

УДК 552.143(571.122)"622.62"
DOI: 10.18799/24131830/2025/3/4976
Шифр специальности ВАК: 1.6.5, 1.6.11

Особенности осадконакопления терригенных отложений в позднем апте – раннем альбе на севере Ямала

Н.М. Недоливко✉, Т.Г. Перевертайло

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск

✉ nedolivko@tpu.ru

Аннотация. *Актуальность* исследования связана с необходимостью уточнения геологического строения нижнемеловых продуктивных отложений в северной части полуострова Ямал в связи с предстоящим вводом месторождения в разработку. Комплекс терригенных отложений нижнего мела характеризуется неоднородным строением и широко проявленной литолого-фациальной изменчивостью, определяющей особенности строения и закономерности распространения продуктивных пластов. Проведенные литолого-фациальные исследования позволяют установить обстановки осадконакопления и особенности изменения осадочных толщ во времени и в пространстве, выявить закономерности смены разнофациальных отложений и распространение пластов-коллекторов и флюидопоров в разрезах и на площади месторождения. *Цель.* Реконструкция условий формирования и анализ фациально-литологической изменчивости нижнемеловых продуктивных пластов, сформированных в позднеапте-раннеальбское время (пласты ТП₁ и ХМ₃). *Методы.* Геологическая интерпретация геофизических исследований скважин, литолого-фациальный и ихнофациальный анализы. *Результаты и выводы.* По данным керн и материалам ГИС охарактеризовано геологическое строение, структурно-текстурные особенности, вещественный состав отложений, выявлены обстановки седиментации, выделены и описаны фации, прослежена вертикальная и латеральная фациальная изменчивость. Установлено, что в северной части полуострова Ямал в позднеапте-раннеальбское время накопление осадочного материала осуществлялось на фоне колебательных движений морского дна: в разрезе отмечается чередование трансгрессивных и регрессивных серий осадков. В конце апта на фоне расширения морской трансгрессии в пределах нижнего пляжа, предфронтальной и переходной зон пляжа мелководно-морского бассейна накапливались терригенные отложения пласта ТП₁ танопопинской свиты. В раннем альбе с максимальным прогибанием морского дна связано формирование пачки между продуктивными пластами ТП₁ и ХМ₃, сложенной алевритоглинистыми и глинистыми осадками, накопившимися в пределах дальней зоны пляжа и удаленного от берега шельфа. Пласт ХМ₃ формировался на фоне нарастающей регрессии в прибрежной полосе моря в условиях дальней, переходной, предфронтальной зон пляжа и нижнего пляжа. Песчаный материал генетически связан с гребневыми, центральными и склоновыми частями и подножиями трансгрессивных и регрессивных баров нижнего пляжа и префронтальной зоны пляжа, алевритовый – с переходной и дальней зонами пляжа, глинистые осадки – с углубленными участками морского дна дальней зоны пляжа и удаленного от берега шельфа.

Ключевые слова: Ямальская нефтегазоносная область, ранний мел, апт, альб, танопопинская свита, яронгская свита, терригенные отложения, пласты ТП₁ и ХМ₃, условия формирования, прибрежно-морское осадконакопление

Для цитирования: Недоливко Н.М., Перевертайло Т.Г. Особенности осадконакопления терригенных отложений в позднем апте – раннем альбе на севере Ямала // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2025. – Т. 336. – № 3. – С. 170–182. DOI: 10.18799/24131830/2025/3/4976

UDC 552.143(571.122)"622.62"
DOI: 10.18799/24131830/2025/3/4976

Sedimentary features of terrigenous deposits (Late Aptian – Early Albian) in the northern Yamal

N.M. Nedolivko✉, T.G. Perevertaylo

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation

✉ nedolivko@tpu.ru

Abstract. Relevance. The need to clarify the geological structure of Lower Cretaceous productive sediments in the northern part of the Yamal Peninsula with the ongoing N-field development. The Lower Cretaceous terrigenous deposition is characterized by a heterogeneous geology and lithofacies variability which specify the geological features and extent of the productive strata. The conducted lithofacial studies determine the depositional environment and specific features of sedimentary sequence changes in time and space, reveal the change succession of different facies as well as extent both formation and seals within the geological sections and the field area. **Aim.** To reconstruct depositional environments and analyzing lithofacies variability of the Lower Cretaceous productive strata originated from the Late Aptian – Early Albian period (TP₁ and KhM₃ formations). **Methods.** Geological interpretation of geophysical log data, lithofacies and ichnofacial analysis. **Results and conclusions.** The core analysis and geophysical log data have revealed geological composition, structure-texture features, sediment composition, depositional environments. Facies were described; vertical and lateral facies variability were identified. It was stated that in the Late Aptian – Early Albian period the sedimentation was due to oscillatory seafloor movements in the northern part of the Yamal Peninsula. The section indicates the alternating transgressive and regressive sediment sequences. In the Late Aptian period, the terrigenous deposits of the Tanopchin Formation (TP₁ stratum) were accumulated due to marine transgression within the foreshore, shoreface and transitional zones of the shallow-marine beach. In the Early Albian period, the sequence formation between TP₁ and KhM₃ productive strata, composed of silty-clayey and clayey sediments accumulated within the far beach zone and the shelf remote from the shore, was associated with the maximum seafloor subsidence. The KhM₃ stratum was formed as the seashore regression increased within the far, transitional, shoreface and foreshore beach zones. Sandy material is genetically related to the ridge, central and slope parts and transgressive and regressive bar bottoms of the foreshore and shoreface, silty material is related to the transitional and far beach zones, clayey sediments are related to the deepened seabed areas of the far beach zone and the offshore shelf.

Keywords: Yamal oil-and-gas bearing region, Early Cretaceous, Apt, Alb, Tanopchin Formation, Yarong Formation, terrigenous deposits, TP₁ and KhM₃ strata, depositional environment, marginal-marine deposition

For citation: Nedolivko N.M., Perevertaylo T.G. Sedimentary features of terrigenous deposits (Late Aptian – Early Albian) in the northern Yamal. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2025, vol. 336, no. 3, pp. 170–182. DOI: 10.18799/24131830/2025/3/4976

Введение

Территория газоконденсатного месторождения географически располагается в северной части Западно-Сибирской равнины на севере полуострова Ямал, в административном отношении – в Ямальском районе Ямало-Ненецкого автономного округа Тюменской области. В тектоническом плане месторождение расположено в пределах Карской синеклизы Ямало-Тазовской мегасинеклизы и контролируется крупным тектоническим элементом II порядка – одноименным с месторождением валом северо-восточного простирания, имеющим унаследованное развитие от доплатформенных образований. Согласно нефтегазогеологическому районированию, месторождение относится к Ямальской нефтегазоносной области Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции и приурочено к зоне высокоперспективных земель I категории [1]. По количеству начальных запасов газа, составляющих более 2 трлн м³, месторождение является супергигантом, ввод залежей в разработку предусматривается в ближайшие годы [2]. Для газодобычи РФ газоконденсатное месторождение имеет стратегическое значение и включено в перечень объектов федерального значения [3].

Месторождение характеризуется сложным геологическим строением, этаж нефтегазоносности охватывает широкий стратиграфический интервал от сеномана до средней юры включительно [4].

Объектом исследования являются терригенные отложения, сформированные в конце апта – начале альба – пласты ТП₁ и ХМ₃, промышленная продуктивность которых доказана испытанием и связана с газовыми залежами [5], и глинистая пачка между ними.

Цель исследования – реконструкция условий формирования и анализ фациально-литологической изменчивости отложений, сформированных в конце апта – начале альба на севере Ямала.

Актуальность исследования продиктована необходимостью уточнения геологического строения нижнемеловых продуктивных отложений в связи с вводом месторождения в разработку. Проведение литолого-фациальных исследований позволит установить обстановки осадконакопления и особенности изменения осадочных толщ во времени и в пространстве, выявить закономерности смены разнофациальных отложений и распространение пластов-коллекторов и флюидоупоров в разрезах и на площади месторождения.

Результаты исследования могут быть использованы при подсчете запасов углеводородов и при планировании мероприятий по разработке залежей.

Фактический материал и методики исследования

В основу статьи положены результаты макроскопического изучения кернового материала и комплекс геофизических исследований скважин (ГИС).

Основной целью литологических исследований являлось воссоздание максимально полной картины осадконакопления отложений, формирующихся в позднем апте – раннем альбе. Для этого по керновому материалу устанавливались генетические признаки пород, позволяющие определить условия седиментации: тип и цвет пород, структурно-текстурные особенности, толщина слоев и характер контактов, строение породно-слоевых ассоциаций, ископаемые остатки и следы жизнедеятельности, минеральные включения.

