



Литолого-фациальное строение и история развития пласта Б5 Даниловского лицензионного участка (венд-кембрий, Восточная Сибирь)

К. Н. Чертина, Е. Н. Максимова, А. В. Ульянова, Н. Н. Аржиловская, О. В. Неделько

ООО «Тюменский нефтяной научный центр», Тюмень, tnnc@rosneft.ru

В 2004 году поисково-разведочным бурением на территории центральной части Непско-Ботуобинской антеклизы Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции Восточной Сибири на Даниловском лицензионном участке доказана нефтеносность и перспективность древнейших карбонатных отложений венд-кембрийского времени. Вскрытый карбонатный комплекс отличается сложным строением и сильной изменчивостью структурно-текстурных особенностей в разрезе и по латерали. Проведённый полный цикл литологических исследований, включающий описание петрографических шлифов в комплексе с рентгеноструктурным анализом, и фациальный анализ литологических типов пород позволили рассмотреть природу отложений продуктивного пласта Б5 даниловского горизонта. В разрезе пласта зафиксированы цианобактериальные сообщества в прижизненном положении, подтверждающие органогенную каркасную природу изучаемых отложений. Зафиксированы септальные, камерные и сгустковые формы сообществ. Результаты генетического анализа геолого-геофизических данных легли в основу детальной литолого-седиментологической характеристики разреза, что позволило воссоздать историю развития и сформировать седиментационную модель пласта. Данные послужили основой для петрофизической модели пласта, планирования поисково-разведочного бурения и внедрения оптимальной системы разработки.

Ключевые слова: Непско-Ботуобинская антеклиза, тэтэрская свита, доломиты, концептуальная модель

Lithological-facies structure and history of the development of B5 formation of the Danilovsky license area (Vendian-Cambrian, Eastern Siberia)

K. N. Chertina, E. N. Maksimova, A. V. Ulyanova, N. N. Arzhilovskaya, O. V. Nedelko

Tyumen Oil Research Center, Tyumen

In 2004, exploration drilling in the central part of the Nepsko-Botuobinsk antecline of the Leno-Tunguska oil and gas province of Eastern Siberia at the Danilovsky license area proved the oil content and prospects of the oldest carbonate deposits of the Vendian-Cambrian period. The drilled carbonate complex is characterized by a complex structure and strong variability of structural and textural features in section and laterally. A full cycle of lithological studies, including a description of petrographic sections in combination with X-ray diffraction analysis, and facies analysis of lithological rock types allowed considering the nature of deposits of the productive formation B5 of the Danilovsky horizon. Cyanobacterial communities in the lifetime position were recorded in the section of the formation, confirming the organogenic skeleton nature of the studied deposits. Septal, chamber and clot forms of communities have been recorded. The results of the genetic analysis of geological and geophysical data formed the basis for a detailed lithological and sedimentological characteristic of the section, which allowed recreating the history of development and forming a sedimentation model of the formation. These studies laid in the basis for the petrophysical model of the formation, the planning of exploratory drilling and the introduction of an optimal development system.

Keywords: Nepsko-Botuobinskaya antecline, Teter formation, dolomites, conceptual model

Введение

Поисково-разведочное бурение на территории Восточной Сибири в пределах Непско-Ботуобинской нефтегазоносной области на Даниловском лицензионном участке обеспечивает доступ к древнейшим отложениям венд-кембрийского времени, содержащим коммерческие запасы углеводородов.

Инициирование работ по седиментологическому изучению пласта Б5 на Даниловском лицензионном участке (ЛУ) связаны с необходимостью изучения его строения и выбора оптимальной системы разработки.

На базе Центра исследований ядра ООО «ТННЦ» проанализирован ядровый материал и построены седиментологические колонки с восстановлением этапов формирования пласта, что позволило получить новую информацию и сделать выводы о природе слагающих его отложений.

До настоящего времени специалистами высказывались предположения о зернистой природе пласта Б5, включающего пизолит-оолитовые грейнстоуны (Еганова, Маринов, 2018; Лемешко, 2018; Вараксина, Хабаров, 2013).

Для цитирования: Чертина К. Н., Максимова Е. Н., Ульянова А. В., Аржиловская Н. Н., Неделько О. В. Литолого-фациальное строение и история развития пласта Б5 Даниловского лицензионного участка (венд-кембрий, Восточная Сибирь) // Вестник геонаук. 2024. 5 (353). С. 3–15. DOI: 10.19110/geov.2024.5.1

For citation: Chertina K. N., Maksimova E. N., Arzhilovskaya N. N., Nedelko O. V., Ulyanova A. V. Lithological-facies structure and history of the development of B5 formation of the Danilovsky license area (Vendian-Cambrian, Eastern Siberia). Vestnik of Geosciences, 2024, 5 (353), pp. 3–15, doi: 10.19110/geov.2024.5.1

Керновый материал с почти 100 % выносом по пласту позволил среди зернистых отложений выделить интервалы биогенной – микробиальной природы, отличающиеся по структуре и имеющие специфическую текстуру. Путем комплексного анализа на макро- и микроуровнях установлено, что данные породы слагают структурные компоненты, относящиеся к остаткам цианобактериальных сообществ, формирующих жесткий каркас с различными типами межскелетных заполнений. Диагностированные структуры баундстоун послужили критерием для рассмотрения этих отложений как органогенных построек.

Геологическое строение Физико-географическая характеристика

Даниловский ЛУ расположен в пределах Непско-Ботуобинской нефтегазоносной области, входящей в состав Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции. Исследуемая территория находится на Ангаро-Ленской возвышенности юго-восточной части Среднесибирского плоскогорья и относится к приподнятой Ербогаченской равнине.

В тектоническом плане участок расположен на юго-западном склоне Непско-Ботуобинской антеклизы на западе Непского свода (рис. 1).

