

**МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЮ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ФГБУ «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГЕОЛОГИИ И МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ МИРОВОГО ОКЕАНА
ИМЕНИ АКАДЕМИКА И. С. ГРАМБЕРГА»**

70 ЛЕТ В АРКТИКЕ, АНТАРКТИКЕ И МИРОВОМ ОКЕАНЕ

Сборник научных трудов

Главный редактор: член-корреспондент РАН В. Д. Каминский
Редакторы: доктор геол.-мин. наук Г. П. Аветисов
доктор геол.-мин. наук В. Л. Иванов



**Санкт-Петербург
2018**

О. Н. Зуйкова, Т. М. Пчелина

Роль биогенного фактора в формировании раннетриасовых отложений Адмиралтейского вала

В данной статье впервые дается подробное описание вещественного состава пород и показаны стратиграфические уровни распространения биогенного кремнезема в триасовом комплексе, приведены результаты петрографических и электронно-микроскопических исследований керна с помощью микрофотографий. Полученные данные о литологическом составе триасовых отложений свидетельствуют о своеобразии процесса седиментогенеза этого времени и позволяют предположить, что палеогеографические и тектонические особенности характеризуемого региона отличались своеобразными условиями седиментации.

При изучении кернового материала, отобранного из нижнетриасовых отложений, были использованы методы литологического, петрографического и электронно-микроскопического анализов. Для интервалов разреза, не охарактеризованного керновым материалом, применялись методы интерпретации промыслово-геофизических исследований. При литологическом описании керна в кернохранилище особое внимание уделялось крепости породы с целью выявления интервалов, представленных кремнистыми породами или терригенными породами с кремнистым цементом. При петрографическом описании пород (Т. М. Пчелина, Е. С. Миролюбова) упор делался на присутствие кремнезема в составе нижнетриасовых отложений, на его количество, особенности структурной характеристики и его генезис. Электронно-микроскопическое исследование пород (О. Н. Зуйкова) было проведено с

целью подтверждения биогенного генезиса кремнезема в составе нижнетриасовых отложений.

Адмиралтейский вал выделен в восточной части акватории Баренцева моря, протягивается вдоль архипелага Новая Земля с севера на юг и отделяется от него прогибом Седова. В пределах вала осадочный комплекс пород вскрыт двумя скважинами: Адмиралтейской и Крестовой (рис. 1). Первая полностью вскрыла отложения триаса и вошла в отложения перми, вторая — из триасовых отложений не вышла. Опробование пластов-коллекторов в составе отложений триаса не дали положительных результатов. Авторами сделана попытка выяснить возможные причины этого в процессе изучения нижнетриасовых пород.

Скважиной Адмиралтейской отложения нижнего триаса вскрыты в составе индского и оленекского ярусов. Отложения инда мощностью 2016 м пройдены скважиной на полную мощность. Отложения оленекского яруса имеют вскрытую мощность 1402 м.

Крестовая скважина также вскрыла отложения нижнего триаса в составе индского и оленекского ярусов. Отложения инда мощностью более 1680 м не пройдены скважиной на полную мощность. Забой скважины находится в нижеиндских отложениях. Отложения оленекского яруса имеют вскрытую мощность 815 м.

Отложения индского яруса по характеру разреза, своеобразному вещественному составу, особенностям их седиментации не имеют аналогов среди известных триасовых образований

Баренцево-Карского региона. Маркирующее значение здесь имеют мощные пласты и пачки глинисто-кремнистых и кремнисто-глинистых пород с биогенным кремнеземом. Для них характерна примесь карбонатного и алевритового материала. Цвет пород от темно-серого до черного, иногда с синеватым оттенком. Породы имеют раковистый излом, нередко для них характерны тонкая горизонтальная, реже — косая слоистость и текстуры оползания осадка. Эти породы доминируют в раннеиндской части разреза. Мощная пачка алевритов и песчаников, переслаивающихся с кремнисто-глинистыми образованиями, залегает в верхах разреза нижнего инда. Здесь встречаются и прослои внутриформационных

брекчий и текстуры оползания осадка, изредка светло-серые и зеленовато-серые глины. Роль песчано-алевритовых пород резко возрастает в позднеиндской части разреза. Песчаники мелкозернистые, редко — мелко-среднезернистые, иногда слабо отсортированные. Они, за редким исключением, полимиктовые, в их составе резко доминируют обломки пород, в меньшем количестве кварц. Значительную часть составляют: полевые шпаты с преобладанием плагиоклазов над калиевыми разновидностями, редко наблюдаются их сростки; обломки слюд (биотит, мусковит), хлорит.