При выделении и фациальной интерпретации генетических признаков пород по керну использовались приемы, разработанные В.П. Алексеевым [6, 7]. Результаты ихнофациального анализа интерпретировались в соответствии с выводами, изложенными в работах [8–14].

Общетеоретические представления об особенностях осадконакопления меловых отложений полуострова Ямал опирались на материалы, опубликованные в [15–17].

Фациальные обстановки и условия седиментации в пределах шельфовой зоны интерпретировались по [18–20].

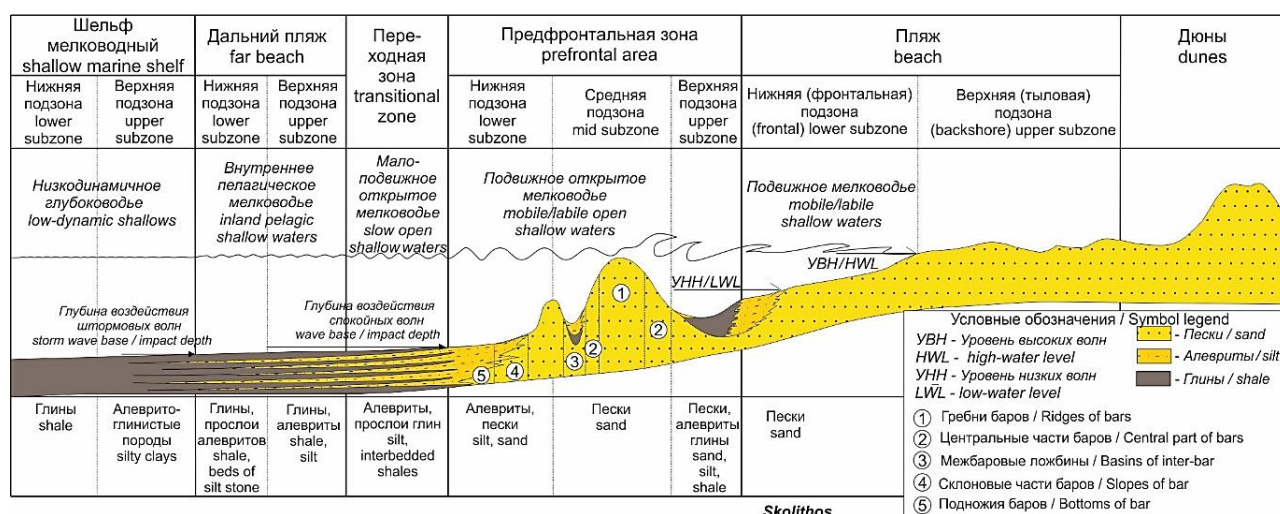
При определении состава пород, слагающих разрез, и границ между слоями использовались материалы ГИС, включающие методы потенциалов собственной поляризации (ПС), кажущегося электрического сопротивления (КС), гамма-каротажа (ГК), нейтронного гамма-каротажа (НГК), индукционного каротажа (ИК), каверномера (КВ). В качестве основного вида геофизических исследований при проведении фациального анализа использовались кривые ПС, по которым устанавливались

электрометрические модели фаций (ЭМФ), представляющие собой каротажные кривые определенной формы, и восстанавливался гидродинамический режим среды осадконакопления. Тип фации и гидродинамический режим определялись по методике В.С. Муромцева [21]: тип – путем сравнения характера поведения каротажной кривой пласта с типовыми формами каротажных кривых для различного рода фаций, выделенных В.С. Муромцевым; гидродинамический режим – по максимальному значению $\alpha_{ПС}$: при 0–0,2 – динамика очень низкая (V уровень), 0,2–0,4 – низкая; 0,4–0,6 – средняя, 0,6–0,8 – высокая, 0,8–1 – очень высокая. В скважинах, пробуренных с использованием растворов на нефтяной основе, где показания кривой ПС искажены, выделение песчаных прослоев проведено по методу ГК. Интерпретация кривых ПС и ГК и расчет их относительных параметров проведены в соответствии с [22].

По результатам интерпретации ГИС были построены карты толщин песчаников пластов ТП₁, ХМ₃, карты изменения относительного параметра $\alpha_{ПС}$ и общих толщин глинистой пачки, которые в совокупности с проведенными исследованиями керна и анализа ЭМФ использовались для построения литолого-фациальных карт.

Интерпретация ГИС и построение карт осуществлялись в ПК РН-ГЕОСИМ (ООО «РН-БашНИПИнефть»).

Идеализированная модель побережья, использованная в статье (рис. 1), основана на классификации К.О. Эмери [20] и адаптирована к изучаемым отложениям.



Cruisiana Palaeophycus, Planolites, Schaubcylindrichnus, Teichichnus, Asterosoma

Zoophycos Chondrites, Phycosiphon

Helminthopsis Nereitis

Рис. 1. Схематический профиль строения прибрежной зоны (основан на классификации К.О. Эмери [23] с изменениями)
Fig. 1. Schematic cross section of littoral area (based on the Emery's method [23] with modifications)

Результаты исследования и их обсуждение

Пласт ТП₁ выделен в кровле таноупчинской свиты (K₁tn) и в стратиграфическом отношении относится к позднему апту; раннеальбские отложения представлены отложениями яронгской свиты (K₁jar): глинистой пачкой, перекрывающей пласт ТП₁, и залегающим на ней пластом ХМ₃.

Отложения отличаются неоднородным строением и представлены чередованием глинистых, алевритовых и песчаных пород, неоднократно сменяющих друг друга в разрезе, что обусловлено нестабильностью осадконакопления, меняющимися условиями седиментации и фациальной изменчивостью.

Особенности строения и условия образования отложений пласта ТП₁

Пласт ТП₁ (K₁tn), приуроченный к кровле таноупчинской свиты и завершающий цикл аптского осадконакопления, на исследуемой территории характеризуется резким контактом с подстилающими отложениями, относительно небольшой (от 10,1 до 16,3 м) общей толщиной, практически повсеместным присутствием в разрезах и широким площадным распространением песчаников, локальным развитием алевритовых и глинистых отложений, тяготеющих к верхним частям разреза.

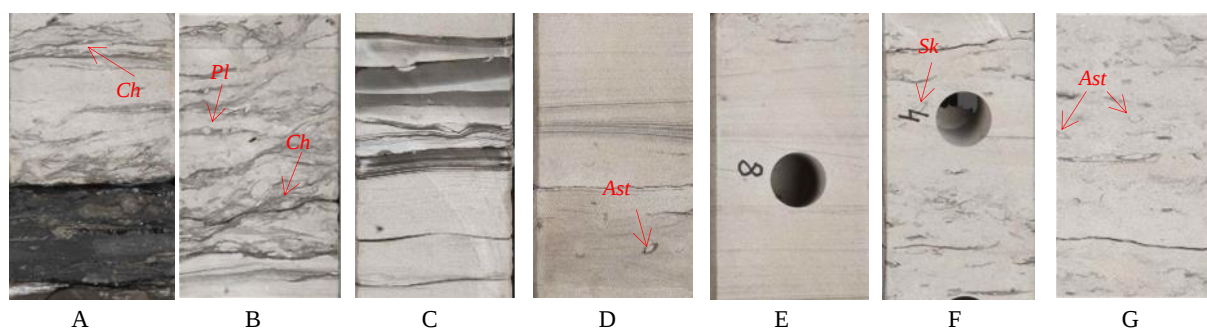
Согласно керновым данным, пласт залегают на континентальных углито-глинистых и углистых породах (рис. 2, А), в основании (рис. 2, А–С) сложен средне- и мелкозернистыми песчаниками с прерывистой и сплошной волнистой, косоволни-

стой и пологоволнистой слоистостью за счет по- слойных намывов глинистого материала. Слои- стость нарушена взмучиванием и размывом.

В породах присутствуют ихнофоссилии типа *Planolites* и *Chondrites*. В средней части пласта (рис. 2, D, E) распространены средне- мелкозернистые и мелкозернистые песчаники с тонкими горизонтальными, косо- и пологоволни- стыми глинистыми прослоями и следами жизнеде- ятельности типа *Asterosoma*. В верхней части (рис. 2, F, G) они сменяются биотурбированными мелкозернистыми песчаниками с прерывисто- волнистой «рябчатой» слоистостью, мелкими гли- нистыми литокластами и следами жизнедеятельно- сти донных организмов типа *Skolithos* и *Asterosoma*.