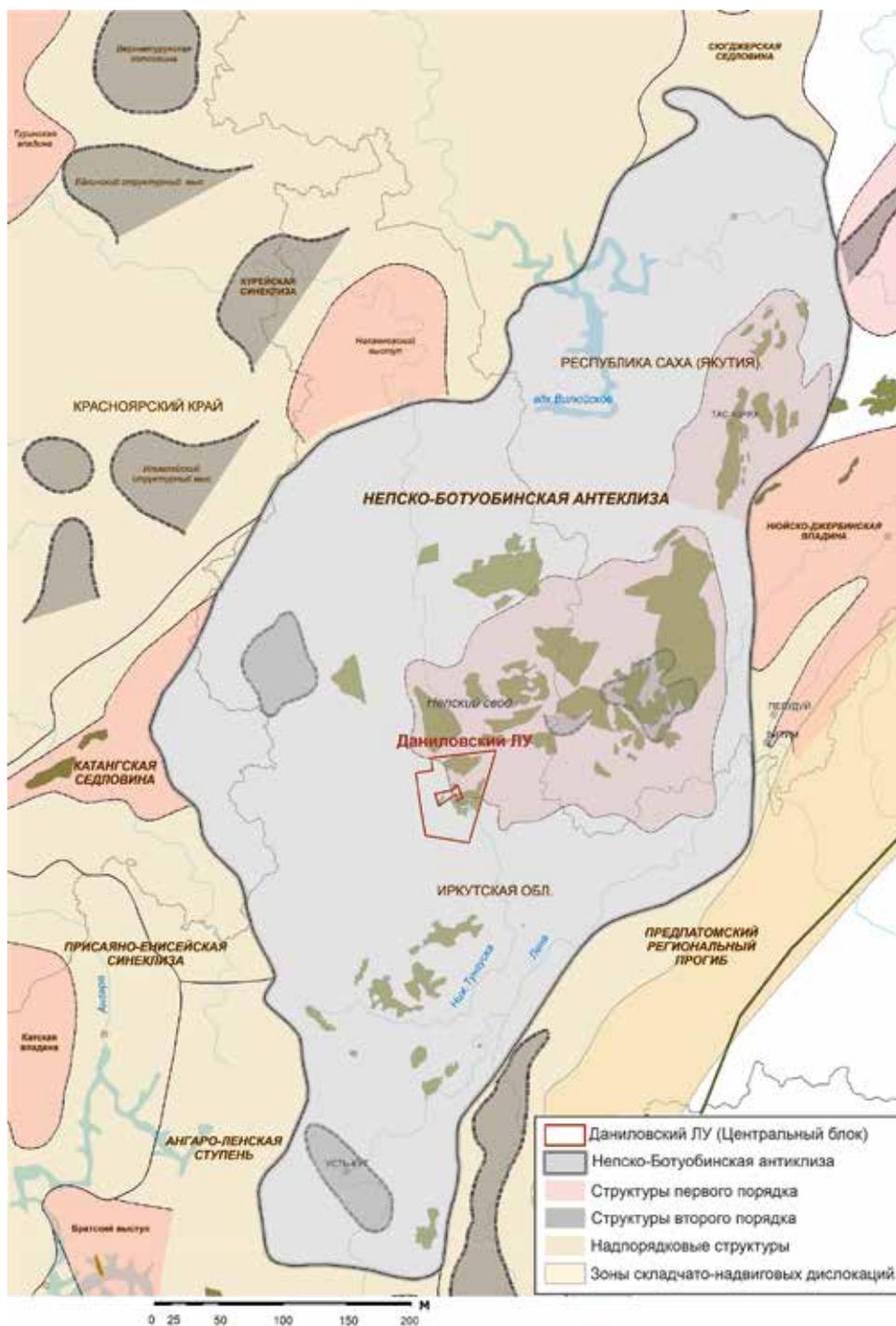


Рис. 1. Тектоническая карта Непско-Ботуобинской антеклизы с границами Даниловского лицензионного участка (Мельников, 2017)

Fig. 1. Tectonic map of the Nepsko-Botuobinskaya antekliza with the boundaries of the Danilovskiy license area (Melnikov, 2017)

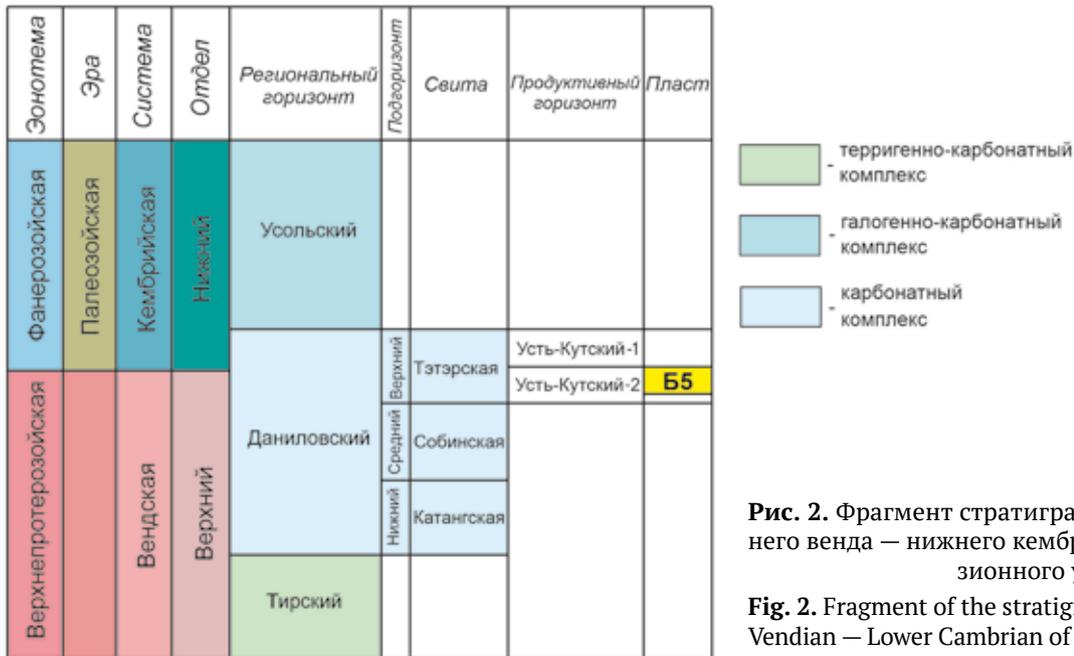


Рис. 2. Фрагмент стратиграфической колонки верхнего венда — нижнего кембрия Даниловского лицензионного участка

Fig. 2. Fragment of the stratigraphic column of the Upper Vendian — Lower Cambrian of the Danilovsky license area

В соответствии с ныне действующей стратиграфической схемой (Мельников, 2017) усольский горизонт нижнего кембрия подстилается отложениями даниловского горизонта, относящегося к венд-кембрийской нерасчлененной толще. В объеме даниловского горизонта выделены катангская, собинская и тэтэрская свиты. В пределах тэтэрской свиты, относящейся к секвенции III порядка, выделяется усть-кутский продуктивный горизонт (Вараксина, Хабаров, 2015). Горизонт делится на два нефтегазоносных пласта, разделенных глинистой пачкой. Нижний усть-кутский 2-й подгоризонт соответствует пласту Б5, который представляет собой мелющий кверху элементарный циклит и продуктивность которого связана с карбонатными породами (рис. 2, 4).

В позднем венде территория Сибирской платформы и сопредельные с ней районы составляли единый бассейн осадконакопления. В это время формировалась сульфатно-доломитовая толща, выделяемая в собинскую свиту. В позднеданиловское время повышение относительного уровня моря обусловило снижение солености и накопление доломитов тэтэрской свиты. Таким образом, на мелководном шельфе с плоскими низкими островами, занимающими центральную и западную части Сибирской платформы, произошло накопление карбонатных и сульфатных осадков, являющихся литологически экранированными ловушками (Мельников, 2017).

Материалы и методы

Материалом для исследования послужил керн Даниловского ЛУ из 9 скважин с суммарным выносом 240 м. Во всех скважинах проведен полный цикл литологических исследований, включающий в том числе описание петрографических шлифов большого и стандартного размера (247 шлифов) в комплексе с рентгеноструктурным анализом (247 проб).

В ходе седиментологического анализа по керновому материалу определялась структура (по Данхэму, модифицированная Эмбри и Клованом в 1971 г. (Flügel,

2010)) и текстура породы, диагностировались формы роста микробных образований, типы цементов, слоевые контакты, структура пустотного пространства и интенсивность проявления вторичных преобразований. Минералогические и морфологические особенности пород уточнялись с помощью рентгеноструктурного и петрографического анализов.

Рентгеноструктурный анализ выполнялся на образцах керна, отобранных в комплексе с петрографическими шлифами. Куски предварительно дробились и экстрагировались, затем измельчались в шаровой мельнице до размера 0.02 мкм. Съемка проводилась на рентгеновском дифрактометре «Дрон-8».

В интервалах с органогенными каркасными структурами и каверново-поровым типом коллектора исследования проводились в шлифах большого размера (40 × 50 мм), уточнялись морфологические особенности каркасообразующих организмов и пустотное пространство. Для петрографического описания использовался поляризационный микроскоп Axio Imager компании Zeiss.

Все исследования выполнялись на базе Центра исследований керна ООО «Тюменский нефтяной научный центр».

Литологическая характеристика пласта Б5

Пласт Б5 мощностью от 25 до 30 м сложен коричнево-серыми вторичными доломитами, неравномерно битумонефтенасыщенными, преимущественно с органогенными микробными структурами (бафлстоун и баундстоун); тип межскелетного заполнения изменяется послойно от микритового до зернистого. Реже встречаются прослои доломитов с разнотекстурной структурой (от пакстоуна до рудстоуна). Доломит является основным породообразующим минералом пласта Б5, по данным рентгеноструктурного анализа его содержание достигает 99 %. Петрографически установлено, что кристаллы доломита ксеноморфной и гипидиоморфной формы, реже идиоморфной. Ксеноморфные кристаллы имеют непра-

вильные лапчатые и изогнутые формы. Для идиоморфных кристаллов свойственны хорошо выраженные кристаллографические грани. Однако увеличение количества и размера идиоморфных кристаллов ведет к смыканию их граней и перекрытию поровых каналов. Таким образом, отмечаются образцы с несохранившимися первичными структурами, полностью перекристаллизованные, с плотной упаковкой кристаллов.