Основную часть обломков пород составляют кремнистые с различной степенью раскристаллизации. Полевые шпаты и кварц имеют подчиненное значение. Постоянно встречаются угловато-окатанные и окатанные обломки биогенного кремнезема. В меньшей степени присутствуют обломки слюдяных, слюдисто-кремнистых и кремнисто-слюдяных сланцев и единичные обломки биотит-хлоритовых, серицит-хлоритовых, хлоритовых сланцев и измененных эффузивов.

Количество цемента в алеврито-песчаных породах колеблется от 18–20 до 30–45%. Тип цемента поровый, контактно-пленочный. По минеральному составу сравнительно широко представлен глинисто-слюдяный, кремнистый,

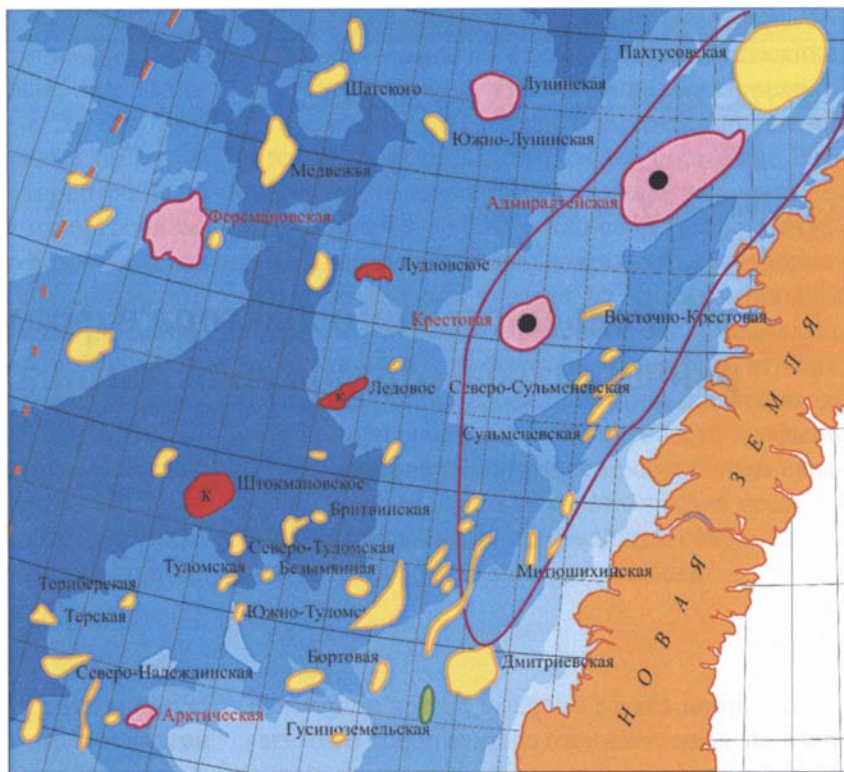


Рис. 1. Схема расположения скважин в пределах Адмиралтейского вала

последний нередко биогенного происхождения, и карбонатный. Отдельные поры выполнены кварцем, тонкозернистым, иногда биогенным, карбонатом, каолинитом, лейкоксеном, с оторочками хлорита, иногда кристификационного. Бесцветный кальцит часто замещает первичные цементы и обломки пород, обуславливая порово-базальный тип цемента.

