

УДК 552.143

## ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ВЕРХНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ Т

Бегма Дмитрий Сергеевич<sup>1</sup>,  
dsbegma@mail.ru

Белкина Валентина Александровна<sup>1</sup>,  
belkina@tsogu.ru

<sup>1</sup> Тюменский индустриальный университет,  
Россия, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38.

Актуальность работы предопределена тем, что практически все геологические задачи решаются на основе моделей, точность которых заметно повышается при использовании седиментологической составляющей. Седиментологические факторы контролируют условия формирования, размещение и качество резервуара и покрышек. Это означает, что учет седиментологических моделей повышает эффективность геологоразведочных работ на нефть и газ, в частности подготовку залежей к разработке и их эксплуатационному разбурированию.

**Цель работы:** обоснование седиментологической модели формирования отложений пород пласта Ю<sub>3</sub><sup>а</sup> (песчаники верхнеюрских отложений) газоконденсатного месторождения Т (Ямало-Ненецкий АО) по керну двух скважин.

**Методы исследования:** методы литологического анализа состава горных пород, разделения горных пород по литологическим характеристикам на литотипы, фациального анализа, комплексного анализа литолого-петрофизических данных.

**Результаты.** На основе анализа ядерного материала выделено 6 литотипов и 6 обстановок осадконакопления (фаций) отложений продуктивного пласта Ю<sub>3</sub><sup>а</sup> месторождения Т. Литотипы значительно различаются по фильтрационно-ёмкостным свойствам. Выделенные литотипы объединены в более крупные седиментационные комплексы – фациальные ассоциации, отвечающие более крупным по масштабу осадочным системам. Комплекс выделенных ассоциаций в пределах изучаемого пласта месторождения Т позволил обосновать седиментологическую модель формирования отложений. Отложения пласта Ю<sub>3</sub><sup>а</sup> накапливались в обстановке барьерно-островного комплекса в условиях сноса материала с запада на восток. Показано, что наилучшими фильтрационно-ёмкостными свойствами обладают литотипы 3 и 4, а наихудшими – литотип 1. Отложения литотипа 3 формировались в условиях отливной дельты морского устья приливно-отливной протоки, а литотипа 4 – в мелководно-морской обстановке трансгрессивного пляжа, в условиях умеренной активности волновых процессов.

### Ключевые слова:

Литотип, фация, седиментологические модели, прибрежно-морские фации, барьерно-островной комплекс, верхнеюрские отложения.

### Введение

Основные разведанные запасы нефти и газа Западной Сибири приурочены к меловым и верхнеюрским отложениям, которые всё ещё остаются не до конца изученными. Большое число месторождений данной провинции находится на стадии поздней разработки, прирост запасов существенно отстаёт от добычи. В этих условиях активно ведётся поиск и разведка. Для повышения эффективности разработки месторождений и создания стратегии поиска и разведки необходима качественная геологическая основа (модель), которая может быть получена только на основе комплексирования всего объема геолого-технической информации с различным диапазоном точности и адекватного научно-технического подхода.

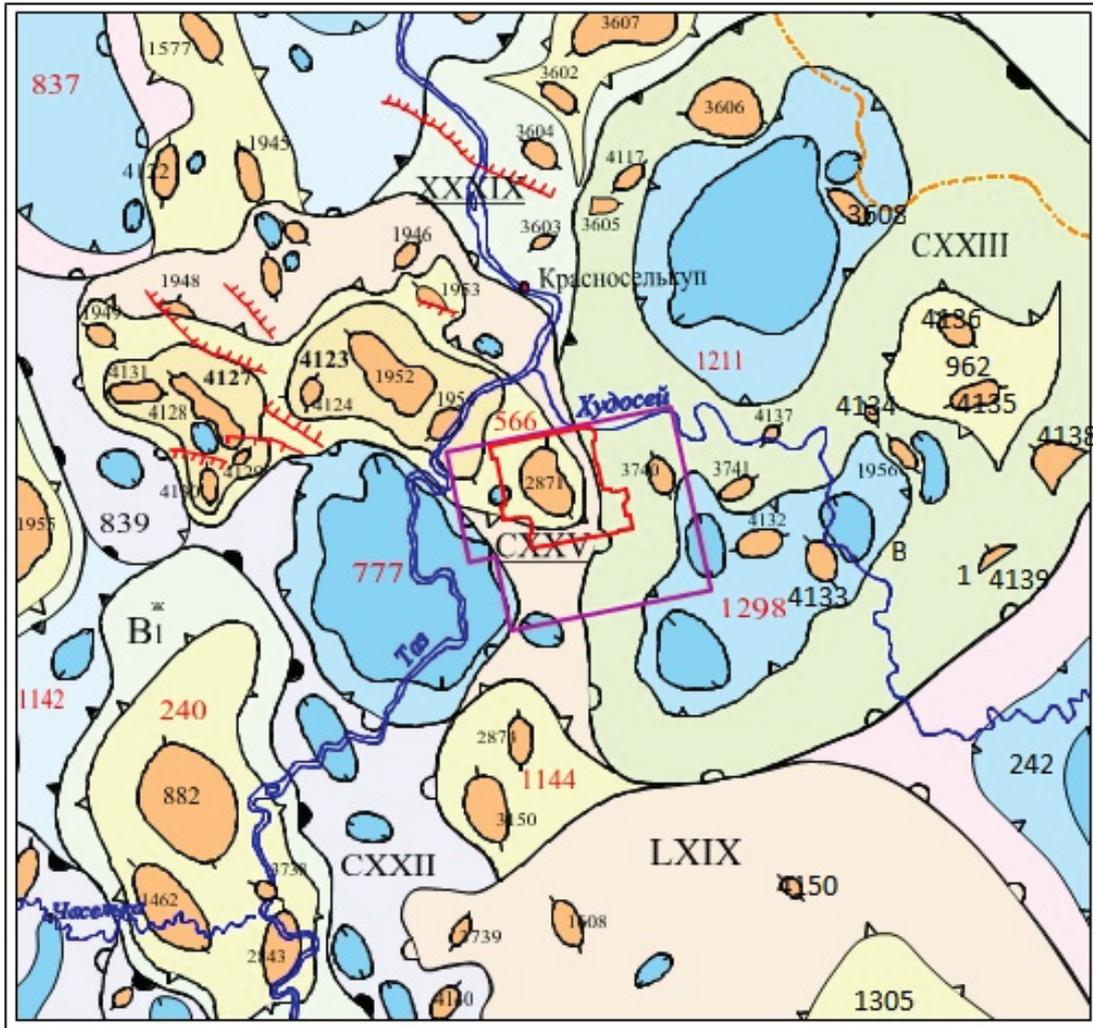
Детализация геологического строения продуктивных пластов приобретает особую значимость на этапе проектирования разработки месторождений, что повышает эффективность их разработки: геологические объекты целесообразно рассматривать не как единое целое, а выделять в них составные части для выбора приоритетных объектов и стратегии разработки. Данный подход позволяет, например, определить оптимальное количество скважин (в том числе их размещение) для наиболее эффек-

тивной выработки запасов, уменьшить неопределенности, связанные с геологическим строением, а также прогнозировать зоны с наиболее высокими фильтрационно-ёмкостными свойствами (ФЕС). Детальные трёхмерные геологические модели на основании комплекса геолого-геофизической информации являются надёжным инструментом для решения этих задач.

Базисом построения корректной цифровой трёхмерной геологической модели является концептуальная модель (КМ). КМ даёт формализованные представления о геологическом строении объекта (стратиграфия, тектоника, генезис отложений, морфология и закономерности изменения ФЕС), положенные в основу геологической модели [1, 2].