Первичное осадочное строение выделяется по теневым структурам. Осадочные зерна представлены биокластами, пелоидами и литокластами размером от 0.3 до 3.0 мм. Породы с биогенной массивной текстурой (рис. 3, i, l), в зернистых прослоях с пологонаклонной косой и пологоволнистой слоистостью, подчеркнутой однонаправленной ориентировкой зерен и прожилками уплотнения (рис. 3, o). Мощность прослоев с зернистыми структурами и образованными

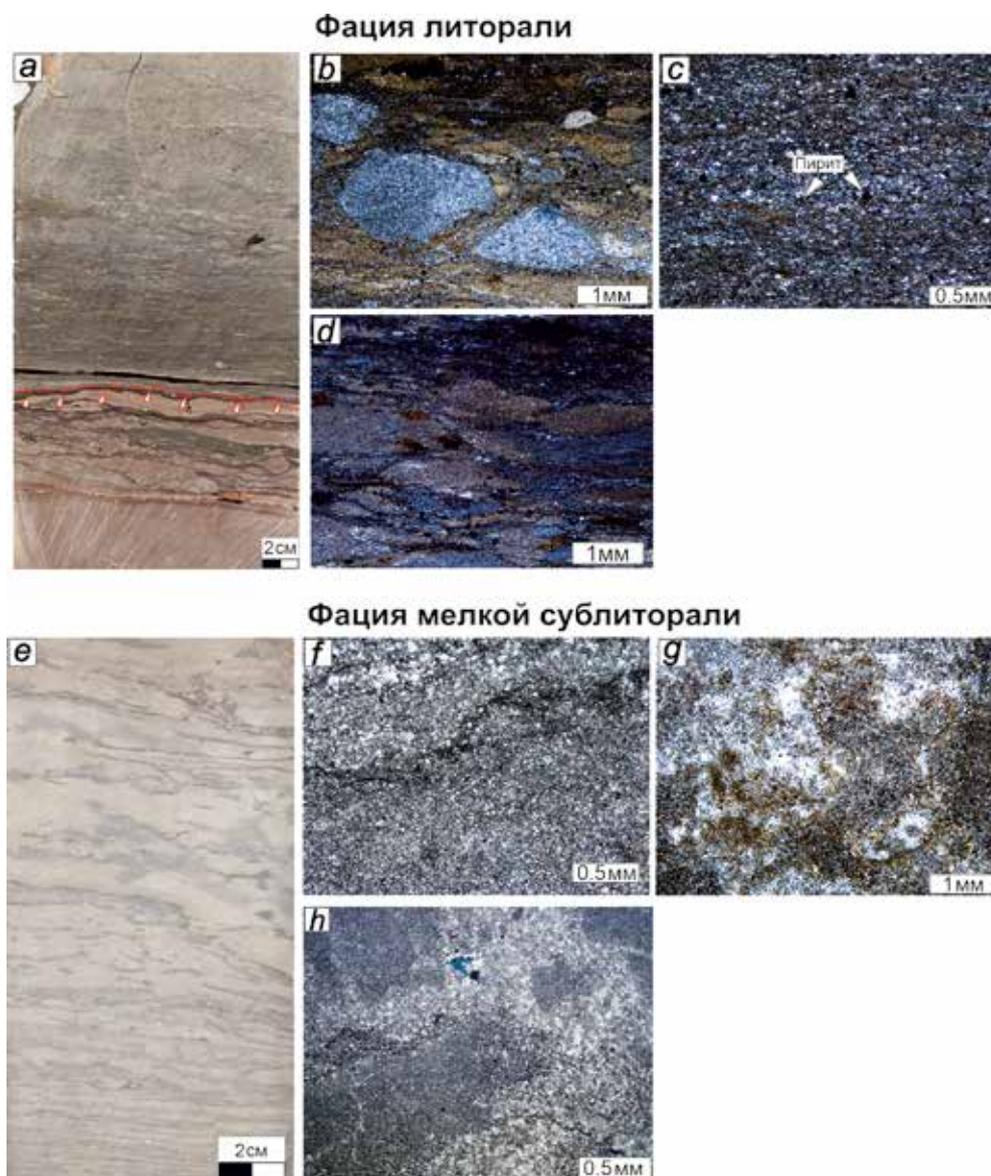


Рис. 3. Структурно-текстурные особенности фаций и субфаций пласта Б5

Фация литорали. Фото керна: а) нижняя граница парасеквенции — контакт слабосульфатизированных доломитов и доломитов глинистых. Фото шлифов: б) доломит глинистый с карбонатными и глинистыми гальками, фиксирующими трансгрессивную поверхность; в) доломит микрокристаллический глинистый; д) доломит глинистый литокластовый с частыми глинистыми прожилками. *Фация мелкой сублиторали.* Фото керна: е) доломит микрокристаллический со структурой мадстоун. Фото шлифов: ф) доломит тонкомикрокристаллический со структурой мадстоун с глинистыми прожилками; г) доломит микро-тонкокристаллический сульфатизированный со структурой мадстоун; h) доломит тонкомикрокристаллический со структурой мадстоун со стилолитами

Fig. 3. Structural and textural features of facies and subfacies of B5 formation

Littoral facies. Core photo: a) the lower boundary of the parasequence is the contact of weakly sulfated dolomites and clay dolomites; Photo of grinds: b) clay dolomite with carbonate and clay pebbles fixing the transgressive surface; c) microcrystalline clay dolomite; d) lithoclastic clay dolomite with frequent clay veins. *Shallow sublittoral facies.* Core photo: e) microcrystalline dolomite with a madstone structure. Photo of the grinds: f) thin-microcrystalline dolomite with a madstone structure with clay veins; g) micro-fine-crystalline sulfated dolomite with a madstone structure; h) thin-microcrystalline dolomite with a madstone structure with stylolites