Практически для всей индской толщи типичны следы жизнедеятельности илоедов, часто обуславливающих сложные текстуры. В нижней (около 800 м) части этой толщи периодически встречаются мелкие угнетенные морские двустворки, характеризующие условия, несколько отличающиеся от типично морских (заключение М. М. Астафьевой), и конхостраки. Красноцветные и пестроцветные отложения, типичные для индского яруса южной части Баренцево-Карского региона, здесь появляются только в самых верхах данной толщи, заканчивая ее разрез. Постоянно встречаются мелкий углефицированный детрит, бесформенные обрывки наземных растений, обычно в небольшом, местами заметном количестве.

По данным *петрографических исследований*, в индской толще биогенный кремнезем присутствует практически во всех изученных породах, но содержание его далеко не постоянно.

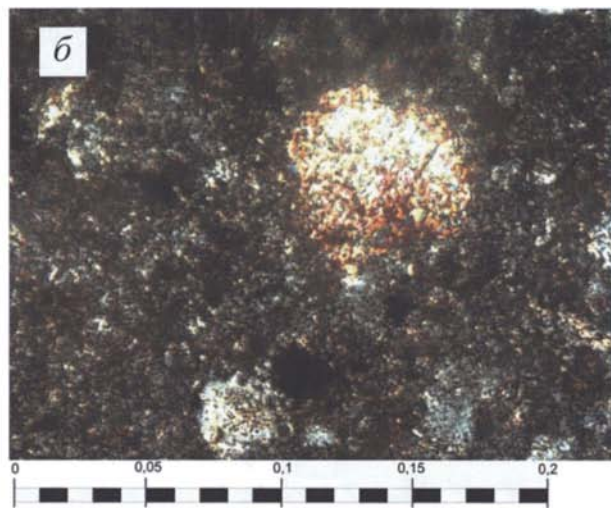
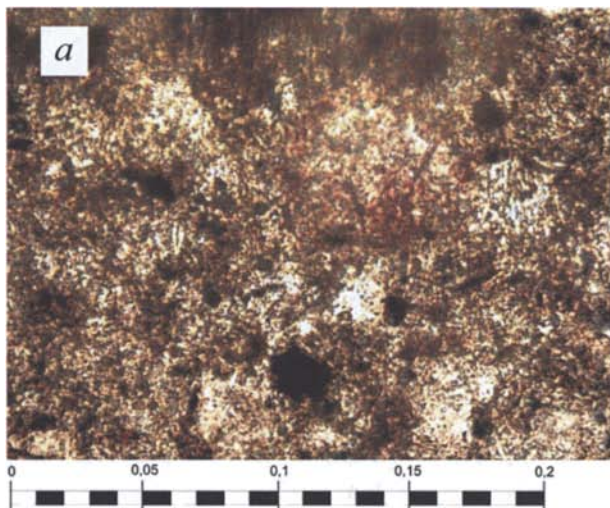


Рис. 2. Полого-горизонтально-волнистый песчано-алевритовый кремнистый аргиллит. Волнистость обусловлена чередованием размерности. Модальный размер песчаных фракций — 0,1–0,12 мм, алевритовых — 0,02–0,05 мм. Глубина 1844±2,0 м; а — nicols II; б — nicols X