Построение концептуальной модели предваряет литолого-фациальный анализ, который требует проведения:

- детального анализа структурных и текстурных особенностей;
- анализа гранулометрического состава осадков: размера зёрен, их формы и окатанности, структуры поверхности. Эти параметры отражают динамику и способ переноса осадков и, в значительной степени, условия отложений.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ  
 Контуры структур

-  B1 - Субрегиональных (внешнего пояса мегасинеклизы, мегатеррасы)
-  B1\* - I порядка - крупных (поясов мегавалов, поясов мегапрогибов и т.д.)
-  LXIX - I порядка - средних и малых (впадин, мегавалов, мегапрогибов, моноклиналей и т.д.)
-  XXXIX - II порядка - крупных (валов, прогибов, малых моноклиналей, мелоседловин и т.д.)
-  566 - II порядка средних и малых (малых валов, малых прогибов, куполовидных поднятий и др.)
-  4123 - III порядка - крупных куполов, крупных брахиантиклиналей и т.п.
-  1462 - III порядка средних и мелких и IV порядка (локальных структурных носов и др.)
-  - границы Термокарстового л.у.
-  - рамка работ 3D
-  - Дизъюнктивные нарушения

**Рис. 1.** Фрагмент тектонической карты мезозойско-кайнозойского ортоплатформенного чехла Западно-Сибирской геосинеклизы (В.С. Бочкарев, 1990)

**Fig. 1.** Fragment of Mesozoic-Cenozoic tectonic map of the West Siberian Orthoplatform cover geosyncline (V.S. Bochkarev, 1990)



Объект исследования – песчаники верхнеюрских отложений Т лицензионного участка. Т газоконденсатное месторождение расположено в Ямало-Ненецком АО в пределах крупной антиклинальной структуры. Оно приурочено к одноимённому локальному поднятию Пур-Тазовской НГО Западно-Сибирской НПП, является многопластовым: продуктивными и потенциально продуктивными здесь являются горизонты, начиная с тюменской свиты и стратиграфически выше вплоть до отложений нижнемелового возраста. В тектоническом отношении Т лицензионный участок расположен в Надым-Тазовской синеклизе (структура I порядка) в зоне сочленения структур II порядка: Нижнехудосейской малой впадины и Западно-Красноселькупского крупного вала (рис. 1). Термокарстовое поднятие осложняет Тычельско-Западно-Красноселькупский малый вал. В пределах участка выделяется также Восточно-Термокарстовое поднятие, осложняющее Нижнехудосейскую малую впадину.

Седиментологическое изучение верхнеюрских отложений проведено по керну двух скважин 211 (вынос керна 97,3 %) и 207 (вынос керна 100 %) Т месторождения. Обе скважины пробурены в куполе залежи. В скважине 207, с высоким процентом выноса керна, вскрыты алеврито-песчаные отложения пласта Ю<sub>1</sub><sup>а(1)</sup>. Суммарная толщина разреза, изученного по керну скважины 207, составляет 61,09 м (99,57 %). В скважине 211 с отбором керна вскрыты алеврито-песчаные отложения стратиграфического разреза в объеме продуктивных пачек Ю<sub>1</sub><sup>а</sup>, Ю<sub>1</sub><sup>а(1)</sup>, Ю<sub>1</sub><sup>1</sup>, Ю<sub>1</sub><sup>2</sup>, Ю<sub>2</sub><sup>0</sup>. Суммарная толщина разреза, изученного по керну из скважины 211, составляет 116,8 м (97,4 %).

Согласно региональным исследованиям А.Э. Конторовича, М.Я. Рудкевича, И.И. Нестерова и др. формирование верхнеюрских отложений происходило в прибрежно-морской обстановке в условиях сноса материала с запада на восток (рис. 2).

На основе полученных данных, керновый материал систематизирован по фаціальным признакам с выделением 6 литотипов и 6 обстановок осадконакопления (фаций). Седиментологическое описание керна по скважинам 207 и 211 выполнено А. Лопатиным, К. Зверевым и др. (2014 г.). В настоящей работе изложены результаты седиментологического анализа пород пачки Ю<sub>1</sub><sup>а</sup>. На Т площади кровля пласта Ю<sub>1</sub><sup>а</sup> совпадает с кровлей сивговской свиты. В целом породы-коллекторы представлены песчаниками зеленовато-серыми и алевритами, содержащими прослойки глауконитовых глин и остатки морской фауны: следы аммонитов, ядра двустворок, ростры белемнитов. Отмечается пирит, пиритизированные водоросли и редкий растительный детрит. Пласт имеет эффективные толщины до 15–20 м. К кровле свиты (пласт Ю<sub>1</sub><sup>а</sup>) приурочен отражающий горизонт Б<sub>20</sub>.

### Характеристика литотипов

**Литотип 1** сложен однородными интенсивно биотурбированными темно-серыми алевритами, местами с линзами тонкозернистого песчаника с низкоамплитудной волновой рябью (рис. 3, а). Далее А.О. означает абсолютная отметка. Встречаются единичные ростры белемнитов, створки раковин, целые раковины двустворчатых моллюсков в прижизненном захоронении. Биотурбационные текстуры характеризуются умеренным разнообразием с преобладанием наклонно и горизонтально ориентированных ходов морских червей и мелких ракообразных (*Asterosoma*, *Chondrites*, *Rosselia*, *Terebellina*, *Phycosiphon*) [4–11].

Преобладающая гранулометрическая фракция для этого литотипа алевритовая мелкозернистая (рис. 4, а). Сортировка обломочного материала плохая ( $S_0=2,16$ ). Значения открытой пористости варьируют от 7,9 до 12,9 %, в среднем 10,9 % ( $n=18$ ). Проницаемость не превышает 0,4 мД.

Глинисто-алевоитовый состав пород литотипа 1, высокая степень их биотурбационной переработки, присутствие остатков морской макрофауны, а также песчаных линз с низкоамплитудной волновой рябью свидетельствуют о накоплении в нормальных морских условиях на уровне среднего базиса штормовых волн в обстановке проксимальной части дальней зоны подводного берегового склона регрессивных и трансгрессивных береговых линий, характеризующейся относительно низкой динамикой волновых процессов. Невысокие скорости седиментации способствовали заселению субстрата бентосными организмами и его биотурбации с полным разрушением первичных осадочных текстур.

**Литотип 2** сложен мелко- и крупно-косослоистыми мелкозернистыми песчаниками. Косослоистое строение песчаников подчеркивается присутствием в них относительно немногочисленных глинистых слойков, большинство из которых имеет сдвоенное строение (рис. 3, б). Толщина крупно-косослоистых серий 0,1–0,4 м. Максимальный угол падения передовых слойков 18–22°. Ходы бентосных организмов отсутствуют или представлены редкими следами бегства (*Fugichnia*) и единичными ходами червей.

По результатам гранулометрического анализа породы представлены песчаниками тонко-мелкозернистыми, алевритистыми ( $n=37$ ) (рис. 4, а). Сортировка обломочного материала от хорошей до плохой (что, по-видимому, объясняется попаданием глинистых прослоев в пробу). Среди вторичных преобразований наиболее широко развита регенерация кварца и эпигенетическое расширение открытых пор, обусловленное частичным растворением неустойчивых обломочных компонентов. Значения открытой пористости изменяются в пределах 5,1–19,7 %, составляя в среднем 13 %. Проницаемость изменяется в широких пределах: от

0,04 до 161,2 мД. Наибольшей проницаемостью обладают отложения, сформировавшиеся в обстановке подводного речного русла с влиянием приливов и приливо-отливной протоки. Невысокие

значения проницаемости зафиксированы в основном в породах с карбонатным цементом. Низкая сообщаемость открытых пор обусловлена высоким содержанием обломков как алевритовой, так и