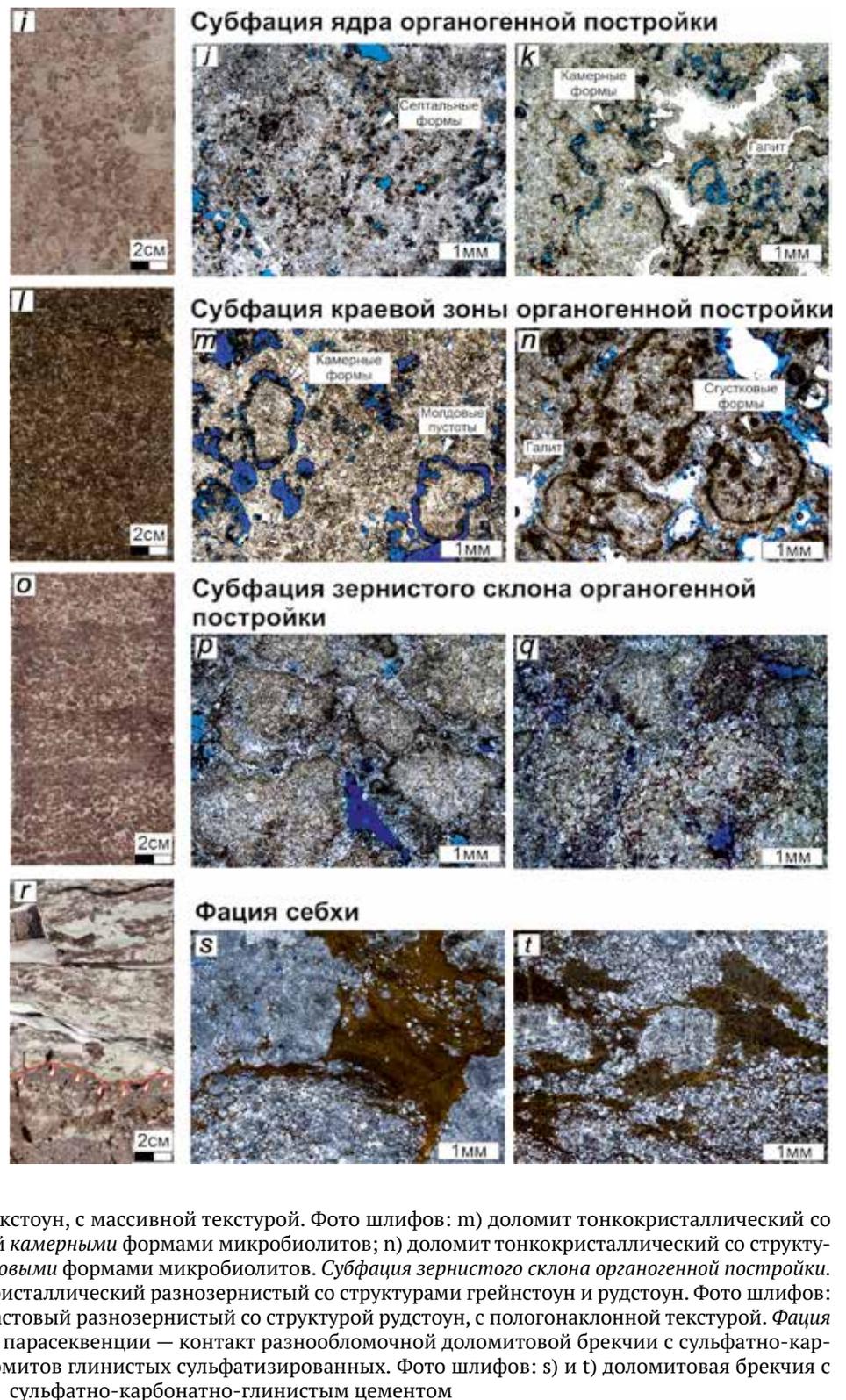


Рис. 3. Продолжение

Субфация ядра органогенной постройки. Фото кернa: i) доломит микротонкокристаллический с микробиальной структурой баундстоун, с микритовым межскелетным заполнением вакстоун, с массивной текстурой. Фото шлифов: j) доломит микротонкокристаллический со структурой баундстоун, образованный септальными формами микробиолитов; k) доломит микротонкокристаллический со структурой баундстоун, образованный камерными формами микробиолитов. *Субфация краевой зоны органогенной постройки.* Фото кернa: l) доломит тонкокристаллический с микробиальной структурой баундстоун, с зернистым межскелетным заполнением пакстоун, с массивной текстурой. Фото шлифов: m) доломит тонкокристаллический со структурой баундстоун, образованный камерными формами микробиолитов; n) доломит тонкокристаллический со структурой баундстоун, образованный сгустковыми формами микробиолитов. *Субфация зернистого склона органогенной постройки.* Фото кернa: o) доломит тонкомикросталлический разнoзернистый со структурами грейнстоун и рудстоун. Фото шлифов: p) и q) доломит литокластово-фитокластовый разнoзернистый со структурой рудстоун, с пологонаклонной текстурой. *Фация себхи.* Фото кернa: r) верхняя граница парасеквенции — контакт разнообломочной доломитовой брекчии с сульфатно-карбонатно-глинистым цементом и доломитов глинистых сульфатизированных. Фото шлифов: s) и t) доломитовая брекчия с сульфатно-карбонатно-глинистым цементом

Fig. 3. Continued

Subfacies of the core of organogenic construction. Core photo: i) micro-fine-crystalline dolomite with microbial structure boundstone with micrite interskeletal filling vacstone, with a massive texture. Photo of grinds: j) micro-fine-crystalline dolomite with a boundstone structure formed by septal forms of microbialites; k) micro-fine-crystalline dolomite with a boundstone structure formed by chamber forms of microbialites. *Subfacies of the marginal zone of organogenic construction.* Core photo: l) fine-crystalline dolomite with microbial structure boundstone with granular interskeletal filling packstone, with a massive texture; Photo of grinds: m) fine-crystalline dolomite with a boundstone structure formed by chamber forms of microbialites; n) fine-crystalline dolomite with a boundstone structure formed by thick-boned forms of microbialites. *Subfacies of the granular slope of an organogenic structure.* Core photo: o) fine-microcrystalline dolomite of different grain with grainstone and rudstone structures. Photo of the grinds: p) and q) dolomite is a lithoclast-phytoclast heterogeneous with a rudstone structure, with a gently sloping texture. *Facies of the seabed.* Photo of the core: r) the upper boundary of the parasequence is the contact of a heterogeneous dolomite breccia with sulfate-carbonate-clay cement and sulfated clay dolomites; Photo of the grinds: s) and t) dolomite breccia with sulfate-carbonate-clay cement

ми прижизненными формами цианобактерий не превышает 6 м.

При описании форменных элементов за основу взята схема Б. Пратта, которая описывает основные компоненты палеозойских и верхнепротерозойских рифов, образованных цианобактериями *Eriphyton* и *Renalcis* (Pratt, 1984). В работе выделены 3 основных морфотипа цианобактерий типа *Renalcis*: септальные (*septate*), камерные (*chambered*) и ступковые (*clotted*).

Септальные формы микробиолитов (рис. 3, j) представлены тонкими изогнутыми ветвями равномерного диаметра, с разделенными поперечными перегородками, размером до нескольких миллиметров (1.0–3.0 мм). Они имеют субвертикальную ориентировку роста, пространство между колониями заполнено карбонатным илом (Швецов и др., 2021).

Камерные формы микробиолитов (рис. 3, k, m) состоят из ажурных гроздевидных агрегатов с тонкими стенками, сложенными микритом. Агрегаты с расходящимися в сторону ветвями, размером от 0.050 до 0.5 мм. В межскелетном заполнении отмечается как микрит, так и зернистый материал, представленный пелоидами и биокластами (Швецов и др., 2021).

Ступковые формы микробиолитов (рис. 3, m) типа *Renalcis* представлены почковидными формами (размером в диаметре 0.5–2.0 мм) с неравномерно разветвляющимися толстыми трубками. Часто внутри почковидных камер образуются пустоты. Колонии имеют субвертикальную ориентировку, плотно прилегают друг другу, практически не образуя межскелетных промежутков. Заполнением может выступать карбонатный зернистый материал (Швецов и др., 2021).

Вторичные преобразования пород пласта Б5 представлены сульфатизацией, галитизацией, выщелачиванием, в меньшей степени окремнением, пиритизацией. Процессы тесно связаны со структурными особенностями пород и интенсивнее протекают на участках, имеющих седиментогенные первичные пустоты.

Сульфатизация неравномерно проявляется по разрезу практически во всех изучаемых скважинах, наиболее интенсивно развита в кровле пласта в виде многочисленных гнезд, реже в виде линзовидных включений и прослоев.

Галитизация неравномерно развита по площади и разрезу. Фронт галитизации приурочен к западной и восточной частям лицензионного участка, в северном направлении галитизация развита локально. Отмечаются скважины, где галит адаптируется к форме пустот и полностью запечатывает пустотное пространство (рис. 3, k, n).

Выщелачивание приводит к образованию дополнительных пустот молдогового типа за счет частичного и полного растворения скелетных остатков. Первичные унаследованные поры и каверны увеличены процессами растворения (рис. 3, m).

Окремнение встречается в виде редких микрокристаллических стяжений кварца и халцедона округлой формы.

Пиритизация, развитая в виде отдельных глобулей и крупных включений пирита, ассоциируется с глинистым материалом и стилолитовыми швами (рис. 3, c).

Карстопоявление выражено в виде каверн различных размеров и зафиксировано во всех скважинах. Заполнение полостей галитовое, реже глинисто-кар-

бонатное и глинисто-карбонатно-сульфатное, с многочисленными обломками коренных пород. Карст развит в основном в кровле пласта, редко в средней его части (рис. 3, s, t).