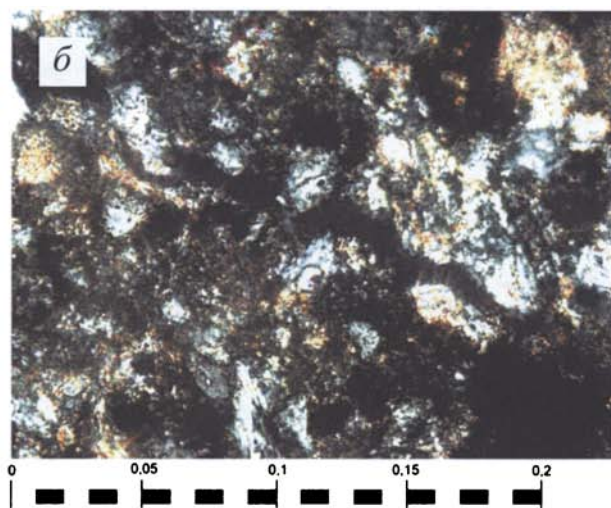
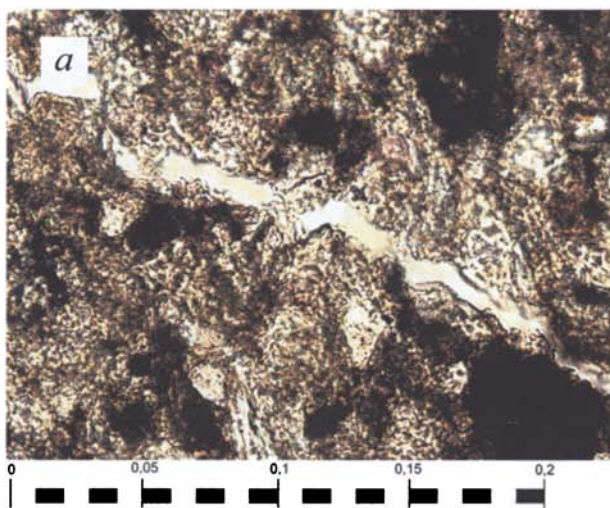


Рис. 3. Порода — известковистый глинисто-кремнистый алевролит с включениями крупных «биоморфных обломков». Комковатые зерна, возможно обломки водорослей (0,2–2,0 мм), расположены неравномерно по напластованию. Цемент глинисто-кремнистый. Глубина 2637±1,3 м; а — nicols II; б — nicols X.

В глинисто-кремнистых пластах оно достигает 50–60% (рис. 2). В многокомпонентных глинисто-карбонатно-кремнистых, карбонатно-кремнисто-алеврито-глинистых (рис. 3) и других, часто слоистых образованиях биогенный кремнезем обогащает линзочки, прослои, гнезда, распределенные по разрезу неравномерно; в слоях алевролитов и песчаников глинисто-кремнистый и кремнистый материал является первичным цементом (рис. 4).

По данным *электронно-микроскопических исследований*, породы, обогащенные кремнеземом, имеют бактериально-водорослевый состав. Основным источником кремнезема являются бактерии и в меньшей степени — синезеленые

водоросли округлой и овальной формы, размером до 0,2 мм. Нередко мельчайшие кремневые водоросли образуют колонии. Неравномерная раскристаллизация кремнезема обуславливает микрокомковатую текстуру пород (рис. 5–10).

Согласно классификации кремнистых пород (ссылка на классификацию ВНИГРИ), они названы *силицитами бактериально-водорослевыми, микрокодиевыми*. Сложены такие породы мельчайшими (0,001 мм) микрокодиевыми водорослями, отнесенными Масловым к синезеленым водорослям (Маслов, 1973), а некоторыми авторами (Кузнецов, Пошляков, 1991) к цианобактериальным организмам. Кремнистые цианобактерии очень похожи либо на *Nuta sibirica* Masl., либо на

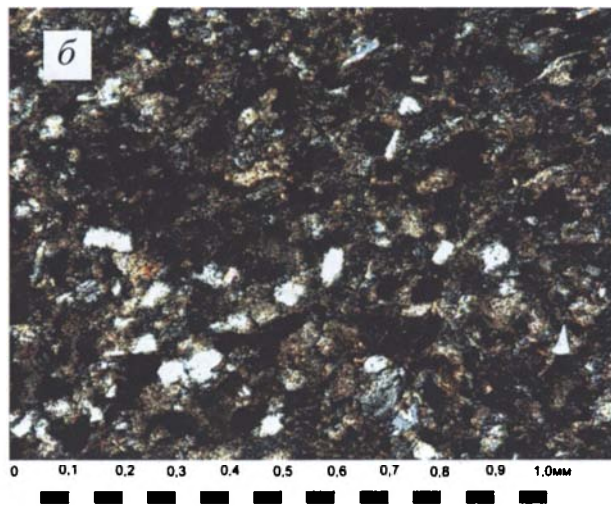
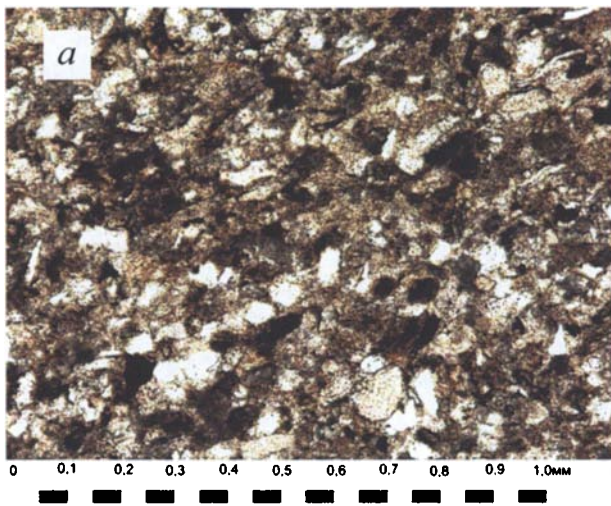