		
<p><i>a/a</i></p> <p>Литотип 1. Интенсивно биотурбированный глинистый алеврит. Строение породы полностью нарушено ходами морских червей (Chondrites, Helminthopsis, Paleophycus), вверху образца – роостр белемнита. А.О. отбора керна – 2530,4 м</p> <p>Lithotype 1. Intensively bioturbated argillaceous siltstone. The rock structure is completely broken by moves of marine worms (Chondrites, Helminthopsis, Paleophycus), belemnite is at the top of the sample</p> <p>True vertical depth of core is 2530,4 m</p>	<p><i>б/б</i></p> <p>Литотип 2. Крупно косослоистый мелкозернистый песчаник с немногочисленными сдвоенными глинистыми слойками. А.О. отбора керна – 2535,2 м</p> <p>Lithotype 2. Cross-bedded fine-grained sandstone with a few twin clay lamination.</p> <p>True vertical depth of core is 2535,2 m</p>	<p><i>в/с</i></p> <p>Литотип 3. Тонкозернистый мелко-косослойчатый песчаник с многочисленными слойками и прослоями глинистого алеврита. В верхней части образца в песчанике присутствуют углефицированные остатки корневой системы растений.</p> <p>А.О. отбора керна – 2539,8 м</p> <p>Lithotype 3. Fine-grained cross-stratified sandstone with a numerous clay siltstone lamination. There are coalified relicts of the plant root system in the upper part of sandstone. True vertical depth of core is 2539,8 m</p>
		
<p><i>г/д</i></p> <p>Литотип 4. Интенсивно биотурбированный тонко-мелкозернистый глауконитовый песчаник, обогащенный рострами белемнитов. А.О. отбора керна – 2542,5 м</p> <p>Lithotype 4. Intensive bioturbated fine-grained glauconite sandstone. There are a lot of enriched belemnites in sandstone. True vertical depth of core is 2542,5 m</p>	<p><i>д/е</i></p> <p>Литотип 5. Биотурбированный песчаник с глинистыми слойками и тонкими прослоями. А.О. отбора керна – 2546,4 м</p> <p>Lithotype 5. Bioturbated sandstone with Puffs and thin layers of clay. True vertical depth of core is 2546,4 m</p>	<p><i>е/ф</i></p> <p>Литотип 6. Однородный интенсивно биотурбированный тонко-мелкозернистый песчаник А.О. отбора керна – 2549,1 м</p> <p>Lithotype 6. Intensive bioturbated homogeneous fine-grained sandstone. True vertical depth of core is 2549,1 m</p>

Рис. 3. Фотографии образцов керна, отобранных из скважины 211 Т месторождения

Fig. 3. Core samples photographs from 211 well of the field Т

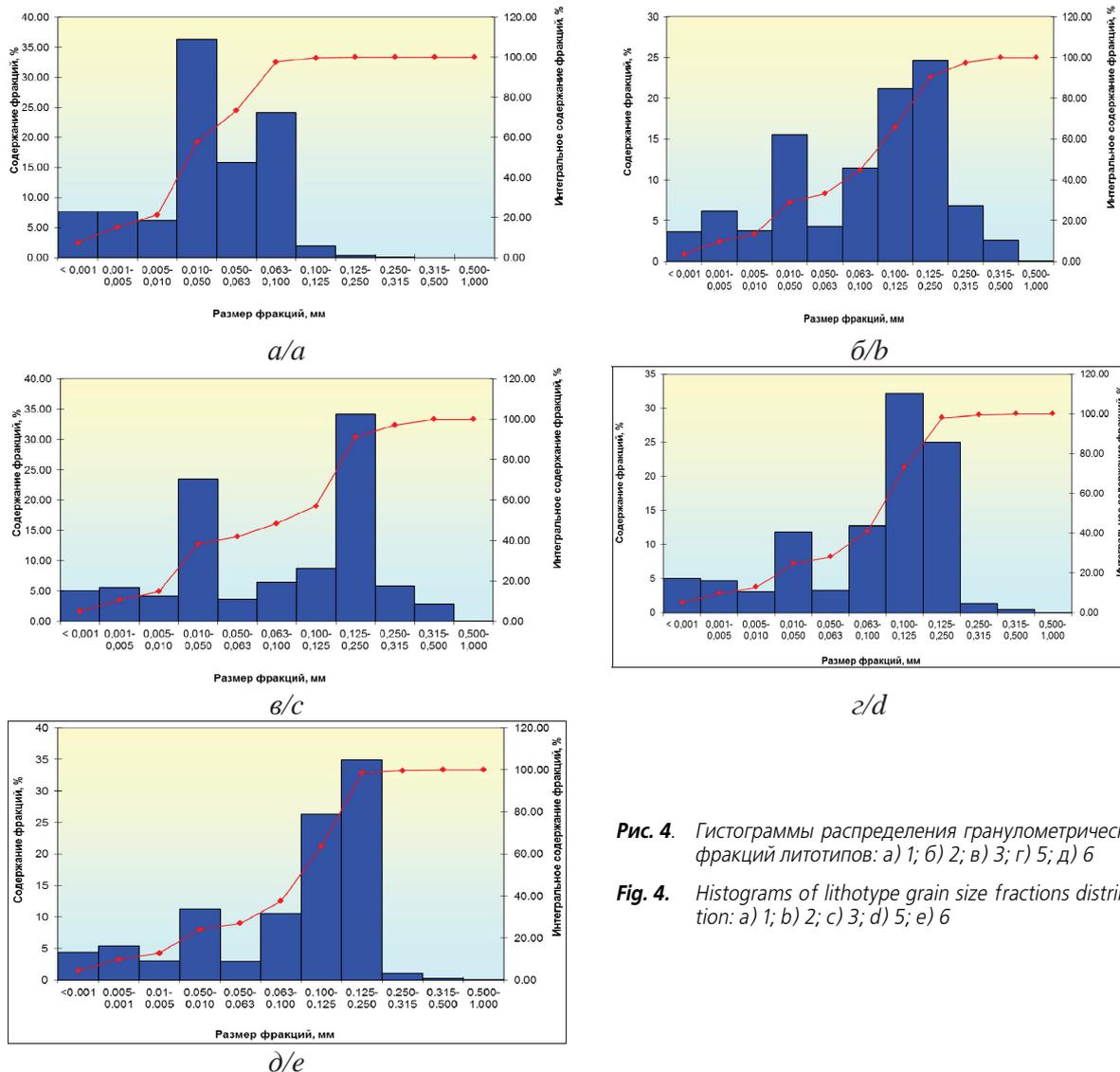


Рис. 4. Гистограммы распределения гранулометрических фракций литотипов: а) 1; б) 2; в) 3; г) 5; д) 6

Fig. 4. Histograms of lithotype grain size fractions distribution: а) 1; б) 2; с) 3; д) 5; е) 6

среднепесчаной фракций, плотной упаковкой обломочного скелета, наличием микролинз мелкоалевритово-глинистого материала, карбонатизацией, окварцеванием. Сдвоенные глинистые слои могут существенно снижать проницаемость перпендикулярно напластованию.

Косослойное строение песчаников, присутствие в них сдвоенных глинистых слоев свидетельствуют об их накоплении в морских или прибрежных обстановках в условиях приливно-отливного режима с высокой скоростью приливно-отливного течения, способствующей образованию и миграции подводных дюн. Сдвоенное строение глинистых слоев указывает на формирование косослойчатых песчаников ниже уровня отлива [12]. Слабая биотурбационная переработка песчаников могла быть результатом стрессовых условий среды для обитания бентосных организмов, связанных с резкими колебаниями солености (периодические распределения) и/или постоянно высокой активностью гидродинамики среды (подвижный субстрат).

**Литотип 3** сложен светло-серыми тонко- и мелкозернистыми мелко-косослойчатыми песчаниками с флазерной и волнистой слоистостью, обусловленной присутствием в песчанике многочисленных слоев и тонких прослоев темно-серых аргиллитов и глинистых алевролитов (рис. 3, в). В песчаниках развита мелкая косая асимметричная слоистость ряби течений.

На гистограмме распределения гранулометрических фракций отмечаются два максимума, которые отражают в строении породы частое чередование мелкозернистого песчаника и мелкозернистого алевролита (рис. 4, в).