Генетические признаки отложений – преимуще- ственно песчаный состав пород, преобладание вол- нистой слоистости, следы взмучивания и размыва, комплекс ихнофоссилий – характерны для отложе- ний предфронтальной зоны пляжа [19] и позволяют сделать вывод, что песчаный материал осаждался в условиях подвижного мелководья на относительно выровненном рельефе морского дна, образуя вдоль- береговые подводные гряды и валы, трансформиру- ющиеся с течением времени в подводные бары.

Этот вывод вполне согласуется с данными А.Э. Конторовича и др. [16], установивших, что в позд- нем апте северная часть Ямала располагалась в па- леогеографической области мелкого моря с глуби- ной дна менее 25 м.



Уменьшение глубины залегания пород в разрезе
Bedrock depth decrease in the section

Рис. 2. Генетические признаки осадков трансгрессивного пляжа. Пласт ТП₁. Скважина 2: А) резкая граница мелкозернистых волнисто-слоистых песчаников со следами размыва и биотурбацией тупа *Chondrites* с подстилающим прослоем каменного угля; В, С) склоны бара: В – мелкозернистые косоволнисто-слоистые песчаники с биотурбацией *Chondrites* и *Planolites*, С – переслаивание мелкозернистых песчаников и аргиллитов с биотурбацией тупа *Asterosoma*; D, E) гребневая часть бара. Песчаники мелкозернистые тонкослоистые с редкой биотурбацией тупа *Asterosoma*; F, G) центральная часть бара. Биотурбированные мелкозернистые песчаники с ихнофоссилиями тупа *Asterosoma* и *Skolithos*

Fig. 2. Genetic traits of transgressive beach sediments. TP₁ formation. Well no. 2: A) sharp boundary of fine-grained undulating layered sandstones with traces of erosion and *Chondrites* bioturbation with an underlying coal interbed; B, C) slopes of the bar: C – fine-grained oblique wavy-laminated sandstones with *Chondrites* and *Planolites* bioturbation, B – interbedded fine-grained sandstones and mudstones with *Chondrites* bioturbation; D, E) sand ridges of the bar. Fine-grained thinly layered sandstones with rare *Asterosoma* bioturbation; E, G) central part of the bar. Bioturbated fine-grained sandstones with ichnofossils of *Asterosoma* and *Skolithos* types

Электрометрические модели пласта ТП₁, имеющие колоколообразную форму и расположенные в области отрицательных отклонений ПС с максимальным отклонением в нижней части аномалии, отвечают трансгрессивным прибрежным барам [21]. Подошвенная линия аномалии – горизонтальная или слабо наклонная – отражает эрозионный контакт песчаников с подстилающими породами и соответствует резкому увеличению гидродинамической активности среды седиментации в начале цикла осадконакопления. Кровельная линия наклонная, как правило, изрезанная, что связано с неравномерным снижением гидродинамической активности с течением времени и резкими переходами одних литологических разностей в другие на

фоне общего уменьшения размера обломков вверх по разрезу.

С учетом изменения литологического состава, общей толщины отложений, толщины песчаников, коэффициента песчанистости и гидродинамической активности среды седиментации в пределах трансгрессивных баров были выделены гребневые, центральные, склоновые части и подножия.

Фашии песков гребневых частей трансгрессивных баров в пласте ТП₁ распространены на западе и в северной части месторождения (рис. 3). Для них характерна наибольшая общая толщина отложений (12,8–16,3 м), которая во многом определяется толщиной песчаников (9,9–13 м) и высокими коэффициентами песчанистости ($K_{\text{песч}}=0,76\text{--}0,97$) разрезов.

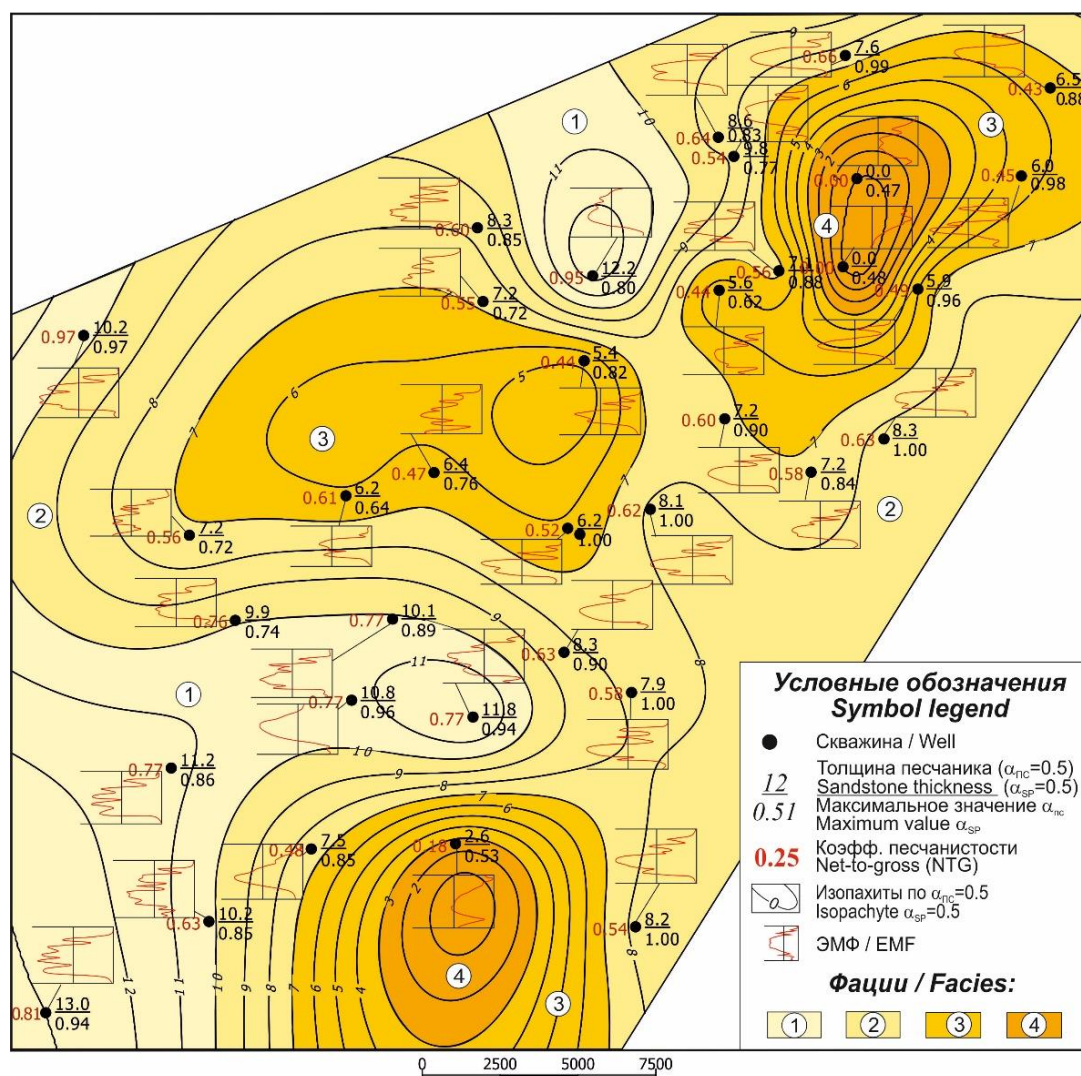


Рис. 3. Литолого-фашиальная карта отложений пласта ТП₁. Фашии предфронтальной зоны пляжа: 1 – песков гребневых частей трансгрессивных баров (средняя подзона); 2 – песков центральных частей трансгрессивных баров (средняя подзона); 3 – алевритов и песков склоновых частей трансгрессивных баров (нижняя подзона); 4 – песков и алевритов межбаровых ложбин трансгрессивных баров (средняя подзона)

Fig. 3. Lithofacies map of the TP₁ formation. Facies of the shoreface: 1 – sand ridges of transgressive bars (middle subzone); 2 – sands of central parts of transgressive bars (middle subzone); 3 – silts and sands of transgressive bar slopes (middle and lower subzones); 4 – sands and silts of inter-bar basins of transgressive bars (middle subzone)

Высокая песчанистость разрезов свидетельствует о том, что практически на всем протяжении времени формирования отложений эта часть барового тела располагалась гипсометрически выше остальных частей бара и формировалась в более высокودинамичной водной среде. Песчаный материал здесь имеет преимущественно средне- и средне-мелкозернистый гранулометрический состав, накапливался при очень высокой и высокой гидродинамической активности подвижного открытого мелководья в пределах средней подзоны предфронтальной зоны пляжа.

Фации песков центральных частей трансгрессивных баров имеют более широкое площадное распространение и характеризуются сопоставимой общей толщиной (10,1–16,2 м), но уменьшенными значениями толщины песчаников (6,2–8,8 м) и песчанистости ($K_{\text{песч}}=0,52\text{--}0,65$) за счет их замещения вверх по разрезу алевритовыми и глинистыми породами.