Рис. 4. Песчаник полиминеральный с глинисто-кремнистым цементом. В обломочной части — зерна кварца, полевого шпата, обломки пород, обломки водорослей карбонатно-кремнистого состава. Развита сидеритизация породы. Глубина 2145+0,2 м; а — nicols II; б — nicols X.

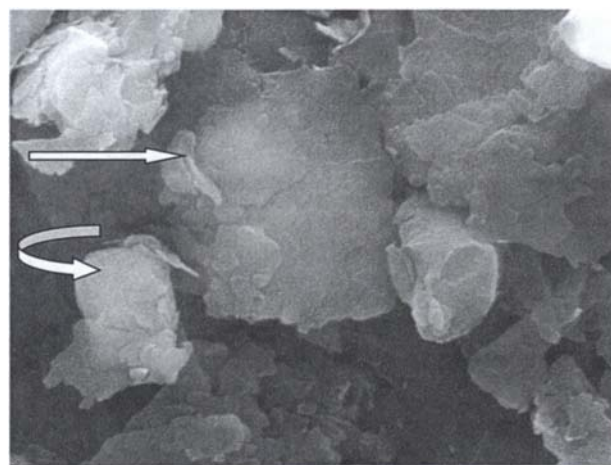
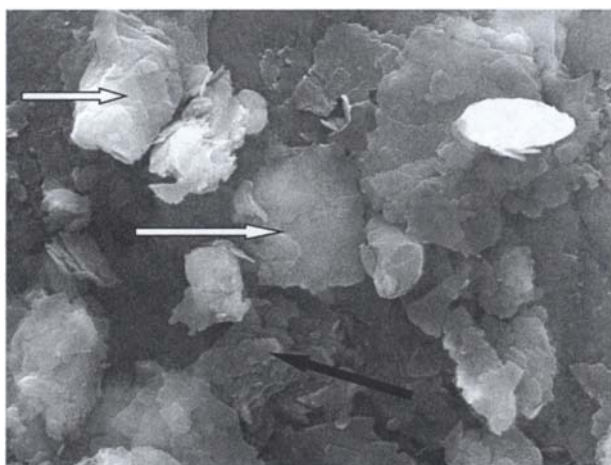


Рис. 5. Практически вся обломочная часть породы «оплетена» цианобактериальными пленками халцедонового состава в виде «лоскутного одеяла» (белые стрелки). В цементирующей части их развитие носит пластовый характер, повторяя форму и расположение пластинок слюдястых минералов (черная стрелка). Глубина 2684+3,75 м; обр. 17-30-25000а; увеличение $\times 25\ 000$

Рис. 6. Увеличенная центральная часть рис. 5. Обломок кварца (стрелка) окутан био пленкой, как кокон. Слева (фигурная стрелка) небольшая часть обломка кварца еще не покрыта био пленкой. Глубина 2684+3,75 м; обр. 17-30-45000; увеличение $\times 45\ 000$