По содержанию породообразующих компонентов породы относятся к граувакковым аркозам (кварц – 38 %, полевые шпаты – 48 %, обломки пород – 14 %). Из аксессуаров присутствуют эпидот, циркон, гранат, сфен. Цемент глинистый до карбонатно-глинистого. Из глинистых минералов в отложениях пласта Ю<sub>1</sub><sup>а</sup> доминирует каолинит (около 90 %).

Из постседиментационных преобразований пород, оказывающих сильное влияние на ФЕС пород, следует отметить регенерацию кварца и коррозионное расширение пор, за счет растворения неустойчивых обломочных компонентов. Значения открытой пористости варьируют от 1 до 27 %, в среднем 16 %. Проницаемость варьирует в пределах от 0,1–115,0 мД, в среднем 32 мД. Низкие значения пористости и проницаемости в отдельных образцах обусловлены развитием карбонатного цемента. Однако при этом отмечаются коррозионно-расширенные микропоры, обусловленные частичным растворением зерен полевых шпатов (рис. 5). Также отрицательное влияние на ФЕС оказывает наличие многочисленных прослоев мелкозернистого алевролита. Структура порового пространства коллектора по А.А. Ханину соответствует IV классу. Сообщающиеся открытые поры в постседиментационном этапе подверглись частичному эпигенетическому расширению, о чём свидетельствуют фрагменты частично растворившихся обломочных зерен. Межзерновое пространство заполнено пленочным хлоритом и полевошпатово-кварцевым цементом. Регенерация кварца представлена в виде неравномерных наростов, кварцитоподобных структур, а поры выполнены каолинитом, хлоритом и кальцитом. Вторичная микропористость обусловлена выщелачиванием полевых шпатов.

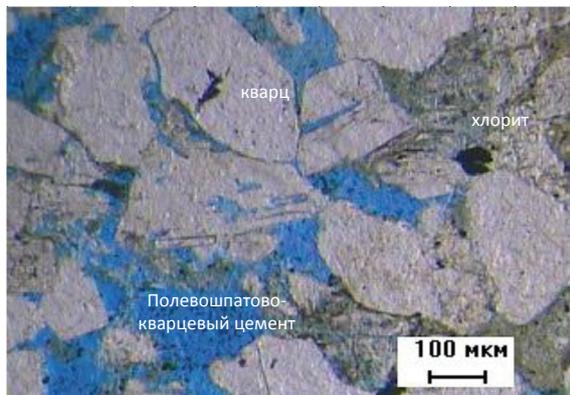


Рис. 5. Литотип 3. Увеличение 100х. Николи II

Fig. 5. Litotype 3. Increase 100x. Nicholas II

Образование мелко косослойчатых песчаников с фазерной и волнистой слоистостью происходило в условиях приливно-отливного режима, характеризовавшегося неустойчивой активностью гидродинамики среды и невысокой скоростью приливно-отливного течения, способствовавших периодическому отложению глинистых слойков и прослоев. Такие условия седиментации могут быть характерны для обстановок песчаных и песчано-илистых приливно-отливных отмелей и баров, а также дельты с приливно-отливным влиянием.

**Литотип 4** состоит из интенсивно биотурбированных глауконитовых зеленовато-серых тонко-мелкозернистых песчаников с переложенным раковинным детритом и рострами белемнитов. В песчанике встречаются овальные стяжения си-

дерита (рис. 3, з). На строение песчаника определенное влияние оказала интенсивная постседиментационная переработка осадка бентосными организмами с полным разрушением первичных осадочных текстур. Порода имеет в той или иной степени выраженный крапчатый облик вследствие присутствия глинистого материала, сосредоточенного на стенках и внутри ходов бентоса. Биотурбационные текстуры в песчанике представлены разнообразными ходами морских червей и мелких ракообразных (*Astherosoma*, *Diplicraterion*, *Helminthopsis*, *Ophyomorpha*, *Palaeophycus*, *Phycosiphon*, *Rosselia*, *Thalassinoides*).

Открытая пористость варьирует от 8 до 16 %. Проницаемость изменяется от 0,1 до 0,2 мД, и лишь в одном образце – 58 мД.

Образование биотурбированных глауконитовых песчаников литотипа 4 происходило в условиях морского мелководья при трансгрессии, с дефицитом поступления терригенных осадков и постоянного волнового/штормового воздействия на дно. Отсутствие или слабое поступление новых порций терригенных осадков приводило к низким темпам седиментации, что при умеренной волновой активности способствовало как усилению роли аутигенного минералообразования и обогащению песчаного осадка глауконитом и раковинным детритом (за счет вымывания глинистой фракции), так и заселению субстрата бентосными организмами с полным разрушением первичных текстурных особенностей осадков.

**Литотип 5** сложен биотурбированным светло-серым алевроглинистым тонко-мелкозернистым песчаником. Он участками имеет полосчатое строение за счет присутствия тонких (1–3 см) прослоев серого опесчаненного (за счет биотурбации) алевролита (рис. 3, д).

В песчанике местами отмечаются реликты мелкой косо-слоистости волновой ряби. Строение литотипа 5 сильно нарушено биотурбационной переработкой первичного осадка. Концентрация глинистого вещества по ходам бентоса приводит к сильной глинизации. Биотурбационные текстуры в породе представлены горизонтально и наклонно ориентированными ходами морских червей, мелких ракообразных ихнофагии *Cruziana* (*Asterosoma*, *Cylindrihnus*, *Helminthopsis*, *Teichichnus*, *Palaeophycus*, *Planolites*, *Rosselia*, *Thalassinoides*).

По результатам гранулометрического анализа породы сложены преимущественно песчаниками мелко-тонкозернистыми (рис. 3, д). Отсортированность обломочного материала от хорошей до средней. Преобладающий тип цемента пленочно-поровый, участками до базально-порового. По составу преимущественно глинистый, реже карбонатный. Существенное влияние на снижение ФЕС пород оказывает скопление глинистого материала в стенках ходов бентосных организмов. Наилучшие ФЕС для данного литотипа приурочены к обстановке нижней предфронтальной зоны пляжа с влиянием приливных процессов (*Tidal-unfluenced Lower Shore face*).

Интенсивная биотурбационная переработка песчаников, присутствие глинистых слоев и прослоев, а также следов волновой ряби свидетельствует о накоплении в мелководно-морских обстановках переходной зоны подводного берегового склона и нижней части предфронтальной зоны пляжа, расположенных выше среднего базиса штормовых волн. Условия седиментации в зоне подводного берегового склона характеризовались неустойчивым гидродинамическим режимом – чередованием периодов спокойного гравитационного осаждения тонкозернистых фракций осадков из столба воды с периодами повышенной активности гидродинамики среды, связанными с проявлением штормовых процессов. Присутствие в песчанике текстур волновой ряби указывает на их образование волновыми/штормовыми процессами [5, 6]. Интенсивное развитие биотурбационных текстур в песчаниках связано с невысокой частотой периодов высокой активности гидродинамики среды или их небольшой продолжительностью и интенсивностью, что благоприятствовало заселению субстрата бентосными организмами и практически полному разрушению первичных текстурных особенностей строения осадков.

**Литотип 6** сложен интенсивно биотурбированным однородным тонко-мелкозернистым песчаником (рис. 3, е). Биотурбация относительно равномерно распределена в массе породы. Концентрация глинистого вещества на стенках и внутри (заполнение) ходов бентосных организмов обусловила глинизацию песчаника.

Биотурбационные текстуры представлены в песчаниках комплексом горизонтально и наклонно ориентированных ходов морских червей и мелких ракообразных ихнофаций *Cruziana* (проксимальная часть) и *Scolites* (*Asterosoma*, *Chondrites*, *Cylindrichnus*, *Helminthopsis*, *Ophiomorpha*, *Palaeophycus*, *Phicosiphon*, *Terebellina*).

По результатам гранулометрического анализа отложения представлены преимущественно песчаниками тонко-мелкозернистыми с примесью мелкозернистой алевритовой фракции (рис. 4, е). Отсортированность обломочного материала преимущественно средняя.