Средне- и мелкозернистый песчаный материал осаждался в условиях очень высокой и высокой активности водной среды в средней подзоне предфронтальной зоны пляжа. В нижней подзоне предфронтальной зоны накапливались мелкозернистые пески и алевриты; в переходной зоне пляжа формировались глинистые осадки.

На юге и северо-востоке территории формировались *фации алевритов и песков склоновых частей трансгрессивных баров*. Толщина отложений здесь от 12,2 до 15,6 м, толщина песчаников снижается до 5,4–7,5 м. Песчаники тяготеют к средней части пласта и занимают менее половины объема ($K_{\text{песч}}=0,44\text{--}0,48$), подстилаются и перекрываются алевритоглинистыми и глинистыми породами. Песчаный материал накапливался преимущественно при высокой и средней динамике среды седиментации, преобладают мелкозернистые пески, среднезернистые разности встречаются периодически. Отложения характерны для нижней подзоны предфронтальной зоны пляжа.

В углубленных участках дна между барами ограниченно распространены *фации песков и алевритов межбаровых ложбин* [24] *трансгрессивных баров*. Здесь небольшая общая толщина (11,0–13,5 м) отложений обусловлена глинисто-алевритовым составом осадков, накопившихся в обстановках слабого волнения; малыми темпами седиментации, незначительным привносом песчаного материала (толщина песчаников до 2,6 м).

Верхние части разрезов, сложенные, по данным ГИС, алевролитами с прослоями песчаников и глинистых пород, керном не охарактеризованы. Аномалия ПС представлена зубчатой сильно изрезанной линией в области положительных отклонений ПС, значения $\alpha_{\text{ПС}}$ снизу вверх резко уменьшаются,

отражая быстрый спад гидродинамической активности по мере нарастания морской трансгрессии.

Учитывая общую направленность седиментогенеза и данные каротажа, можно сделать вывод, что на заключительных этапах осадконакопления происходило в переходной зоне, в условиях малоподвижного открытого мелководья. Алевритовый и глинистый материал осаждался в спокойные периоды, песчаный привносился во время штормов.

Особенности строения и условия образования глинистой пачки, перекрывающей пласт ТП₁

Перекрывающие пласт ТП₁ отложения формировались на фоне расширяющейся трансгрессии моря в условиях прогибания морского дна и удаления области седиментации от береговой линии в пределы дальнего пляжа и шельфа. Согласно [16], в раннем–среднем альбе глубина дна моря на изучаемой территории достигала 25–100 м.

Пачка представлена аргиллитоподобными однородными тонкоотмученными, горизонтально-слоистыми и слабо волнисто-слоистыми биотурбированными темно-серыми и серыми глинистыми породами. Участками они переходят в алевритоглинистое переслаивание и содержат прослои алевролитов, а в кровле – мелкозернистых песчаников. Толщина отложений (66,0–77,9 м) закономерно уменьшается с северо-востока и востока на запад (рис. 4).

Залегающие в нижних частях разрезов отложения отвечают максимуму альбской трансгрессии и отнесены к *фации глинистых осадков открытого моря* нижней части мелководного шельфа. Существенно глинистые биотурбированные осадки отлагались в пределах нижней подзоны мелководного шельфа ниже глубины воздействия штормовых волн и на ранних этапах осадконакопления распространялись повсеместно. Позднее, по мере воздымания морского дна, они продолжали накапливаться в наиболее погруженных участках в виде извилистой полосы, пересекающей площадь месторождения в субширотном направлении (рис. 4).

ЭМФ расположена в области положительных отклонений ПС ($\alpha_{\text{ПС}}$ от 0 до 0,2). Энергетический уровень среды седиментации очень низкий, гидродинамическая активность на протяжении всего периода осадконакопления практически не менялась.

Фации алевритоглинистых осадков открытого моря верхней подзоны мелководного шельфа тесно связаны с фациями глинистых осадков открытого моря, располагаясь выше по разрезу и в плане распространяясь к северо-востоку и юго-западу. Формирование отложений обусловлено инверсией морского дна, когда его прогибание сменилось подъемом и смещением области осадконакопления в верхнюю подзону мелководного шельфа.

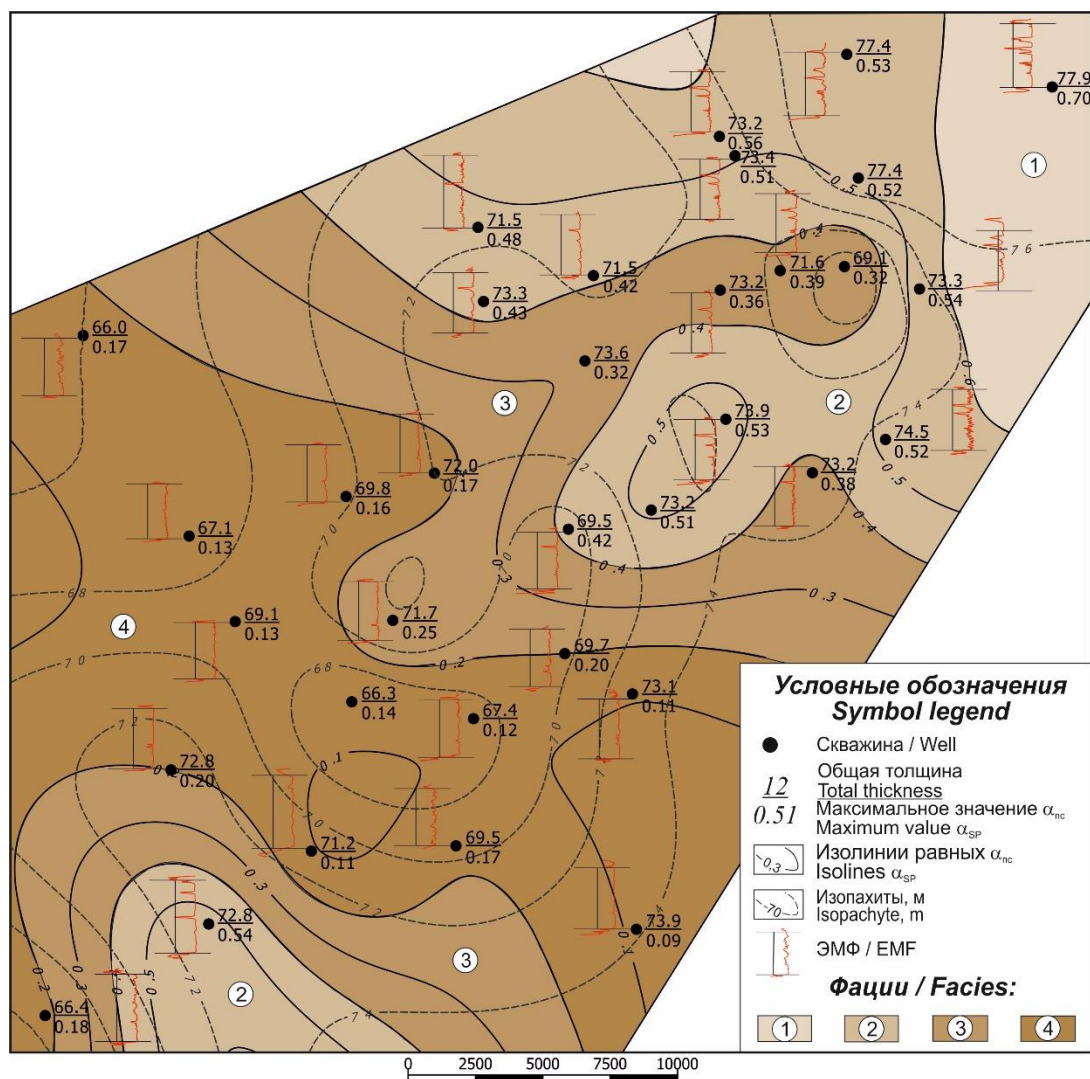


Рис. 4. Литолого-фашиальная карта глинистой пачки, перекрывающей пласт ТП₁. Фашии: 1 – песков гребней штормовых волн верхней подзоны дальнего пляжа; 2 – песков гребней штормовых волн нижней подзоны дальнего пляжа; 3 – алевритоглинистых осадков открытого моря верхней подзоны мелководного шельфа; 4 – глинистых осадков открытого моря нижней подзоны мелководного шельфа

Fig. 4. Lithofacies map of the clayey sequence overlying the TP₁ formation. Facies: 1 – storm wave sand ridges of the upper subzone of the far beach; 2 – storm wave sand ridges of the lower subzone of the far beach; 3 – offshore silty-clayey sediments of the upper subzone of the shallow shelf; 4 – offshore clayey sediments of the lower subzone of the shallow shelf

Здесь, наряду с алевритовым и глинистым материалом, накопившимся при низкой и очень низкой динамике воды штормовыми волнами, проникающими с юга и северо-востока, привносился алевритовый и мелкопесчаный материал, слагающий единичные маломощные прослои. ЭМФ практически аналогична вышеописанной, отличается большей изрезанностью боковой линии в верхней части разреза, где значения $\alpha_{ПС}$ достигают 0,39, характеризую кратковременное усиление гидродинамической активности от очень низкого до низкого уровня.