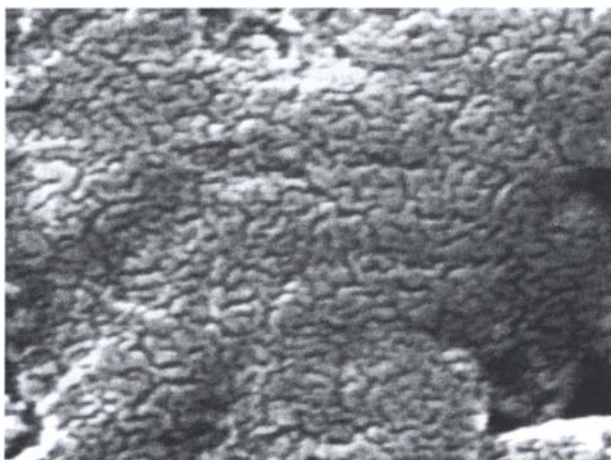


Рис. 7. Внутреннее строение био пленок. Формирование цианобактериальных колоний только началось. Глубина 2684+3,75 м; обр. 17-30-170000; увеличение $\times 170\ 000$

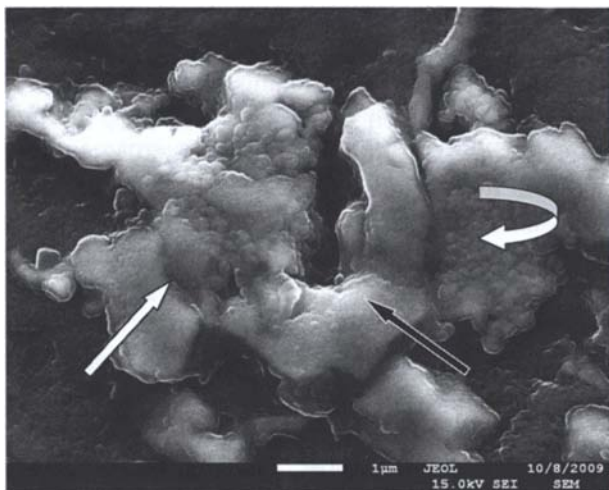


Рис. 8. Обломки сульфида меди покрыты еще прозрачными по краям биогенными пленками кремнесодержащих цианобактерий (белая стрелка). Под пленкой виден начальный процесс расслоения и формирования цианобактериальных «шариков» (черная стрелка). Кое-где цианобактерии уже выделились из состава биопленки и начали формировать колонию (фигурная стрелка). Глубина 2952+7,1 м; обр. 19-34-13000; увеличение $\times 13\ 000$



Рис. 9. Внутреннее строение цианобактериальной колонии, выделившейся на обломке сульфида меди. Глубина 2952+7,1 м; обр. 19-34-110000; увеличение $\times 110\ 000$

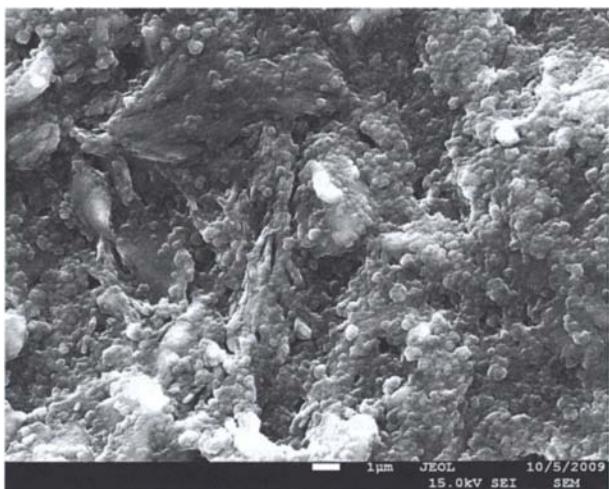


Рис. 10. Совместное формирование бокситосодержащей и кремнесодержащей цианобактериальных колоний. Глубина 3408+0 м; обр. 20-45-5500; увеличение $\times 5500$

Microcodium permicum Masl. Но *Nuta*, по определениям В. П. Маслова, характерна для ордовика. Следовательно, скорее всего, это *Microcodium permicum* Masl. или его аналог. Распространена в основном в перми, но может встречаться и выше, вплоть до третичных отложений.