Седиментационная модель пласта Б5

При анализе kernового материала в разрезе нижней части тэтэрской свиты интерпретированы следующие фациальные комплексы: литораль, сублитораль и супралитораль (рис. 4). Ряд парагенетических ассоциаций фаций можно увидеть в таблице 1.

Отложения *литорали* представлены глинистыми микрокристаллическими доломитами с тонкой пологоволнистой и линзовидной слоистостью, редкими прослоями литокластового карбонатного материала с примесью терригенного алевритового и песчаного материала. Отложения формировались в условиях изменчивой суточной гидродинамики и солёности с ритмичными проявлениями приливно-отливных процессов (рис. 3, a–d).

Среди сублиторальных образований выделяются органогенные постройки и окружающие их тонкозернистые отложения.

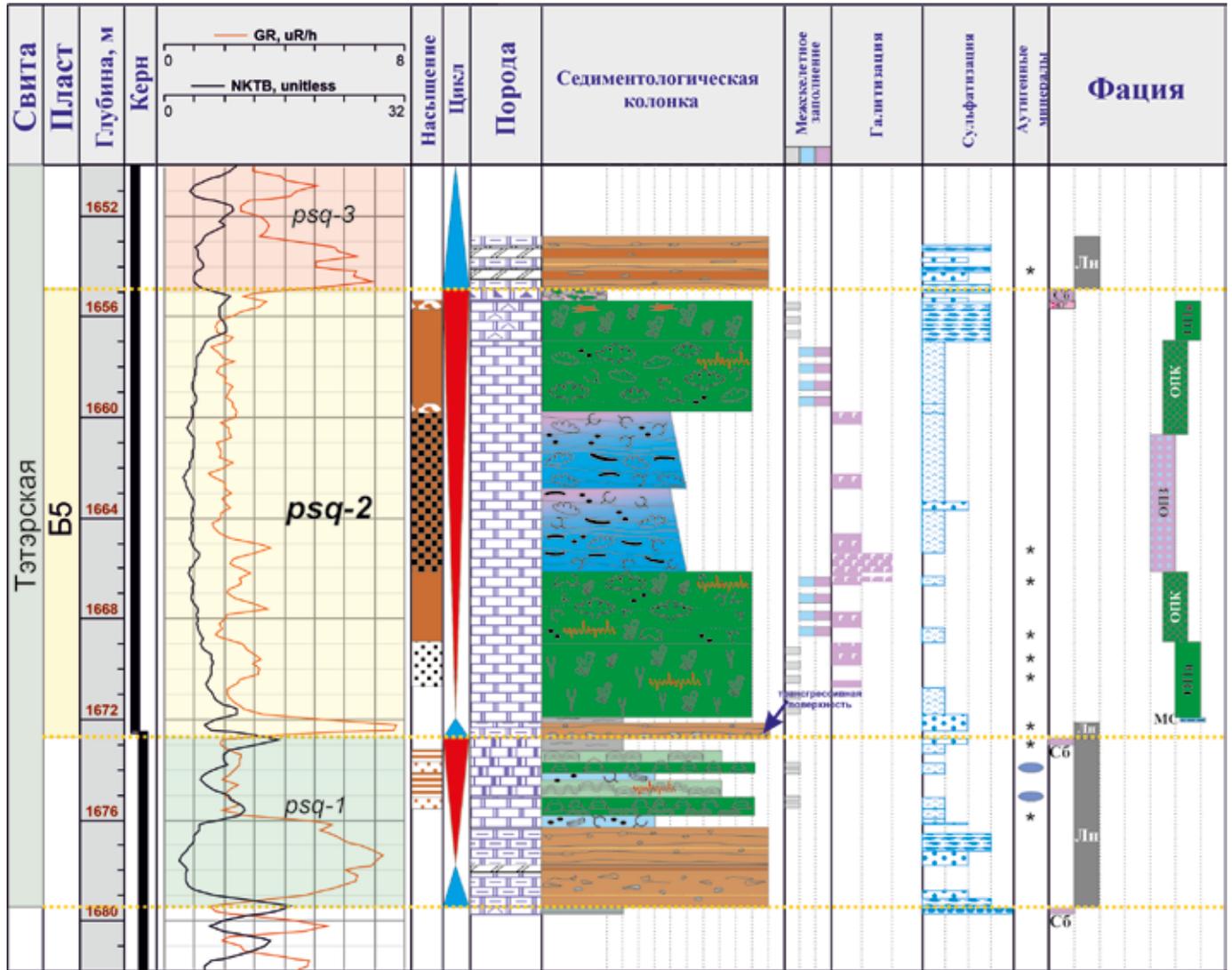
Фация *мелкой сублиторали* представлена серыми микрокристаллическими доломитами с теневой структурой мадстоун, с реликтовыми органогенными структурами, частыми глинистыми прожилками. Породы формировались в нормально-морских условиях со спокойной гидродинамикой (рис. 3, e–h).

Фация *органогенной постройки* на изученном материале характеризуется тремя субфациями: ядром, краевой частью и зернистым склоном.

Субфация *ядра органогенной постройки* сложена доломитами микротонкокристаллическими с микробинальной структурой баундстоун. Характер межскелетного заполнения микритовый (мадстоун и вакстоун). Основные формы каркасостроителей — септальные и камерные. Текстуры преимущественно массивные, с субвертикальной ориентировкой роста колоний. Формирование пород проходило в условиях нормальной солёности, при хорошей освещенности, изменчивой гидродинамики и на небольших глубинах (рис. 3, i–k).

Для пород *краевой зоны органогенной постройки* свойственны ступковые и редкие камерные формы каркасостроителей с обилием зернистого карбонатного материала в межскелетных промежутках, распределенного в виде линз и карманов. Текстуры пород — от массивных до неяснослоистых, часто подчеркнутые стилолитизированными прожилками черного органического и глинистого материала. Отложения формировались в условиях изменчивой гидродинамики, нормальной солёности, хорошей освещенности, на небольших глубинах (рис. 3, l–n).

Субфация *зернистого склона органогенной постройки* представлена тонкомикрокристаллическими разнозернистыми доломитами со структурами грейнстоун и рудстоун. Пологонаклонная косая однонаправленная слоистость подчеркивается ориентировкой зерен — пелоидов, биокластов и литокластов. Зернистый материал формировался в условиях активной гидродинамики выше базиса действия нормальных волн и откладывался на склонах органогенных построек (рис. 3, o–q).



Нефтенасыщение	Структура	Структурные элементы	Текстура	Фации
равномерное	ангидрит	стусковые формы микробалитов	полого-волнистая слоистость	Сб себха
неравномерное слоистое	карбонатные элювиальные брекчи	камерные формы микробалитов	волнистая прерывистая и нечеткая слоистость	Лп литораль
неравномерное пятнистое	мадстоун/вакстоун	септальные формы микробалитов	прожилки глинистого материала	ОПЗ зернистый склон органической постройки
неравномерное слабое, мелкое пятнистое	пакстоун	строматолиты столбчатые	стилолиты	ОПК краевая часть органической постройки
Битумонасыщение	грейнстоун	строматолиты пластовые	обломки пород с органической структурой / глинистых доломитов / микрокристаллических доломитов	ОПЯ Ядро органической постройки
равномерное битумонасыщение	рудстоун	водорослевые агрегаты неправильной формы	примесь терригенного алеаритового и песчаного материала	МС мелкая сублитораль
неравномерное слабое, мелкое пятнистое	байндстоун	фитокласты	Вторичная минерализация	
Литотипы пород	баундстоун	пелоиды	слабая галитизация (заполняет крупные поры, каверны и трещины)	Системные тракты
мергель доломитовый	глинистые доломиты	литокласты	средняя галитизация (заполняет около половины всех пор)	сокращение пространства accommodation
доломит	известковые мергели	строматокласты	высыпки кристаллов ангидрита	увеличение пространства accommodation
доломит глинистый	Проявления перерывов и палеокарста		гнезда ангидрита	← трангрессивная поверхность
доломит сульфатизированный	КР участки карстопоявления		линзы и тонкие прослои ангидрита	psq-2 парасеквенция
доломит окременный	палеокарстовые полости с глинистым заполнением		желваковый ангидрит с реликтами доломита	--- границы парасеквенций
доломитовая брекчия			★ рассеянные кристаллы пирита	
			● кремнистые стяжения	