Фашии песков гребней штормовых волн нижней подзоны дальнего пляжа распространены в верхней части разрезов и приурочены к более возвышенным участкам морского дна на юге и северо-востоке

территории. Песчаные осадки неоднократно появляются в разрезе и чередуются с глинистыми и алевритовыми отложениями. ЭМФ представляет несколько треугольников в зоне отрицательных отклонений ПС ($\alpha_{ПС}$ от 0,49–0,58).

Фашии песков гребней штормовых волн верхней подзоны дальнего пляжа установлены на северо-востоке и представлены чередованием песчаных, алевритовых и глинистых осадков. ЭМФ аналогична вышеописанной, но отличается большей дифференциацией и смещением узких треугольных аномалий в область повышенных значений $\alpha_{ПС}$ (до 0,7), свидетельствующих о возрастании гидродинамической активности и менее глубоководном характере среды седиментации.

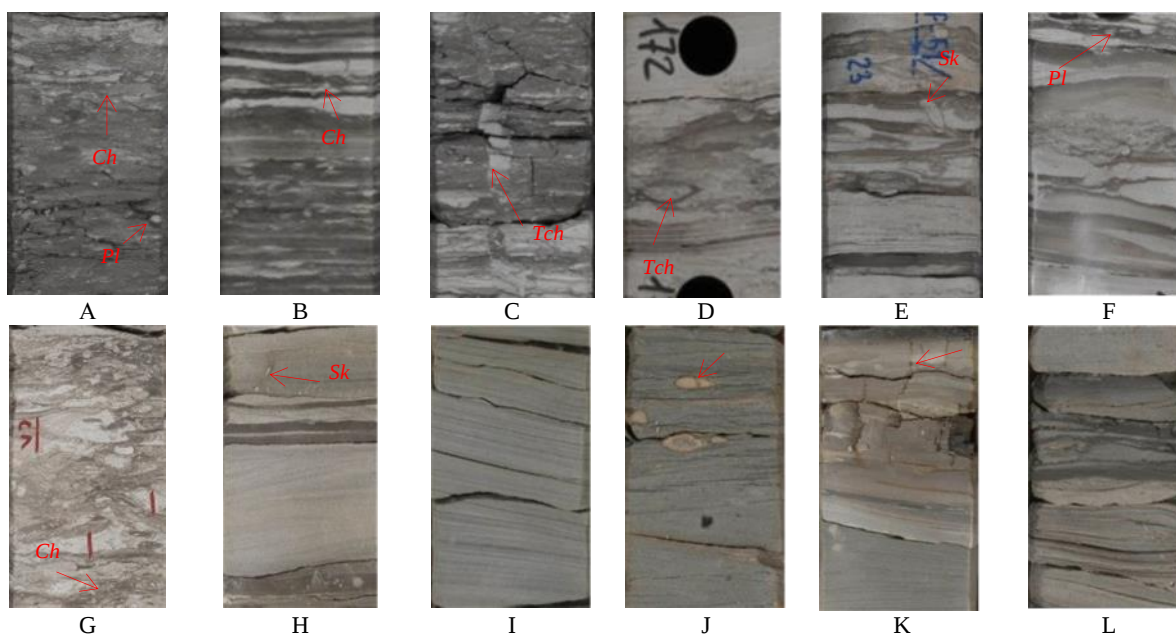
Особенности строения и условия образования отложений пласта ХМ₃

Пласт ХМ₃ имеет постепенные переходы с подстилающими глинистыми породами, отличается значительными вариациями общей толщины (от 23,3 до 42 м) и невысокими значениями песчаности ($K_{\text{песч}}$ до 0,21).

В нижней части он сложен (рис. 5, А–С) темно-серыми глинистыми породами однородными, слоистыми и слоеватыми за счёт намывов алевроитового материала, переходящими вверх по разрезу в неравномерное уплотненное линзовидно-пологоволнистое переслаивание с алевролитами. В породах отмечаются послойные намывы раковинного детрита, присутствует сыпь и мелкие стяжения пирита и очень

широко проявлена обильная и разнообразная биотурбация, вплоть до образования деформативно-биотурбированных пород с практически полностью переработанной первичной слоистостью.

Следы жизнедеятельности донных животных последовательно сменяют друг друга снизу вверх по разрезу и относятся к ихнофациям *Zoophycos* (ихнофоссилии *Phycosiphon* и *Chondrites*) и *Cruziana* (ихнофоссилии *Palaeophycus*, *Planolites*, *Teichichnus*), характерным для тиховодных участков мелководного шельфа и дальнего пляжа [11]. В целом они отвечают смене низкодинамичного глубоководья внутренним пелагическим мелководьем.



Уменьшение глубины залегания пород в разрезе
Bedrock depth decrease in the section

Рис. 5. Генетические признаки осадков регрессивного пляжа. Пласт ХМ₃. Скважина 1: А) дальний пляж, нижняя подзона. Глинистые породы с деформативно-биотурбационной текстурой и ихнофоссилиями *Planolites* и *Chondrites*; В, С) дальний пляж, верхняя подзона. Глинистые породы с прослоями и линзами алевролитов: В – волнисто-линзовидная слоистость, биотурбация *Planolites* и *Chondrites*, С – уплотненные линзы и прослои алевролитов, биотурбация *Teichichnus* и *Chondrites*; D–F) переходная зона пляжа. Переслаивание алевролитов и глинистых пород: D – следы взмучивания, биотурбация *Shaubcylindrichnus*, E – пологоволнистая слоистость, биотурбация *Skolithos*, F – косоволнистая слоистость, биотурбация *Planolites*; G – склон бара. Глинисто-алеврито-песчаные породы, деформация размыва и перемешивания осадка, биотурбация *Chondrites*; H–J) центральная часть бара. Песчаники: H – косоволнистая слоистость, биотурбация *Skolithos*, I – косая слоистость, J – косая разнонаправленная слоистость, конкреции сидерита; K, L – предфронтальная зона пляжа. Гребень бара. Переслаивание песчаного, алевроитового, глинистого и сидеритового материала: K – косая и горизонтальная слоистость, трещины усыхания, заполненные кальцитом, L – незакономерная волнисто-линзовидная слоистость, следы биотурбации

Fig. 5. Genetic traits of regressive beach sediments. KhM₃ formation. Well no. 1: A) far beach, lower subzone. Clayey rocks with deformational-bioturbation texture and *Planolites* and *Chondrites* ichnofossils; B,C) far beach, upper subzone. Clayey rocks with interlayers and lenses of siltstones: B – wavy-lenticular layering, bioturbation of *Planolites* and *Chondrites*, C – compacted lenses and interlayers of siltstones, *Teichichnus* and *Chondrites* bioturbation; D–F) transitional zone of the beach. Siltstone and clayey interlayer: D – traces of turbulence, *Shaubcylindrichnus* bioturbation, E – hollow layering, *Skolithos* bioturbation, F – oblique layering, *Planolites* bioturbation; G) bar slope. Clayey-silty-sandy rocks, scour deformation and sediment mixing, *Chondrites* bioturbation; H–J) central part of the bar. Sandstones: H – oblique layering, *Skolithos* bioturbation, I – oblique layering, J – oblique multidirectional layering, siderite nodules; K, L) shoreface. Bar ridge. Sandy, silty, clayey and siderite interlacing: K – oblique and horizontal layering, calcite-filled desiccation cracks, L – irregular wavy-lens-shaped layering, traces of bioturbation

Глинистые отложения постепенно сменяются переслаиванием глин, алевролитов и мелкозернистых песчаников с прослоями глинистых пород (рис. 5, D–F), с образованием полого- и косоволнистой разнонаправленной срезанной слоистости, нарушенной размывом, взмучиванием и биотурбацией типа *Planolites*, *Skolithos*, *Shaubcylindrichnus*. Отложения накапливались в переходной зоне пляжа в условиях малоподвижного открытого мелководья.