Среди вторичных преобразований наибольшее влияние на ФЕС оказывает регенерация кварца, карбонатизация, локальное расширение открытых пор за счет растворения неустойчивых обломочных компонентов (рис. 6). Вторичная микропористость обусловлена выщелачиванием полевых шпатов, а структура порового пространства коллектора по А.А. Ханину соответствует IV классу.

Фильтрационно-емкостные свойства пород данного литотипа контролируются преимущественно гранулометрическим составом пород. Для тонкозернистых песчаников значения открытой пористости варьируют в пределах 7–25 %, в среднем 17 %. Проницаемость колеблется в пределах от 0,06 до 36 мД, в среднем составляет 3 мД. Для мелкозернистых песчаников: пористость 8–18 %,

в среднем 16 %, проницаемость от 2 до 68 мД, в среднем 23 мД. Основные литологические факторы, снижающие ФЕС пород, – плотная упаковка обломочных зерен в тонкозернистых песчаниках, наличие микролинзочек мелкоалевритово-глинистого материала (глинизация стенок ходов бентосных организмов) [13].

Образование интенсивно биотурбированных песчаников связывается с мелководно-морскими условиями седиментации, характеризовавшимися постоянно умеренной активностью волновых/штормовых процессов, способствовавшими накоплению осадков преимущественно песчаной размерности [5, 6]. Невысокая интенсивность проявления волновых процессов способствовала заселению субстрата морскими формами бентосных организмов, в результате чего происходила сильная биотурбационная переработка осадка с полным разрушением его первичных текстурных особенностей. В морских обстановках условия, благоприятные для накопления интенсивно биотурбированных песчаных осадков, могут создаваться в пределах переходной зоны подводного берегового склона и дистальной части нижней предфронтальной зоны пляжа [14–16].

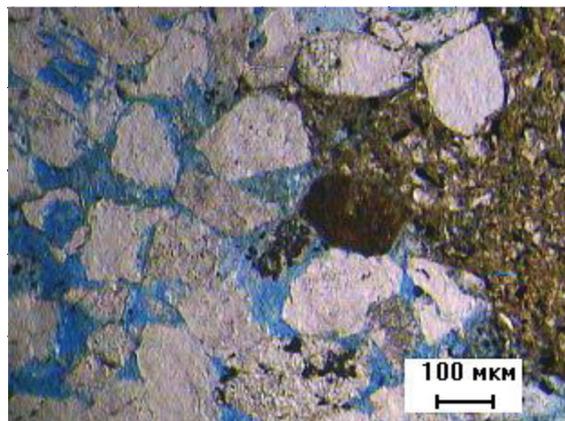


Рис. 6. Литотип 6. Увеличение 100х. Николи II

Fig. 6. Lithotype 3. Increase 100x. Nicholas II

Выделенные обстановки осадконакопления, их диагностические признаки и ФЕС сведены в таблице.

Из анализа данных таблицы следует, что наилучшими ФЕС обладают литотипы 3 и 4, а наихудшими – литотип 1.

#### Характеристика обстановок осадконакопления

Известно, что большинство литотипов накапливаются в разных фациальных обстановках [4, 12, 17]. Для выделенных литотипов пласта Ю<sub>1</sub><sup>а</sup> месторождения Т литотипы и соответствующие им фации сведены в блок-схему (рис. 7). На основе седиментологического изучения пласта выделено 6 литотипов, которые могут быть сведены в более крупные комплексы – фациальные ассоциации, отвечающие более крупной по масштабу осадочной системе барьерно-островного комплекса отложений (рис. 7, 8).

**Таблица.** Сводная таблица обстановок осадконакопления

**Table.** General table of depositional environment

Литотип Lithotype	Обстановка осадконакопления Depositional environment	Основные диагностические признаки по керну Main core diagnostic features	Органические остатки, биотурбация Fossils, bioturbation	$K_{лн}$ , % интервал среднее $K_{р}$ , % range mean	$K_{лр}$ , мД интервал среднее $K_{рerm}$ , мД range mean
1	Upper Offshore (UOF) Проксимальная часть дальней зоны подводного берегового склона	Алевролиты тёмно-серые интенсивно биотурбированные Intensively bioturbated Dark gray siltstones	Ростры белемнитов, створки раковин. Ихновицы: Asterosoma, Chondrites, Rosselia, Terebellina, Phycosiphon Roasters of belemnites, scallop-shell, ichnofossils: Asterosoma, Chondrites, Rosselia, Terebellina, Phycosiphon Roasters of belemnites	7,9–12,9 10,9	0,05–0,3 0,2
2	Ebb tidal delta (ETD), Tidal inlet (TI) Отливная дельта морского устья приливо-отливной протоки. Приливо-отливная протока барьерно-островной системы	Песчаники серые мелко- и крупно косослоистые, мелко и среднезернистые с немногочисленными двоянными глинистыми слоями Thin and coarse cross-bedded, fine and medium gray sandstones with a few double clay lamination	Следы бегства (Fugichnia) и единичные ходы червей (Planolites) Ichnofossils: Fugichnia, Planolites	5,1–19,7 12,7	0,04–161,2 2 12,2
3	Ebb tidal Delta (ETD) Отливная дельта морского устья приливо-отливной протоки	Песчаники светло-серые тонкозернистые мелко косослойчатые с рябью течения Fine-grained crossbedded light gray sandstones, with ripples flow		1,1–26,9 15,5	0,1–115,5 32,6
4	Transgressive condensed layer (TL) Трансгрессивный конденсированный слой	Песчаники глауконитовые зелено-вато-серые тонко мелкозернистые интенсивно биотурбированные Intensive bioturbated fine grained greenish-gray glauconite sandstones	Раковинный детрит, ростры белемнитов Roasters of belemnites, scallop-shell	8,1–16,0 11,1	0,1–58,1 14,6
5	Offshore-Transition zone (OTZ) Переходная зона подводного берегового склона	Песчаники алевролитовые глинистые светло-серые тонко-мелкозернистые, с реликтами мелкой косой слойчатости и волновой ряби Light-gray clay sandstone with relicts of crossbedded and wave ripples	Горизонтально и наклонно ориентированные ходы морских червей. Ихнофашии: Cruziana (Asterosoma, Cyldrichnus, Helminthopsis, Teichichnus, Palaeophycus, Planolites, Rosselia, Thalassinoides). Ichnofossils: Cruziana (Asterosoma, Cyldrichnus, Helminthopsis, Teichichnus, Palaeophycus, Planolites, Rosselia, Thalassinoides)	7,8–19,6 16,4	0,05–24,5 2,1
6	Distal Lower Shoreface (DLS), Offshore-Transition zone (OTZ) Дистальная часть нижней предфронтальной зоны пляжа, переходная зона подводного берегового склона	Песчаники светло-серые тонко-мелкозернистые интенсивно биотурбированные Intensive bioturbated fine grained light-gray sandstones	Горизонтально и наклонно ориентированные ходы морских червей и мелких ракообразных. Ихнофашии Cruziana (проксимальная часть) и Scolites (Asterosoma, Chondrites, Cyldrichnus, Helminthopsis, Ophiomorpha, Palaeophycus, Phicosiphon, Terebellina). Ichnofossils: Cruziana (proximal part) and Scolites (Asterosoma, Chondrites, Cyldrichnus, Helminthopsis, Ophiomorpha, Palaeophycus, Phicosiphon, Terebellina)	7,4–24,9 16,6	0,05–68,1 14,8

На рис. 8 приведена схема типов морских и прибрежно-морских осадочных систем.

Отложения барьерно-островного комплекса (рис. 8) в изученных образцах керна скважин 206, 211 представлены обстановками осадконакопления, характеризующими нижнюю часть профиля пляжа (Lower Shoreface, Distal Lower Shoreface), а также дальнюю зону подводного берегового склона (Offshore) [20].