Рис. 4. Типовой седиментологический разрез пласта Б5 тэтэрской свиты венд-кембрийского времени
 Fig. 4. Typical sedimentological section of B5 formation of the Theter formation of the Vendian-Cambrian time



Таблица 1. Парагенетические ассоциации фаций пласта Б5 даниловского горизонта венд-кембрийского времени

Table 1. Paragenetic associations of facies of B5 formation of the Danilovsky horizon of the Vendian-Cambrian time

Фациальный комплекс The facial complex	Парагенетические ассоциации фаций Paragenetic associations of facies	Литологический тип Lithological type	
Литораль Littoral	фация литорали littoral facies	доломиты глинистые микрокристаллические с литокластовым материалом, с примесью терригенного материала, пологоволнистые и линзовидно-слоистые microcrystalline clay dolomites with lithoclastic material, with an admixture of terrigenous material, gently undulating and lenticular-layered	
Сублитораль Sublittoral	фация мелкой сублиторали small sublittoral facies	доломиты микрокристаллические с теневой структурой мадстоун, с реликтами микробных колоний, с глинистыми прожилками microcrystalline dolomites with a mudstone shadow structure, with relics of microbial colonies, with clay veins	
	Фация органогенной постройки Facies of organogenic construction	субфация ядра органогенной постройки subfacies of the core of an organogenic structure	доломиты со структурой баундстоун микробный (септальные и камерные формы), с межскелетным заполнением мадстоун и вакстоун, массивные boundstone microbial dolomites (septal and chamber forms) with interskeletal filling of mudstone and wackestone, massive
		субфация краевой зоны органогенной постройки subfacies of the marginal zone of organogenic construction	доломиты со структурой баундстоун микробный (сгустковые и камерные формы), с межскелетным заполнением пакстоун-грейнстоун, массивные и неяснослоистые, со стилолитизированными прожилками черного органического и глинистого материала boundstone microbial dolomites (clump and chamber forms) with interuniverse packstone- greinstone filling, massive and indistinctly layered, with stylolithized veins of black organic and clay material
		субфация зернистого склона органогенной постройки subfacies of a granular slope of an organogenic structure	доломиты со структурами грейнстоун и рудстоун, с пологонаклонной однонаправленной слоистостью greinstone and rudstone dolomites with gently inclined unidirectional stratification
Супралитораль Supralittoral	фация себхи sebhi facies	доломитовые брекчии разнообломочные с сульфатно-карбонатно-глинистым цементом dolomite breccias with sulfate-carbonate-clay cement	

Фациальный комплекс супралиторали выявлен в кровле пласта Б5 и представлен фацией *себхи*, образование пород которой происходит выше уровня нормальных приливов. Ограниченное аккомодационное пространство и тенденция к недостаточной циркуляции воды на мелководье карбонатных платформ в засушливом климате создают идеальные условия для формирования пород себхи. Литологически фация представлена разнообломочными доломитовыми брекчиями с сульфатно-карбонатно-глинистым цементом. Обломочный материал представлен фрагментами доломитов с микробными и микритово-зернистыми структурами. Отложения формировались в периоды низкого стояния уровня моря, на локальных участках субаэральной экспозиции. Здесь поступление осадочного материала отсутствует и происходит выветривание пород (рис. 3, г–т).

Перекрывают продуктивный пласт Б5 отложения

литорали, литологически представленные глинистыми неравномерно сульфатизированными доломитами и доломитовыми мергелями, с горизонтами глинистых литокластов, с включением терригенного материала и тонкой волнистой слоистостью.

Коллекторы связаны с субфациями ядра, краевой зоны и зернистого склона органогенной постройки. Коэффициент пористости пород *ядра органогенной постройки* составляет 4–10 %, коэффициент проницаемости 0.5–300 мД. Коэффициент пористости пород *краевой зоны органогенной постройки* составляет 5–25 %, коэффициент проницаемости — 100–1000 мД. Коэффициент пористости пород *зернистых склонов органогенных построек* составляет 7–25 %, коэффициент проницаемости — 10–1000 мД. Наилучшими фильтрационно-емкостными свойствами обладают породы субфаций краевой зоны и зернистого склона органогенной постройки.



Рис. 5. Седиментационная модель строения мелководно-шельфовых органогенных построек тэтэрской свиты венд-кембрийского времени

Fig. 5. Sedimentation model of the structure of shallow-shelf organogenic structures of the Theter formation of the Vendian-Cambrian time

По результатам выполненных фациальных исследований реконструированы условия формирования пласта Б5 и разработана модель мелководно-шельфовых – органогенных построек и их зернистых склонов (рис. 5), образованных в фациальном комплексе мелкой сублиторали. Таким образом, проведенные исследования подтверждают наличие пород не только аллохтонного, но и автохтонного генезиса.

История формирования пласта Б5

По результатам проведенных фациальных исследований ядра скважин Даниловского ЛУ реконструирована история седиментации пласта Б5 тэтэрской свиты (рис. 6). Исследования позволили детализировать строение фациальных зон.

Изучаемые отложения формировались на древней эпиконтинентальной карбонатной платформе в условиях сублиторали, литорали и супралиторали.

Отложения пласта Б5 представляют собой мелкую кверху парасеквенцию (rsq-2), являющуюся составной частью секвенции III порядка, слагающей тэтэрскую свиту. В процессе аналитической работы в цикле пласта Б5 выделены нижняя (рис. 3, а) и верхняя (рис. 3, г) границы парасеквенции, прослежены этапы увеличения и сокращения пространства аккомодации. Кровлей и подошвой парасеквенции rsq-2 являются поверхности морского затопления.

Нижняя граница парасеквенции представляет собой резкий эрозионный контакт сульфатизированных и глинистых доломитов (рис. 3, а). Верхняя граница – резкий эрозионный контакт доломитовой разнообломочной брекчии элювиального горизонта и неравномерно сульфатизированных глинистых доломитов (рис. 3, г).

Начало повышения уровня моря в циклите пласта Б5 фиксируется трансгрессивной поверхностью, представляющей собой прослой с включением окатанных карбонатных галек (рис. 3, б). В условиях влияния приливно-отливной гидродинамики и ограниченного пространства аккомодации формировались отложения литорали (глинистые микрокристаллические доломиты с тонкой пологоволнистой и линзовидной слоистостью). Этап максимального затопления в цикле фиксируется накоплением отложений

мелкой сублиторали в виде микрокристаллических доломитов со структурой мадстоун. Нормальная соленость, хорошая освещенность и достаточный объем пространства аккомодации благоприятствовали росту органогенных построек. Последние в результате быстрого роста догоняют ОУМ и в прикровельных зонах под влиянием активной волновой динамики формируют краевые зоны и зернистые склоны.

При каждом следующем кратковременном повышении ОУМ постройки латерально смещаются (при благоприятных условиях в определенных участках рельефа, сформированного зернистым материалом, начинается рост новых построек). На заключительном этапе седиментации в период падения ОУМ постройки выводятся в зону субаэральной экспозиции, где подвергаются карстованию. На этом этапе формируются доломитовые разнообломочные брекчии элювиального горизонта. Фиксируется верхняя граница парасеквенции и начало нового парасеквенса – rsq-3, где образуются неравномерно сульфатизированные глинистые доломиты литорали, являющиеся покрывкой пласта Б5.