Распространенные выше породы, в которых глинистая, алевролитовая и мелкопесчаная составляющие находятся в переменных соотношениях (рис. 5, G), имеют смешанный литологический состав. Текстура пород беспорядочная за счет размыва, перемешивания и переотложения осадка и биотурбационная: в глинистом материале присутствуют ихнофоссилии типа *Chondrites*. Осадки накапливались в нижней подзоне предфронтальной зоны пляжа и характерны для склоновых частей баров.

Выше по разрезу распространены песчаники: в подошве они мелкозернистые алевролитовые с тонкой горизонтальной, пологоволнистой и бугорчатой слоистостью; вверх по разрезу – мелкозернистые однородные; в кровле – средне-мелкозернистые с полого-наклонной и косой разнонаправленной срезанной слоистостью за счет намывов глинистого материала, тонко распыленно-го углефицированного растительного детрита.

В песчаниках отмечается присутствие мелкого и крупного раковинного детрита, редкие ихнофоссилии *Chondrites* и *Skolithos*, сыпь и конкреции сидерита (рис. 5, H–J). Закономерное увеличение зернистости песчаников снизу вверх по разрезу обусловлено возрастанием гидродинамической активности среды седиментации с течением времени до относительно высокого уровня и характерно для вдольбереговых регрессивных песчаных баров, формирующихся в условиях подвижного открытого мелководья предфронтальной зоны пляжа.

Песчаники перекрываются (рис. 5, K, L) глинистыми и сидерит-глинистыми породами с горизонтальной и пологоволнистой слоистостью и короткими субвертикальными трещинами усыхания, заполненными глинистым материалом и кальцитом, и закономерным линзовидно-волнистым переслаиванием песчаного, алевролитового и глинистого материала со следами биотурбации типа *Chondrites* и *Planolites*. Эти генетические признаки свидетельствуют о накоплении осадков в условиях периодически осушаемой и заливаемой суши при выходе бара на дневную поверхность в область нижнего пляжа.

Таким образом, для отложений пласта ХМ₃ типична хорошо выраженная регрессивная вертикальная последовательность от глинистых осадков мелководного шельфа и дальней зоны пляжа до сидерит-глинистых осадков нижнего пляжа. Гео-

химическая обстановка с течением времени менялась от застойной восстановительной (индикатор-пирит) до слабо насыщенной кислородом (индикатор-сидерит).

По данным ГИС пласт ХМ₃ характеризуется явно выраженным двучленным строением: в нижней его части распространены более мелкозернистые глинисто-алевритовые породы с прослоями песчаников, накопившиеся в зоне волнения мелководно-морского бассейна; в верхней – алевролиты и песчаники прибрежной полосы моря. Они отнесены к фациям, формирующимся в пределах дальнего пляжа, переходной, предфронтальной зон пляжа, нижнего пляжа профиля побережья.

Фации песков гребневых частей регрессивных баров сформированы в предфронтальной зоне пляжа, а их выходящие на поверхность верхние части – в пределах нижнего пляжа. Отложения распространены локально и тяготеют к восточной окраине месторождения (рис. 6). Общая их толщина 26,2–34,6 м, толщина песчаников 5,3–6,9 м, $K_{\text{песч}} = 0,16–0,21$.

ЭМФ представляет собой треугольник, расположенный в зоне отрицательных отклонений ПС с максимальным отклонением в верхней части аномалии (значения $\alpha_{\text{ПС}}$ варьируют от 0,64 до 0,7). Кровельная линия горизонтальная, подошвенная наклонная, осложненная зубчатостью. Увеличение размерности обломочного материала и уменьшение глинистости вверх по разрезу обусловлено динамическими условиями накопления отложений и указывает на увеличение активности водной среды в конечный этап формирования отложений до высокого уровня.

Фации песков центральных частей регрессивных баров оконтуривают гребневые части баров и протягиваются субмеридиональной полосой с юго-запада на северо-восток. ЭМФ представляет собой отрицательную аномалию в форме треугольника с максимальным значением $\alpha_{\text{ПС}}$ в кровельной части пласта. Общая толщина отложений 25,7–42,0 м; толщина песчаников 2,7–4,4 м; $K_{\text{песч}} = 0,09–0,15$. Формирование отложений осуществлялось в условиях средней и высокой гидродинамической активности ($\alpha_{\text{ПС}} = 0,57–0,72$).

Фации алевролитов и песков склонов регрессивных баров распространяются к северо-западу от фаций центральных частей баров. ЭМФ представляет собой отрицательную аномалию в форме треугольника с наклонной сильно изрезанной подошвенной линией и преимущественно горизонтальной кровельной. Максимальные значения $\alpha_{\text{ПС}}$ достигают 0,57–0,6. Общая толщина отложений 25,4–35,3 м; толщина песчаников 0,5–2,7 м; коэффициент песчаности 0,02–0,1. Формирование осадков осуществлялось в условиях постоянной смены гидродинамической активности среды от низкого до высокого уровня.

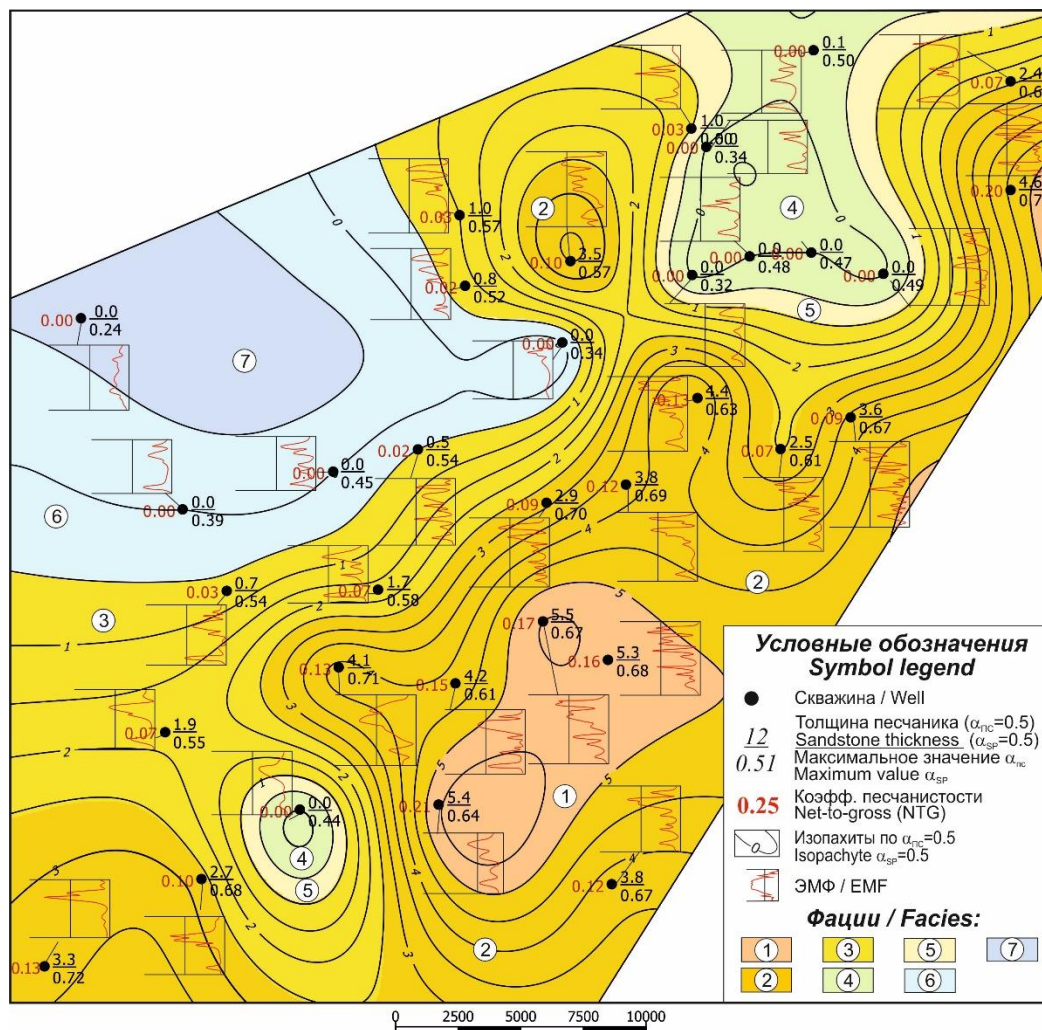


Рис. 6. Литолого-фашиальная карта отложений пласта ХМз. Фашии предфронтальной зоны пляжа: 1 – песков гребневых частей регрессивных баров; 2 – песков центральных частей регрессивных баров; 3 – алевритов и песков склонов регрессивных баров; 4 – глинисто-алееритовых осадков межбаровых ложбин; 5 – песчано-алееритовых осадков подножий регрессивных баров. Фашии переходной зоны пляжа: 6 – глинисто-алееритовых осадков малоподвижного открытого мелководья. Фашии дальней зоны пляжа: 7 – алеврито-глинистых осадков внутреннего пелагического мелководья

Fig. 6. Lithofacies map of the KhMz formation. Facies of the shoreface: 1 – sand ridges of regressive bars; 2 – sands of central parts of regressive bars; 3 – siltstones and sands of regressive bar slopes; 4 – clay-siltstones of inter-bar basins; 5 – sandy-siltstones of regressive bar bottoms. Facies of the transitional beach zone: 6 – clay-siltstone sediments of slow-moving open shallow waters. Facies of the far beach zone: 7 – silty-clayey sediments of inland pelagic shallow waters

Фашии глинисто-алееритовых осадков межбаровых ложбин распространены локально. Общая толщина пласта составляет 28,5 м. ЭМФ находится в зоне отрицательных отклонений и отражает неравномерную смену гидродинамических уровней по всему разрезу от очень низкого и низкого до среднего. Максимальное отклонение кривой ПС характерно для верхней части аномалии ($\alpha_{nc}=0,5$).