UOF (Upper Offshore – верхняя (проксимальная) часть дальней зоны подводного берегового склона)

Фациальная ассоциация включает литотип 1. Отложения фациальной ассоциации накапливались в относительно глубоководных условиях проксимальной части дальней зоны подводного берегового склона, на уровне или выше среднего базиса штормовых волн, в условиях умеренной активности волновых/штормовых процессов (рис. 9)

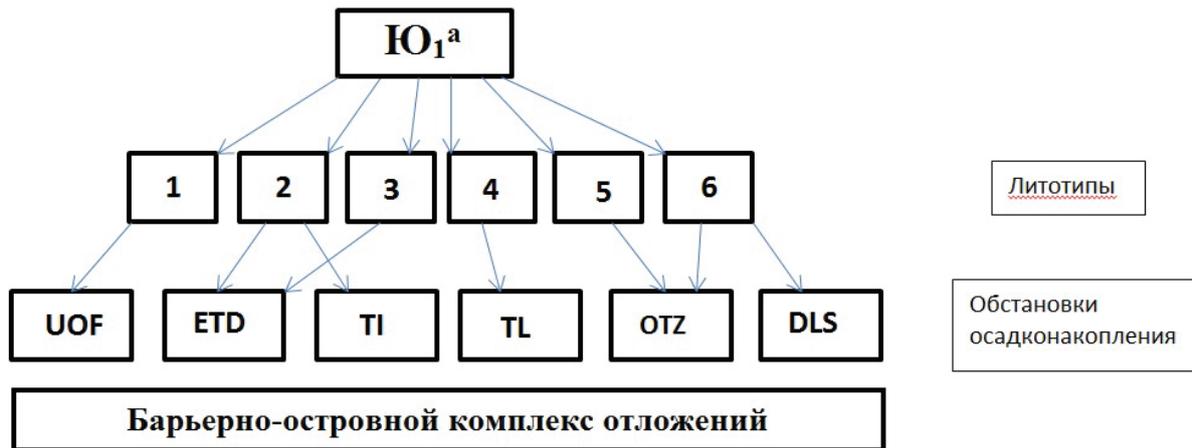


Рис. 7. Сводная блок-схема соответствия литотипов и фаций (Д.С. Бегма)

Fig. 7. General lithotypes & facies block diagram (D.S. Begma)

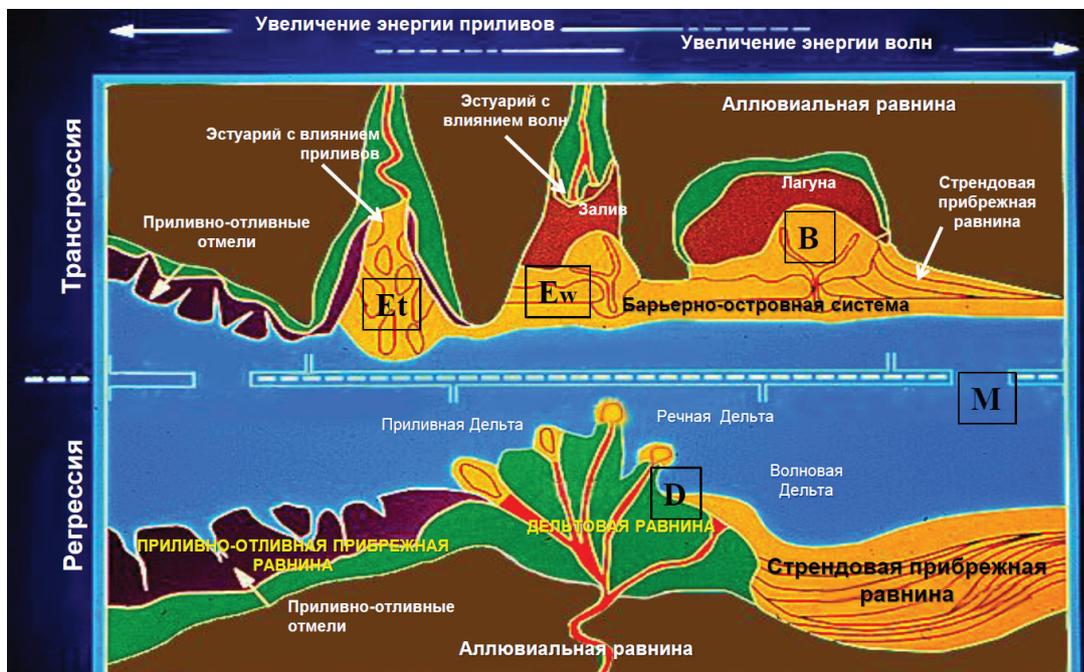


Рис. 8. Типы морских и прибрежно-морских осадочных систем: эстуариевый комплекс отложений (Et – приливно-отливный; Ew – волновой); D – дельтовый комплекс отложений; M – шельфовый комплекс отложений [18, 19]

Fig. 8. Types of marine and coastal-marine depositional systems: estuarine complex of sediments (Et – tidal, Ew – wave); D is the deltaic complex of sediments; M is the shelf complex of sediments [18, 19]

[5–6]. Отложения фациальной ассоциации залегают в разрезе стратиграфически выше аргиллитов дистальной части подводного берегового склона (LOF). Фациальная ассоциация вскрыта керном в нижней части разрезов скважин 211 и 206.

OTZ (Offshore-Transitionzone – переходная зона подводного берегового склона)

Фациальная ассоциация включает литотип 6 и в меньшей степени – 5. Отложения фациальной ассоциации накапливались в пределах переходной зоны подводного берегового склона, располагаю-

щейся выше среднего базиса штормовых волн, в условиях повышенной активности волновых/штормовых процессов (рис. 9). Вместе с тем общий энергетический уровень волновых процессов в этой зоне не перекрывал биотурбационную переработку алеврито-песчаных осадков бентосными организмами. В разрезе отложения фациальной ассоциации переходной зоны залегают стратиграфически выше биотурбированных глинистых алевролитов проксимальной части подводного берегового склона (UOF). Фациальная ассоциация вскрыта керном скважины 211 в нижней части пласта Ю<sub>1</sub><sup>а</sup>.

DLSF (Distal Lower Shoreface – дистальная часть нижней предфронтальной зоны пляжа)

Фациальная ассоциация включает литотип 6 и близка по литологическому составу с фациальной ассоциацией переходной зоны (OTZ), отличаясь от последней несколько большей песчаностью отложений и более однородным составом пород (рис. 9). В результате между обеими фациальными ассоциациями существуют постепенные взаимопереходы с трудно проводимыми границами. Отложения фациальной ассоциации накапливались в пределах дистальной части нижней предфронтальной зоны пляжа, располагающейся ниже или на уровне базиса регулярных волн. Условия седиментации характеризовались повышенной активностью волновых и штормовых процессов, которая, тем не менее, не перекрывала скорость биотурбационной переработки осадков бентосными организмами. В разрезе отложения фациальной ассоциации переходной зоны залегают стратиграфически выше биотурбированных глинистых алевролитов проксимальной части подводного берегового склона (UOF). Фациальная ассоциация вскрыта керном скважины 211 в средней части пласта Ю<sub>1</sub><sup>а</sup> и в скв. 206 в средней и верхней части пласта Ю<sub>1</sub><sup>а</sup>.

ETD (Ebbtidal delta – отливная дельта морского устья приливно-отливной протоки)

Фациальная ассоциация включает литотипы 2 и 3. Накопление отложений отливной дельты связано с выносом песчаного материала в мелководную прибрежную часть моря отливным потоком из приливно-отливной протоки, прорезающей барьерный остров (рис. 9). В отличие от отложений приливной дельты, песчаники которой ассоциируют в разрезе с глинистыми породами центрального

бассейна (CB), в песчаных отложениях отливной дельты мелководно-морского генезиса присутствуют глинистые слойки и тонкие прослои, формировавшиеся в морских условиях. Фациальная ассоциация вскрыта керном скв. 211 в верхней части пласта Ю<sub>1</sub><sup>а</sup>, где она подстилается биотурбированными песчаниками дистальной части нижней предфронтальной зоны пляжа (DLSF).