Для полноценной характеристики литолого-фациального строения важно было привести корреляцию разрезов скважин, чтобы было понимание особенностей изменения толщин пласта и закономерностей распространения выделенных литотипов и фаций в разрезе и на площади (рис. 7, 8). Анализ этих закономерностей является неотъемлемой частью седиментологических реконструкций. Приведенные данные свидетельствуют об увеличении мощности пласта Б5 в направлении с северо-востока на юго-запад. Судя по изменениям мощностей пласта и распределению фаций, в разрезе скважин на северо-востоке территории преобладали более мелководные условия шельфа, на завершающей стадии формирования пласта породы в большей степени испытывали периоды длительного осушения. По мере отдаления от северо-восточной части по направлению на юго-запад (скв. D-9 и D-4) и для западной части территории характерно преобладание субфаций ядра, краевой зоны и зернистого склона органогенной постройки. В южной части территории (скв. D-2 и D-5) накапливались отложения субфаций ядра и краевой зоны органогенной постройки.

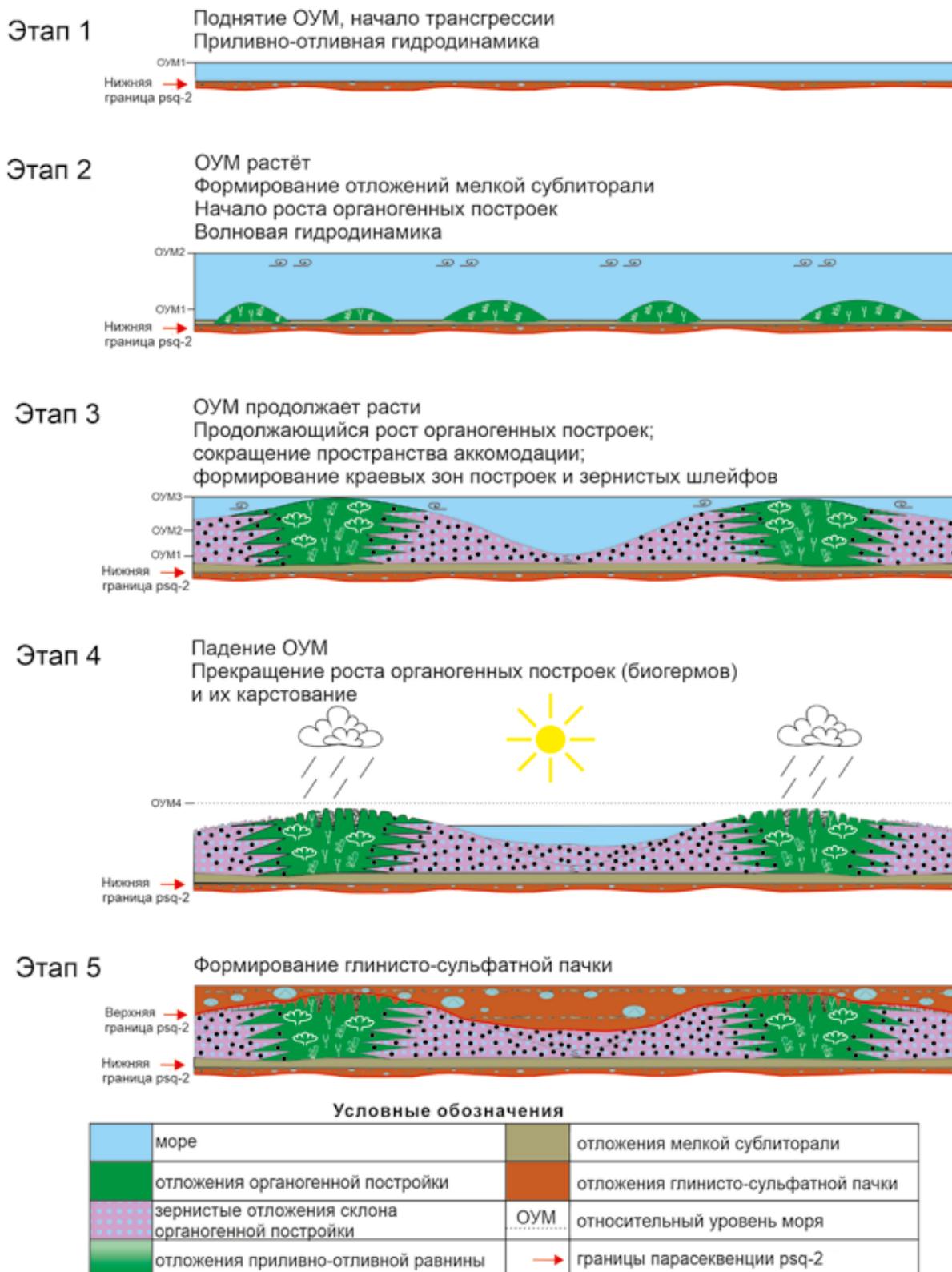


Рис. 6. Этапы формирования пласта Б5 тэтэрской свиты венд-кембрийского времени
Fig. 6. Stages of formation of B5 formation of the Tether formation of the Vendian-Cambrian time

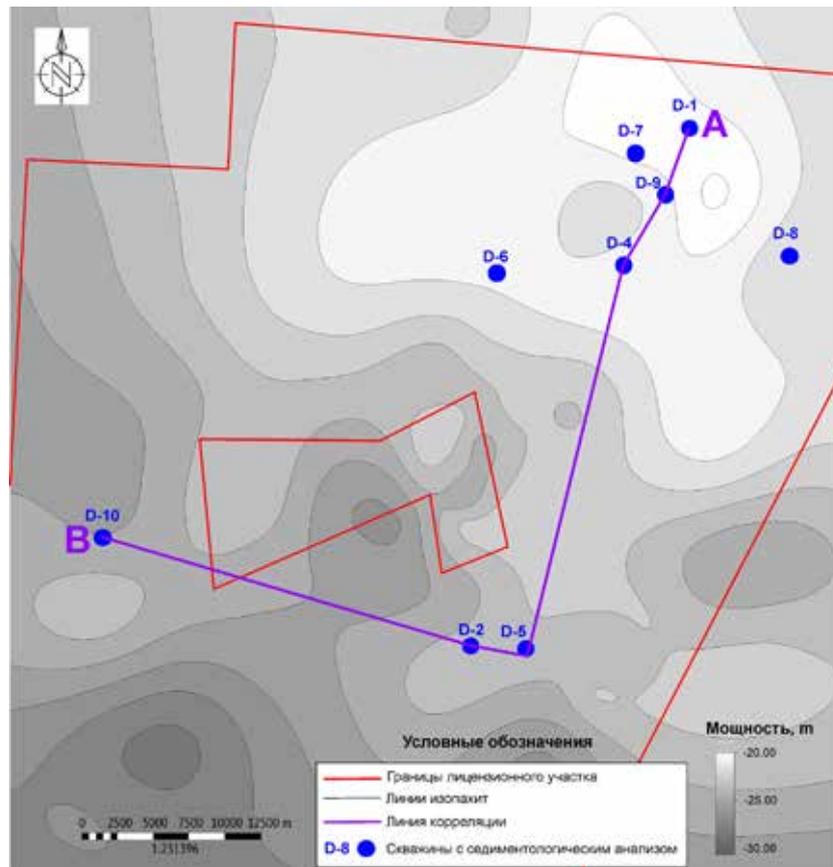


Рис. 7. Карта общих толщин пласта Б5

Fig. 7. Map of the total thickness of B5 formation

Заключение

В результате выполненного седиментологического анализа удалось установить органогенную микробиальную природу и восстановить историю развития нижней части тэтэрской свиты на территории Даниловского ЛУ. В разрезе пласта Б5 отчетливо выделяются субфации ядра, краевой зоны и зернистых склонов органогенной постройки.

Рост органогенных построек происходил на территории древней карбонатной платформы в условиях мелководного шельфа на небольших глубинах, о чем свидетельствуют вертикально растущие каркасообразующие организмы с быстро меняющимся характером межскелетного заполнения, являющиеся источником обильного зернистого материала на пологих протяженных склонах.

На северо-востоке Даниловского ЛУ преобладали более мелководные условия шельфа, где фиксируются большой объем зернистых структур и сокращенные мощности пласта Б5.