Фашии песчано-алееритовых осадков подножий регрессивных баров опоясывают склоновые части баровых тел и формируются в нижней подзоне предфронтальной зоны пляжа. Общая толщина отложений от 23,3 до 36,1 м обусловлена главным образом распространением алевритоглинистых

осадков. Мелкозернистые песчаники образуют маломощные пропластки толщиной до 0,6 м. Аномалия ПС представляет сильно изрезанную, осложненную узкими пикообразными треугольниками линию. Значения α_{nc} , равные 0,32–0,5, указывают на формирование отложений в условиях относительно низкой гидродинамики среды седиментации, временами резко возрастающей до среднего уровня.

Фашии глинисто-алееритовых осадков малоподвижного открытого мелководья представлены локально узкой полосой на северо-западе. Общая толщина отложений составляет 24,7–26,4 м. Электрометрическая модель фашии представлена соче-

танием узких треугольных отрицательных аномалий ПС, разделенных положительными аномалиями. Осадконакопление осуществлялось в условиях относительно неустойчивого гидродинамического режима с очень низкой и средней активностью (значения $\alpha_{\text{ПС}}$ 0,34–0,45).

Фашии алевритоглинистых осадков внутреннего пелагического мелководья распространены на северо-западе. Здесь в условиях низкой и очень низкой динамики водной среды ($\alpha_{\text{ПС}}$ до 0,24) накапливались существенно глинистые отложения, толщина которых в разрезе достигает 30,7 м. Электрометрическая модель этих отложений представляет собой слабо изрезанную линию, расположенную в зоне положительных отклонений ПС.

Заключение

В ходе исследований установлено, что в северной части полуострова Ямал в позднеапт–раннеальбское время накопление осадочного материала осуществлялось на фоне колебательных движений морского дна и отразилось в чередовании в разрезе трансгрессивных и регрессивных серий осадков.

В конце апта территория испытывала прогибание, и с трансгрессивным этапом осадконакопления связано формирование пласта ТП₁ танопчинской свиты. На начальных этапах область осадконакопления располагалась в пределах предфронтальной зоны пляжа мелководно-морского бассей-

на, а по мере возрастания трансгрессии сместилась в переходную зону пляжа. Песчаный материал накапливался в гребневых и центральных частях баров и барьерных островов; на склонах баров осаждался мелкозернистый песок и алеврит. По мере углубления морского дна песчаные осадки постепенно сменялись на алевритовые и алевритоглинистые.

Максимальному прогибанию морского дна в раннем альбе отвечает глинистая пачка, разделяющая пласты ТП₁ и ХМ₃. Слагающие ее алевритоглинистые и глинистые отложения распространены повсеместно и накапливались в пределах дальнего пляжа и мелководного шельфа. С инверсией бассейна и начавшимся подъемом морского дна на заключительных этапах седиментации связано формирование маломощных песчаных тел, материал которых приносился штормовыми волнами.

В регрессивный этап осадконакопления в прибрежно-морских условиях накапливались осадки пласта ХМ₃. Песчаные отложения формировались в пределах нижнего пляжа и предфронтальной зоны пляжа и приурочены к вдольбереговым регрессивным барам: их гребневым, центральным, склоновым частям, в меньшей степени – к подножиям. Глинисто-алеовитовые и алевритоглинистые осадки осаждались в условиях малоподвижного открытого и внутреннего пелагического мелководья переходной и дальней зоны пляжа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Люгай Д.В., Соин Д.А., Скоробогатько А.Н. Особенности нефтегазоносности полуострова Ямал в связи с оценкой перспектив южной части Карского моря // Вести газовой науки. Проблемы ресурсного обеспечения газодобывающих районов России. – 2013. – № 3 (31). – С. 29–35.
2. Роль сырьевой базы в обеспечении основных направлений хозяйственной деятельности полуострова Ямал и прилегающей акватории / А.Н. Гумерова, М.А. Лобусев, А.В. Лобусев, А.В. Бочкарев // Вести газовой науки. Проблемы ресурсного обеспечения газодобывающих районов России. – 2023. – № 1 (53). – С. 137–147.
3. Перспективы геологоразведочных работ на севере полуострова Ямал. Малыгинский лицензионный участок / Т.В. Сопнев, А.С. Кулинченко, О.А. Молчанов, М.Ю. Сафронов, А.И. Городов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2023. – № 12 (384). – С. 11–15.
4. Извеков И.Б. Современная нефтегазовая геостатистика Ямало-Карского и Гыдано-Енисейского регионов Западной Сибири (в связи с прогнозом новых открытий на суше и шельфе) // Вести газовой науки. Проблемы ресурсного обеспечения газодобывающих районов России. – 2023. – № 1 (53). – С. 82–97.
5. Смирнов О.А., Бородкин В.Н. Оценка перспектив нефтегазоносности апт-альб-сеноманского комплекса полуострова Ямал севера Западной Сибири на базе сейсморазведки 2D // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2022. – Т. 17. – № 4. URL: http://www.ngtp.ru/rub/2022/47_2022.html (дата обращения 15.01.2025).
6. Алексеев В.П. Литолого-фациальный анализ. – Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2002. – 147 с.
7. Алексеев В.П. Литологические этюды. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2006. – 149 с.
8. Ян П.А., Вакуленко Л.Г. Смена состава ихнофоссилий в келловей-оксфордских отложениях Западно-Сибирского бассейна как отражение цикличности седиментогенеза // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52. – № 10. – С. 1517–1537.
9. Mikulas R., Dronov A. Paleocnology – introduction to the study of trace fossils. – Czech Republic: Institute of geology, Academy of Sciences of Czech Republic, 2006. – 122 p.
10. Trace fossils as indicators of sedimentary environments. Developments in Sedimentology / Eds. D. Knaust, R.G. Bromley. – Amsterdam: Elsevier, 2012. – Vol. 64. – 960 p.
11. Technology and sedimentology of shallow and marginal marine systems: Ben Nevis and Avalon Reservoirs, Jeanne D'Arc Basin, St. Johns, Newfoundland, Geological Association of Canada / S.G. Pemberton, M.V. Spila, A.J. Pulham, T. Saunders, J.A. MacEachern, D. Robbins, I. Sinclair // Short Course Notes. – 2002. – Vol. 15. – 353 p.
12. Pemberton S.G., MacEachern J.A., Frey R.W. Trace fossil facies models: environmental and allostratigraphic significance. Facies Models: Response to Sea Level Change / Eds. R.G. Walker, N.P. James. – Canada: Geological Association of Canada, St. John's, 1992. – P. 47–72.