TI (Tidal inlet – приливно-отливная протока барьерно-островной системы)

Фациальная ассоциация включает литотипы 2 и 3. Отложения фациальной ассоциации формировались в мелководных условиях в пределах приливно-отливных протоков, рассекавших барьерно-островную систему (рис. 9). Отложения фациальной ассоциации вскрыты керном скв. 211 в верхней части пласта Ю<sub>1</sub><sup>а</sup>.

TL (Transgressive condensed layer – трансгрессивный конденсированный слой)

Фациальная ассоциация включает литотип 4, характеризуется эрозионной подошвой и трансгрессивным строением с постепенной глинизацией отложений вверх по разрезу. Отложения фациальной ассоциации формировались в мелководно-морской обстановке трансгрессивного пляжа, в условиях умеренной активности волновых процессов при отсутствии поступления свежих порций осадков. Низкие темпы седиментации при умеренной гидродинамической активности способствовали усилению роли аутигенного минералообразования и обогащению песчаного осадка глауконитом и раковинным детритом. Фациальная ассоциация вскрыта керном в скв. 211 в кровельной части пласта Ю<sub>1</sub><sup>а</sup>.

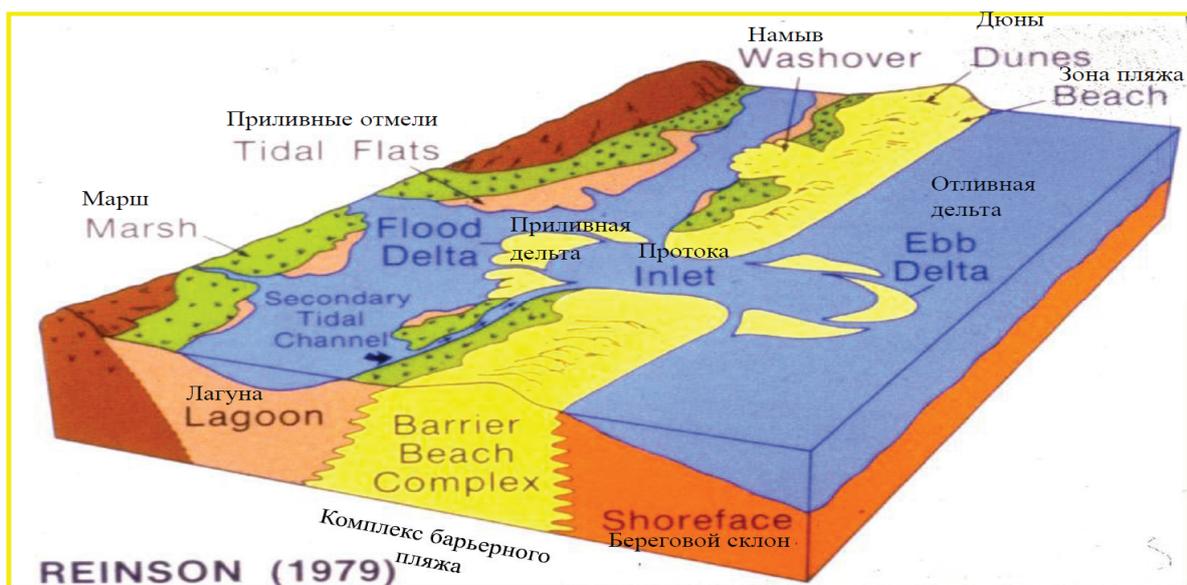


Рис. 9. Блок-диаграмма, показывающая основные обстановки осадконакопления барьерно-островной системы (Reinson G.E., 1979 г. [20])

Fig. 9. Block diagram of the main barrier-island system depositional environment (Reinson G.E., 1979 [20])

## Выводы

В целом по работе можно сделать следующие выводы. По результатам седиментологического изучения пласта Ю<sub>1</sub><sup>а</sup> по керну скважин 206 и 211 выделено 6 литотипов, которые объединены в более крупные седиментационные комплексы – фациальные ассоциации, отвечающие более крупным по масштабу осадочным системам. Комплекс выделенных ассоциаций в пределах изучаемого

пласта позволил обосновать седиментологическую модель формирования отложений. Пласт Ю<sub>1</sub><sup>а</sup> образован в обстановке барьерно-островного комплекса в условиях сноса материала с запада на восток.

На основе результатов седиментологических исследований проведен комплексный анализ литолого-петрофизических данных: рассмотрены диапазоны фильтрационно-ёмкостных свойств выделенных литофаций и фациальных ассоциаций.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закревский К.Е. Геологическое 3D моделирование. – М.: ООО ИПЦ Маска, 2009. – 376 с.
2. Практические советы по 3D геологическому моделированию / Б.В. Белозёров, А.В. Буторин, П.Н. Герасименко, Е.В. Журавлёва, Р.З. Фаизов. – СПб.: Газпромнефть НТЦ, 2015. – 354 с.
3. Сакс В.Н., Крымгольц Г.Я., Тазихин Н.Н. Атлас литолого-палеогеографических карт СССР. Т. III. Триасовый, юрский и меловой периоды. – М.: ГУГК, 1968. – 53 л.
4. Чернова О.С. Генетические модели микрофаций континентальных и прибрежно-морских отложений Сибирской платформы // Коллекторы и экраны нефти и газа в мезозойских и палеозойских отложениях Сибирской платформы: Труды СНИИГГИМСа. – 1980. – Вып. 280. – С. 5–26.
5. Характеристика текстурных особенностей пород ачимовской толщи Западной Сибири в связи с моделью ее седиментации / В.Н. Бородкин, А.Р. Курчиков, А.С. Недосекин, А.В. Лукашов, В.И. Самитов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2016. – № 8. – С. 4–10.
6. Александров В.М., Казанская Д.А., Белкина В.А. Особенности формирования темпеститов в отложениях Викуловской свиты // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2015. – № 5. – С. 10–15.
7. Костеневич К.А., Федорцов И.В. Обоснование литолого-фациальных закономерностей распространения коллекторов в отложениях сложного строения // Нефтяное хозяйство. – 2011. – № 4. – С. 26–29.
8. Пракойо Ф.С., Лобова Г.А. Прогнозирование фаций и продуктивности юрско-меловых пород-коллекторов юго-востока Западной Сибири // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2015. – Т. 10. – № 3. URL: [http://www.ngtp.ru/rub/4/33\\_2015.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/4/33_2015.pdf) (дата обращения 25.11.2016).
9. Pettijohn F.J., Potter P.E., Siever R. Sand and sandstone. – Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 1987. – 618 p.
10. Tucker M.E. Sedimentary petrology. 3<sup>rd</sup> ed. – Oxford: Blackwell Science, 2001. – 262 p.
11. Einsele G. Sedimentary basins: evolution, facies and sediment budget. 2<sup>nd</sup> ed. – Berlin: Springer-Verlag, 2000. – 792 p.
12. Обстановки осадконакопления и фации: В 2-х т. Т. 1. / Х.Г. Реддинг, Дж.Д. Коллинсон, Ф.А. Аллен, Т. Эллиотт, Б.Ш. Шрейбер, Г.Д. Джонсон, К.Т. Болдуин, Б.У. Селлвуд, Х.К. Дженкинс, Д.А.В. Стоу, М. Эдуардз, А.Х.Г. Митчелл / Пер. с англ. под ред. Х. Реддинга. – М.: Мир, 1990. – 352 с.
13. Петерсилье В.И. Методические рекомендации по подсчету геологических запасов нефти и газа объемным методом / под ред. В.И. Петерсилье, В.И. Пороскуна, Г.Г. Яценко. – М; Тверь: ВНИГНИ, НИЦ Тверьгеофизика, 2003. – 261 с.
14. Палеогеографические критерии распределения коллекторов в средне-верхнеюрских отложениях Западно-Сибирского нефтегазонасного бассейна / Е.М. Хабаров, П.А. Ян, Л.Г. Вакуленко, А.Ю. Попов, С.Ф. Плисов // Геология нефти и газа. – 2009. – № 1. – С. 26–33.
15. Dalrymple R.W., Zaitlin B.A., Boyd R. Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications // Journal of Sedimentary Petrology. – 1992. – V. 62. – № 6. – P. 1130–1146.
16. Leeder M.R. Sedimentology and Sedimentary Basins: from Turbulence to Tectonics. 2<sup>nd</sup> ed. – Oxford: Willey-Blackwell, 2011. – 608 p.
17. Oblique rift geometry of the West Siberian Basin: tectonic setting for the Siberian flood basalts / M.B. Allen, L. Anderson, R.C. Searle, M. Buslov // Journal of the Geological Society. – 2006. – V. 163. – P. 901–904.
18. Boyd R., Dalrymple R.W., Zaitlin B.A. Classification of clastic coastal depositional environments // Sedimentary Geology. – 1992. – V. 80. – P. 139–150.
19. Reading H.G., Collinson J.D. Clastic coasts // Sedimentary Environments: processes, facies and stratigraphy. 3<sup>rd</sup> ed. / Ed. by H.G. Reading. – Oxford: Wiley Blackwell, 1996. – P. 324–328.
20. Reinson G.E. Facies models 14. Barrier island systems // Geoscience Canada. – 1979. – V. 6. – P. 51–58.