Этот тип водорослей (цианобактерий) характерен для очень мелководных и часто опресненных бассейнов и является надежным показателем условий седиментации. *Nuta*, как правило, живет в слабоопресненных условиях морских

бассейнов, а вот *Microcodium permicum* Masl. больше характерна для опресненных бассейнов с небольшим содержанием морской воды либо для полностью опресненных бассейнов. Стенку формируют карбонатную, либо кальцитовую, либо доломитовую. Но, как и все синезеленые водоросли, легко приспосабливаются к условиям обитания и переходят на построение стенок из кремнезема при высоком содержании в водах бассейна седиментации растворов кремниевой кислоты.

Кроме *Microcodium*, которые являются порообразующими организмами, встречаются редкие более крупные (до 0,01 мм) водоросли, похожие на харовые. Оба типа водорослей сложены кремнеземом. Межводорослевое пространство выполнено хлоритом, причем, скорее всего, аутигенным хлоритом, который является продуктом разложения и преобразования пеплового материала. Кроме хлорита, в цементирующей части породы присутствует и кремнезем (скорее всего, опал). Следует отметить, что пепловый материал в супермелководных опресненных бассейнах седиментации довольно быстро преобразуется в хлорит, поскольку в течение длительного времени не происходит процессов захоронения осадка. В условиях морского бассейна, при быстром его захоронении, мы можем видеть наличие пепловых частиц.

В качестве привнесенного обломочного материала в породе содержатся обломки слюд: мусковит (5%), в меньшей степени — биотит (1–2%); кварц (5–7%), причем зерна кварца сильно корродированны; обломки карбонатных пород

(известняк тонкозернистый) (1%). В большом количестве содержится сидерит (~15%), неизменный белесый в отраженном свете, который также является показателем мелководных, близких к условиям болот условий седиментации.

В верхней части индской толщи доминируют синезеленые водоросли, являющиеся субстратом для бактерий, способных преобразовывать их в тонкодисперсный кремнезем. Эти водоросли, частично или полностью, замещаются кремнеземом, который раскристаллизован до халцедона. Структурные элементы водорослей, замещенные кремнеземом, располагаются в виде радиально-лучистых, концентрических форм, в центре которых нередко сохраняются темные сгустки непрозрачной органики.

В нижней части толщи, мощностью примерно 800 м, непрозрачные синезеленые водоросли резко доминируют. Они частично замещаются халцедоном или тонкозернистыми карбонатами. Интенсивно процесс карбонатизации пород осуществляется лишь в песчаниках и алевролитах, которые переслаиваются с глинисто-кремнистыми образованиями, что подчеркивает горизонтальную слоистость пород. В это же время (начало раннего инда) деятельность кремнеформирующих бактерий еще не столь высоко развита, как это будет позже. В это время наблюдается господство железобактерий, субстратом для которых служили те же синезеленые водоросли, что объясняет необычно широкое распространение здесь бактериального глобулярного пирита, развивающегося по непрозрачным синезеленым водорослям.

По данным силикатного анализа, в глинисто-кремнистых породах по всей индской толще наблюдается близкое содержание SiO_2 . Так, на глубине 1844+1,0 м оно составляет 61,07%, а на глубине 3603+1,7 м — 58,85%. Следует отметить, что самые высокие значения $C_{\text{орг}}$ (1,9 и 2,1%) обнаружены в этой же части толщи (глубины 3234+1,1 и 3603+6,0 м соответственно).

Отложения оленекского яруса исследованы в меньшей степени, чем индские, но минеральный состав пород не имеет резкого отличия. Здесь также широкое развитие получили кремнистые породы биогенного генезиса. Характерным отличием является более высокое (по сравнению с индом) присутствие в этих отложениях биогенных титанистых формирований.