13. Ichnology and facies models / J.A. MacEachern, S.G. Pemberton, M.K. Gingras, K.L. Bann // *Facies Models I* / Eds. N.P. James, R.W. Dalrymple. – Canada: Geological Association of Canada, 2010. – P. 19–58.
14. Seilacher A. Bathymetry of trace fossils // *Marine Geology*. – 1967. – Vol. 5. – № 5/6. – P. 413–428.
15. Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в меловом периоде / А.Э. Конторович, С.В. Ершов, В.А. Казаненков, Ю.Н. Карогодин и др. // *Геология и геофизика*. – 2014. – Т. 55. – № 5–6. – С. 745–776.
16. Седиментологическая модель меловых отложений полуострова Ямал на базе комплекса геолого-геофизических исследований / В.Н. Бородин, О.А. Смирнов, А.В. Лукашов, А.Г. Плавник, А.А. Тепляков // *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, 2022. – Т. 17. – № 1. URL: http://www.ngtp.ru/rub/2022/6_2022.html (дата обращения 15.01.2025).
17. Кислухин И.В. Особенности геологического строения и нефтегазоносность юрско-неокомских отложений полуострова Ямал. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. – 116 с.
18. Обстановки осадконакопления и фации: в 2-х т. Т. 1 / пер. с англ. под ред. Х. Рединга – М.: Мир, 1990. – 352 с.
19. Рейнек Г.-Э., Сингх И.Б. Обстановки терригенного осадконакопления (с рассмотрением терригенных кластических осадков) / пер. с англ. – М.: Недра, 1981. – 439 с.
20. Selley R.C. *Ancient Sedimentary Environments*. – London: Chapman & Hall Ltd., 1970. – 273 p.
21. Муромцев В.С. Электрометрическая геология песчаных тел – литологических ловушек нефти и газа. – Л.: Недра, 1984. – 260 с.
22. Петерсилье В.И., Порожун В.И., Яценко Г.Г. Методические рекомендации по подсчету геологических запасов нефти и газа объемным методом. – М.; Тверь: ВНИГНИ, НИЦ «Тверьгеофизика», 2003. – 258 с.
23. Emery K.O. *The sea off Southern California*. – New York: John Wiley & Sons, Inc., 1966. 366 p.
24. Вакуленко Л.Г., Дульцева О.В., Бурлев О.В. Строение и обстановки формирования васюганского горизонта (верхи бата-оксфорд) на территории Александровского свода (Западная Сибирь) // *Геология и геофизика*. – 2011. – Т. 52. – № 10. – С. 1538–1556.

Информация об авторах

Наталья Михайловна Недоливко, кандидат геолого-минералогических наук, доцент отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30; nedolivko@tpu.ru

Татьяна Геннадьевна Перевертайло, кандидат геолого-минералогических наук, доцент отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30; ptg@tpu.ru

Поступила в редакцию: 27.01.2025

Поступила после рецензирования: 13.02.2025

Принята к публикации: 03.03.2025

REFERENCES

1. Lyugay D.V., Soin D.A., Skorobogatko A.N. Features of oil-gas-bearing capacity of Yamal peninsular in respect to estimation of prospects for a southern part of Kara Sea. *Vesti Gazovoy Nauki. Gazprom VNIIGAZ, Resource support problems of Russian oil-producing regions*, 2013, no. 3 (31), pp. 29–35. (In Russ.)
2. Gumerova A.N., Lobusev M.A., Lobusev A.V., Bochkarev A.V. The role of the raw material base in providing the main directions of economic activity of the Yamal peninsula and the adjacent water area. *Vesti Gazovoy Nauki. Gazprom VNIIGAZ, Resource support problems of Russian oil-producing regions*, 2023, no. 1 (53), pp. 137–147. (In Russ.)
3. Sopnev T.V., Kulinchenko A.S., Molchanov O.A., Safronov M.U., Gorodov A.I. Prospects for geological exploration in the north of the Yamal peninsula. Malyginskiy license area. *Geology, geophysics and development of oil and gas fields*, 2023, no. 12 (384), pp. 11–15. (In Russ.)
4. Izvekov L.V. State-of-the-art petroleum-and-gas geostatistics for Yamal-Kara and Gydan-Yenisey regions of Western Siberia (following prediction of new onshore and offshore discoveries). *Vesti Gazovoy Nauki. Gazprom VNIIGAZ, Resource support problems of Russian oil-producing regions*, 2023, no. 1 (53), pp. 82–97. (In Russ.)
5. Sмирнов О.А., Бородин В.Н. Assessment of prospects for petroleum bearing Aptian-Albian-Cenomanian strata of the Yamal peninsula-north of Western Siberia, on the basis of 2D seismic survey. *Petroleum Geology. Theoretical and Applied Studies*, 2022, vol. 17, no. 4. (In Russ.) Available at: http://www.ngtp.ru/rub/2022/47_2022.html (дата обращения 15.01.2025).
6. Alekseev V.P. *Lithofacies analysis*. Ekaterinburg, Ural Academy of Mining & Geology Publ., 2003. 147 p. (In Russ.)
7. Alekseev V.P. *Lithological studies*. Ekaterinburg, UGMU Publ. house, 2006. 149 p. (In Russ.)
8. Yan P.A., Vakulenko L.G. Changing ichnofossils composition in the collovian-oxfordian sediments of the West Siberian basin as a reflection of sedimentation cyclicity. *Geology and geophysics*, 2011, vol. 52, no. 10, pp. 1517–1537. (In Russ.)
9. Mikulas R., Dronov A. *Paleoicnology. Introduction to the study of trace fossils*. Czech Republic, Institute of geology, Academy of Sciences of Czech Republic, 2006. 122 p.
10. Trace fossils as indicators of sedimentary environments. *Developments in Sedimentology*. Eds. D. Knaust, R.G. Bromley. Amsterdam, Elsevier, 2012. Vol. 64, 960 p.
11. Pemberton S.G., Spila M.V., Pulham A.J., Saunders T., MacEachern J.A., Robbins D., Sinclair I. Ichnology and sedimentology of shallow and marginal marine systems: Ben Nevis and Avalon Reservoirs, Jeanne D'Arc Basin. *Short Course Notes*. St. Johns, Newfoundland, Geological Association of Canada, 2002, vol. 15, 353 p.
12. Pemberton S.G., MacEachern J.A., Frey R.W. Trace fossil facies models: environmental and allostratigraphic significance. *Facies Models: Response to Sea Level Change*. Eds. R.G. Walker, N.P. James. St. John's, Canada, Geological Association of Canada, 1992. pp. 47–72.

13. MacEachern J.A., Pemberton S.G., Gingras M.K., Bann K.L. *Ichnology and facies models. Facies Models I*. Eds. N.P. James, R.W. Dalrymple. Canada, Geological Association of Canada, 2010. pp. 19–58.
14. Seilacher A. Bathymetry of trace fossils. *Marine Geology*, 1967, vol. 5, no. 5/6, pp. 413–428.
15. Kontorovich A.E., Ershov S.V., Kazanenko V.A., Karogodin Yu.N. Paleogeography of the West Siberian sedimentary basin in the Cretaceous. *Geology and Geophysics*, 2014, vol. 55, no. 5–6, pp. 745–776. (In Russ.)
16. Borodkin V.N., Smirnov O.A., Lukashov A.V., Plavnik F.G., Teplyakov A.A. Sedimentological model of the cretaceous strata of the Yamal peninsula of the basis of composite geological and geophysical investigation. *Petroleum Geology. Theoretical and Applied Studies*, 2022, vol. 17, no. 1. (In Russ.) Available at: http://www.ngtp.ru/rub/2022/6_2022.html (дата обращения 15.01.2025).
17. Kislukhin I.V. *Features of the geological structure and oil and gas potential of the Jurassic-Neocomian deposits of the Yamal Peninsula*. Tyumen, TyumGNGU Publ., 2012. 116 p. (In Russ.)
18. *Sedimentation environments and facies*. Ed. by H. Reding. Translated from English. Moscow, Mir Publ., 1990. Vol. 1, 352 p. (In Russ.)
19. Reineck G.-E., Singh I.B. *Environments of terrigenous sedimentation (with consideration of terrigenous clastic sediments)*. Translated from English. Moscow, Nedra Publ., 1981. 439 p. (In Russ.)
20. Selley R.C. *Ancient sedimentary environments*. London, Chapman & Hall Ltd., 1970. 273 p.
21. Muromtsev V.S. *Electrometric geology of sand bodies – lithological traps of oil and gas*. Leningrad, Nedra Publ., 1984. 259 p. (In Russ.)
22. Petersilie V.I., Poroskun V.I., Yatsenko G.G. *Methodical recommendations for calculating geological reserves of oil and gas by the volumetric method*. Moscow, Tver, VNIGNI, NPC "Tvergeofizika" Publ., 2003. 258 p. (In Russ.)
23. Emery K.O. *The sea off Southern California*. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1966. 366 p.
24. Vakulenko L.G., Dultseva O.V., Burleva O.V. Structure and depositional environment of the Vasyugan horizon (upper Bathonian-Oxfordian) in the Aleksandrovskoe arch area (West Siberia). *Geology and Geophysics*, 2011, vol. 52, no. 10, pp. 1531–1556. (In Russ.)

Information about authors

Natalya M. Nedolivko, Cand. Sc., Associate Professor, National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation; nedolivko@tpu.ru

Tatyana G. Perevertaylo, Cand. Sc., Associate Professor, National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation; ptg@tpu.ru

Received: 27.01.2025

Revised: 13.02.2025

Accepted: 03.03.2025