На завершающем этапе формирования пласта породы выведены в условия субаэральной экспозиции, где начинается этап карстования, что приводит к образованию резервуара.

Литература / References

Вараксина И. В., Хабаров Е. М. Литология карбонатных продуктивных горизонтов венда центральной части Непско-Ботуобинской антеклизы // Нефтегазовая геология. 2015. № 3(23). С. 54–62.

Varaksina I. V., Khabarov E. M. Lithology of carbonate productive horizons in the central part of the Nepsko-Botuobinsk antecline. Oil and gas geology, 2015, No. 3(23), pp. 54–62 (in Russian).

Вараксина И. В., Хабаров Е. М. Седиментогенез и постседиментационные изменения карбонатных продуктивных отложений венда центральной части Непско-Ботуобинской антеклизы // Материалы VII Всероссийского литологического совещания. 2013. Т. 1. С. 134–138.

Varaksina I. V., Khabarov E. M. Sedimentogenesis and postsedimentation changes of carbonate productive deposits in the Venda of the central part of the Nepsko-Botuobinsk antecline. Proc. of the 7th All-Russian Lithological Meeting, 2013, V. 1, pp. 134–138 (in Russian).

Еганова Д. К., Маринов Р. В. Литология и условия формирования усть-кутского продуктивного горизонта центральной части Непско-Ботуобинской антеклизы // Литология и Я: от идеи до выводов: Материалы 3-й Всероссийской школы студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов по литологии. 2018. С. 75–77.

Yeganova D. K., Marinov R. V. Lithology and conditions of formation of the Ust-Kut productive horizon of the central part of the Nepsko-Botuobinsk antecline // Materials of the 3rd All-Russian School of Students, Postgraduates, young Scientists and specialists in Lithology "Lithology and Me: from idea to conclusions", 2018, pp. 75–77 (in Russian).

Лемешко М. Н., Лемешко Д. И. Особенности продуктивных карбонатных отложений усть-кутского горизонта

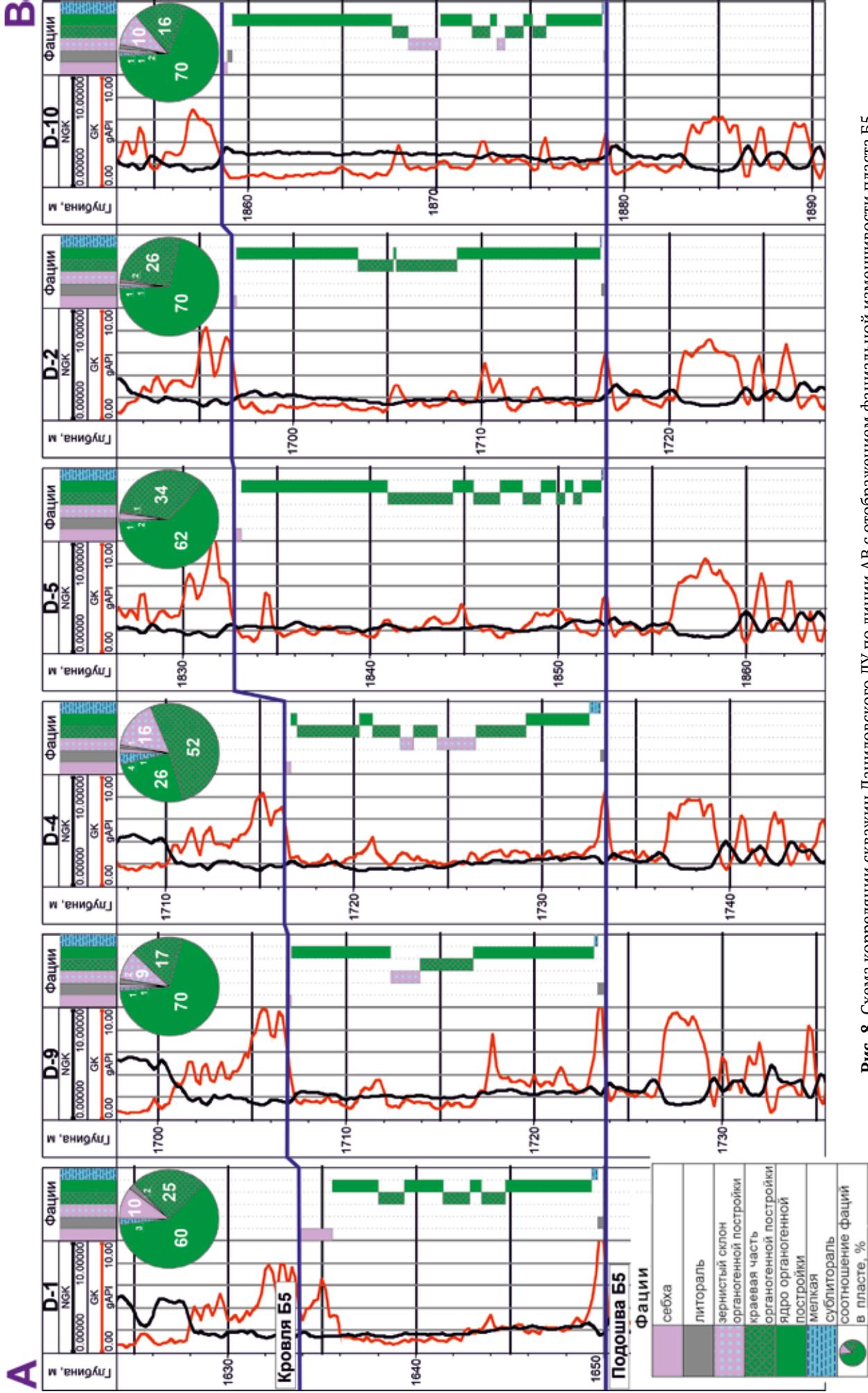


Рис. 8. Схема корреляции скважин Даниловского ЛУ по линии АВ с отображением фациальной изменчивости пласта B5
 Fig. 8. The scheme of correlation of the Danilovsky LU wells along the AB line with the display of the facies variability of B5 formation



- южной части непского свода на примере одной из скважин // *Осадочная геология Урала и прилегающих регионов сегодня и завтра: Материалы 12 Уральского литологического совещания*. 2018. С. 169—171.
- Lemeshko M. N., Lemeshko D. I. Features of productive carbonate deposits of the Ust-Kut horizon of the southern part of the Nepsky arch on the example of one of the wells. *Proceedings of the 12th Ural Lithological Meeting "Sedimentary geology of the Urals and adjacent regions today and tomorrow"*, 2018, pp. 169—171 (in Russian).
- Мельников Н. В.* Венд-кембрийский соленосный бассейн Сибирской платформы (стратиграфия, история развития). Новосибирск: СНИИГГиМС, 2017. 177 с.
- Melnikov N. V. Wend-Cambrian salt basin of the Siberian platform (stratigraphy, history of development). Novosibirsk: SNIIGGiMS, 2017, 177 p. (in Russian).
- Швецов Е. И., Ширяев А. В., Белогурова М. А.* Каркасообразующие организмы и типы коллекторов в доломитах юряхского подгоризонта непско-ботуобинской антеклизы // *Динамика и взаимодействие геосфер земли: Материалы Всероссийской конференции с международным участием*. 2021. С. 225—227.
- Shvetsov E. I., Shiryayev A. V., Belogurova M. A. Frame-forming organisms and reservoir types in the dolomites of the Yuryakhsky subhorizon of the Nepsko-Botuobinsk antecline. *Proceedings of the All-Russian conference with international participation "Dynamics and interaction of the Earth's geospheres"*, 2021, pp. 225—227 (in Russian).
- Flügel E.* Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application. Berlin: Heidelberg-Springer-Verlag, 2010. 976 pp.
- Pratt B. R.* Diagenetic Microfossils from Calcification of Coccolid Blue-Green Algae // *Journal of Sedimentary Research (SEPM)*. 1984. No. 3. P. 948—971.

Поступила в редакцию / Received 20.11.2023