В песчано-алевритовых породах раннего оленека в пачках красноцветов резко доминирует монтмориллонит (75%), а в песчанике позднего

оленека из пачки пестроцветов, кроме гидрослюды (35%) и хлорита (25%), обнаружен каолинит (40%), хотя состав обломочной части пород практически аналогичен индскому.

Карбонаты, составляющие 18–20% в оленекской толще пород, представлены в основном кальцитом. В позднем оленеке встречается тонкоагрегатный доломит, иногда в виде ромбоэдрических зерен, реже встречаются железистые карбонаты.

Следует отметить, что, с одной стороны, столь широкое развитие кремнезема в нижнетриасовых отложениях Адмиралтейского вала является тем фактором, благодаря которому емкостные свойства пород-коллекторов, сложенных песчаниками и алевролитами, резко ухудшены. Открытая пористость коллектора не превышает 1,5–2%, редко повышаясь до 7%, поровая проницаемость изменяется от 0,1 до 0,01 мД. Широко развитая силикатизация не способствует формированию ни первичной открытой пористости пород, ни вторичной пористости выщелачивания, поскольку кремнезем является наиболее устойчивым минералом к процессам выщелачивания. С другой стороны, широкое развитие силикатизации при интенсивной тектонической раздробленности Адмиралтейского вала формирует другой тип коллектора — коллектор трещинного типа, который при определенных геологических условиях является довольно продуктивным. Именно присутствие кремнистой составляющей придает породе хрупкость, достаточную для формирования коллекторов такого типа. Но присутствие в составе глинистых пород кремнистого материала способствует широкому развитию трещиноватости и в этих породах, которые в другом случае могли бы служить надежными флюидоупорами.

Выводы. Широкое развитие биогенного кремнезема в породах происходит на фоне периодического обмеления бассейна седиментации, с одной стороны, и одновременно широкого развития сложных тектонических процессов, с другой. Тектоника, по всей видимости, на фоне морской регрессии формировала в пределах Адмиралтейского вала ограниченные разломами озера с морской водой, куда по глубинным разломам поступали кремненасыщенные растворы в виде фумарол и гидротерм. В эти периоды и происходит наиболее интенсивное бактериальное кремнеобразование, поскольку бактерии и синезеленые водоросли не могут более извлекать кальцит из морской воды для построения своих

скелетов. Далее морская трансгрессия приводила к заполнению бассейна седиментации обломочным материалом, и пока она оставалась интенсивной, формировался карбонатный или слюдисто-хлоритовый состав цементирующей части в песчаниках и алевролитах. На регрессивной стадии при активизации тектонических процессов вновь начинается формирование биогенного кремнистого цемента — сначала в обломочных породах, а затем, при достижении регрессивного этапа своей высшей точки, и в глинистых отложениях замкнутых озер. Источником поступления глинистого материала служили приподня-

тые блоки, о чем свидетельствует присутствие в глинистой составляющей монтмориллонита и каолинита, содержание которых резко возрастает в оленекское время. Именно эти минералы входят в состав коры выветривания.

Именно высокое содержание биогенного кремнезема в нижнетриасовых отложениях позволило сформировать трещинный тип коллектора, с одной стороны, и резко ухудшить изолирующие свойства флюидоупоров, с другой. Скорее всего, именно по этой причине при испытании коллекторов нижнего триаса получены отрицательные результаты.

Список литературы

Бактериальная палеонтология / под ред. А. Ю. Розанова. М.: ПИН, 2002. 188 с.

Беккер Ю. Р. Силициты рифея (этапы, особенности, кремнистые пояса и нефтегазоносность) // Региональная геология и металлогения. 2015. № 64. С. 28–40.

Кузнецов В. Г., Пошляков Б. К. Литология. М.: Недра, 1991. 444 с.

Маслов В. П. Атлас породообразующих организмов. М.: Наука, 1973. 267 с.

Сергеев В. Н. Окремненные микрофоссилии докембрия: природа, классификация и биостратиграфическое значение. М.: ГЕОС, 2006. 54 с.

Страхов М. С. Основы теории литогенеза. Т. 1. Типы литогенеза и их размещение на поверхности Земли. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 212 с.