Выводы

1. Рифовый массив острова Берха состоит из парагенетической ассоциации фаций, выполненных 12 литолого-генетическими типами пород.
2. Использование минералого-петрографических характеристик рифогенных известняков и вмещающих пород помогло уточнить местоположение фаций в рифовом комплексе.
3. Геохимические модули позволили перейти к количественной оценке процессов литогенеза, дать дополнительную характеристику фациальных зон и выявить обстановки субаэральной экспозиции.
4. Вторичное минералообразование: формирование кальцитовых, флюоритовых, кварцевых жил и прожилков – наиболее интенсивно проявлено в фациях контрфорса и пинаклей. Здесь же в виде прожилков, мелких включений и гнезд внутри раковин развит антраксолит. Его зональное расположение в фациях и связь с гидротермальными минералами указывает на образование при контактовом воздействии растворов на осадочные породы, богатые органическим веществом.
5. Рифовый массив развивался вблизи уреза воды и представлял собой седиментационный барьер. Вследствие разрушения известковых скелетов рифостроящих и рифолюбивых организмов формировался органогенно-обломочный материал. Его обилие в строении рифа позволяет полагать развитие донных осадков в виде шлейфов у подножия рифа. Выявление пространственно-временных закономерностей размещения обломочных шлейфов рифа может быть использовано для прогноза ловушек углеводородов.
6. Расположение органогенной постройки на бровке карбонатной платформы, латеральное замещение ее черносланцевой толщей и перекрытие карбонатно-глинистыми отложениями является признаком потенциальной нефтегазоносности данной геологической площади.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геологическая съемка в районах развития отложений с органогенными постройками: Метод. пособие по геологической съемке масштаба 1 : 50 000: Вып. 2 / ВСЕГЕИ; Н.М.Задорожная, В.В.Лавров (научн. ред.). Л.: Недра, 1982. 328 с.
2. *Матвеев В.П.* Стратиграфия и брахиоподы каменноугольных отложений острова Северный архипелага Новая Земля: Автогр. дис...канд. геол.-минерал. наук / Санкт-Петербург. горный ин-т. СПб, 1998. 19 с.
3. Путеводитель экспедиции на Баренцевоморское побережье архипелага Новая земля. СПб: Изд-во ВСЕГЕИ, 2014. 82 с.
4. Циклическая и событийная седиментация / Пер. с англ.; под ред. Г.Эйнзеле, А.Зейлахера. М.: Мир, 1985. 504 с.
5. *Юдович Я.Э.* Основы литохимии / Я.Э.Юдович, М.П.Кетрис. СПб: Наука, 2000. 479 с.
6. *Dunham R.J.* Classification of Carbonate Rocks // Amer. Ass. Petrol. Geol. Bull. 1962. P.8-13.

REFERENCES

1. Geologicheskaja s"emka v rajonah razvitiya otlozhenij s organogennymi postrojkami: Metod. posobie po geologicheskoj s"emke masshtaba 1:50 000 (*Geological survey in areas of sediments with organogenic structures: Teaching materials on geological survey, scale 1:50000*): Iss.2. VSEGEI; Ed. N.M.Zadorozhnaja, V.V.Lavro. Leningrad: Nedra, 1982, p.328.
2. *Matveev V.P.* Stratigrafija i brahiopody kamennougl'nyh otlozhenij ostrova Severnyj arhipelaga Novaja Zemlja (*Stratigraphy and brachiopods of carboniferous deposits of Severny Island of the Novaya Zemlya Archipelago*): Author's abstract ... PhD in Geological and Mineral Sciences. Sankt-Peterburg. gornyj in-t. St Petersburg, 1998, p.19.
3. Putevoditel' jekspedicii na Barentsevomorskoe poberezh'e arhipelaga Novaja zemlja (*Guide of the expedition to the coast of the Novaya Zemlya Archipelago in the Barents Sea*). St Petersburg: Izd-vo VSEGEI, 2014, p.82.
4. Ciklicheskaja i sobytijnaia sedimentacija (*Cyclic and event sedimentation*). Translated from English; edited by G.Einzele, A.Zeylaher. Moscow: Mir, 1985, p.504.
5. *Judovich Ja.Je, Ketriss M.P.* Osnovy lithohimii (*Fundamentals of lithochemistry*). St Petersburg: Nauka, 2000, p.479.
6. *Dunham R.J.* Classification of Carbonate Rocks. Amer. Ass. Petrol. Geol. Bull. 1962, p.8-13.

LITHOLOGICAL AND GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE REEF MASS OF OSTROV BERKHA (THE NOVAYA ZEMLYA ARCHIPELAGO)

A.B.TARASENKO, *PhD in Geological and Mineral Sciences, Assistant Lecturer, etele1@ya.ru*

V.P.MATVEEV, *PhD in Geological and Mineral Sciences, Associate Professor, wmatveev@mail.ru*

D.A.SLYADNEVA, *Student, dominae.solis@gmail.com*

D.V.KIRILLOVA, *Student, kdv-888@mail.ru*

National Mineral Resources University (Mining University), St Petersburg, Russia

The article contains a detailed description of twelve lithogenetic types of rocks identified in the composition of the paragenetic association of the Ostrov Berkha reef mass facies: back-reef lagoon, reef flat, reef core, fore reef slope (buttress), fore reef and pinnacles. The article provides information on the structure and texture, mineralogical-petrographic and chemical features of the reef composition and surrounding sediments.

The analysis of the structure of facies zones and features of their lateral changes allowed creating a model of the reef mass structure.

Key words: Ostrov Berkha (the island of Berkha), reef mass, lithogenetic type, authigenic minerals, petrochemical modules.