Поступила 28.11.2016 г.

## Информация об авторах

**Бегма Д.С.**, аспирант кафедры геологии месторождений нефти и газа Тюменского индустриального университета.

**Белкина В.А.**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры геологии месторождений нефти и газа Тюменского индустриального университета.

UDC 552.143

## LITOLOGICAL AND FACIES CHARACTERISTICS OF UPPER JURASSIC SEDIMENTS OF THE T FIELD

Dmitry S. Begma<sup>1</sup>,  
dsbegma@mail.ru

Valentina A. Belkina<sup>1</sup>,  
belkina@tsogu.ru

<sup>1</sup> Tyumen Industrial University,  
38, Volodarskogo Avenue, Tyumen, 625000, Russia.

The relevance of the discussed issue is caused by the fact that really all geological issues are solved on the basis of the models which accuracy increases considerably when using sedimentological component. Sedimentological factors control the conditions of formation, placement and quality of a reservoir and caps. It means that consideration of sedimentological models increases the efficiency of exploration for oil and gas, especially, preparation of deposits to development and development drilling.

**The main aim** of the research is justification of importance of  $J_1^a$  formation deposition (formed by sandstones of Upper Jurassic deposits) of T condensate field (Yamal-Nenets Autonomous District) according to the core data performed on two wells.

**Research methods:** Lithological composition analysis of the rocks, separation of rocks on lithological characteristics on lithotypes, facies analysis, complex analysis of lithological and petrophysical data.

**Results.** Based on the core data analysis the authors have selected six lithotypes and six sedimentary environments (facies) of deposits of  $J_1^a$ . All lithotypes have different reservoir (permeability and porosity) properties. The lithofacies were grouped into larger sedimentary complexes – facies associations. Complex associations allocated within the T field of the studied formation allowed justifying the sedimentological model of deposit formation. Formation of  $J_1^a$  sediment accumulated in the barrier-island environment complex from the west to the east. It is shown that lithotypes 3 and 4 have the best filtration-capacitive properties, and lithotype 1 has the worst quality. Lithotype 3 was formed in a Flood Tidal Delta marine and tidal inlet, deposits lithotype 4 was formed in shallow-marine environment during transgression, influenced by moderate activity wave processes.

**Key words:**

Lithotype, facies, sedimentological model, coastal-marine facies, barrier-island complex, Upper Jurassic deposits.

## REFERENCES

- Zakrevsky K.E. *Geologicheskoe 3D modelirovanie* [3D Geological modeling]. Moscow, LLC CPI Maska Publ., 2009. 376 p.
- Belozherov B.V., Butorin, A.V., Gerasimenko P.N., Zhuravleva E.V., Faizov R.Z. *Prakticheskie sovety po 3D geologicheskomu modelirovaniyu* [Practical advice on 3D geological modeling]. St. Petersburg, Gazprom Neft NTC Publ., 2015. 354 p.
- Saks V.N., Krymgolts G.Ya., Tazikhin N.N. *Atlas litologo-paleogeograficheskikh kart SSSR. T. III Triasovy, yurskiy, melovoy periody* [Atlas of lithologic and paleogeographic maps of the USSR. V. III. Triassic, Jurassic and Cretaceous periods]. Moscow, GUGK Publ., 1968. 53 p.
- Chernova O.S. *Geneticheskie modeli microfatsiy kontinentalnykh i pribrezhno-morskikh otlozheniy Sibirskoy platformy* [Genetic microfacies model of Siberian platform continental and coastal-marine deposits]. Novosibirsk, Proceedings SNIIGGiMS. Novosibirsk, 2007. Iss. 280, pp. 5–26.
- Borodkin V.N., Kurchikov A.R., Nedosekin A.S., Lukashov A.V., Samitov V.I. *Kharakteristika tekturnykh osobennostey porod achimovskoy tolshchi Zapadnoy Sibiri v svyazi s modelu ee sedimentatsii* [Textural rocks features of Western Siberia Achimov strata in connection with its sedimentation model]. *Bulletin of the Geology, geophysics and development of oil and gas fields*, 2016, no. 8, pp. 4–10.
- Aleksandrov V.M., Kazanskaya D.A., Belkina V.A. *Osobennosti formirovaniya tempestitov v otlozheniyakh Vykulovskoy svity* [Features of deposits formations in tempestitites Vikulov suite]. *Bulletin of the Higher Educational Institutions News. Oil and Gas*, 2015, no. 5, pp. 10–15.
- Kostenevich K.A., Fedortsov I.V. *Obosnovanie litologo-fatsialnykh zakonomernostey rasprostraneniya kollektorov v otlozheniyakh slozhnogo stroeniya* [Justification of lithofacies patterns in reservoir distribution in the complex structure sediments]. *Neftyanoe khozyaystvo*, 2011, no. 4, pp. 26–29.
- Prakoyo F.S., Lobova G.A. *Prediction of facies and productivity of the Jurassic-Cretaceous reservoir rocks in the south-east of Western Siberia. Neftgazovaya geologiya. Teoriya i praktika*, 2015, vol. 10, no. 3. In Rus. Available at: [http://www.ngtp.ru/rub/4/33\\_2015.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/4/33_2015.pdf) (accessed 25 November 2016).
- Pettijohn F.J., Potter P.E., Siever R. *Sand and sandstone*. Heidelberg; New York, Springer-Verlag, 1987. 618 p.
- Tucker M.E. *Sedimentary petrology*. 3<sup>rd</sup> ed. Oxford, Blackwell Science, 2001. 262 p.
- Einsele G. *Sedimentary basins: evolution, facies and sediment budget*. 2<sup>nd</sup> ed. Berlin, Springer-Verlag, 2000. 792 p.
- Reading H.G., Collinson J.D. *Obstanovki osadkonakopleniya i fatsii* [Clastic coasts. Sedimentary Environments: processes, facies and stratigraphy]. Moscow, Mir Publ., 1990. 352 p.
- Petersile V.I. *Metodicheskie rekomendatsii po podschetu geologicheskikh zapasov nefti i gaza obemnym metodom* [Guidelines for calculating oil and gas geological reserves by volumetric method]. Eds. Petersile V.I., Poroskuna V.I., Yatsenko G.G. Moscow; Tver, VNIGNI, SPC Tvergeofizika Publ., 2003. 261 p.
- Khabarov E.M., Yan P.A., Vakulenko L.G., Popov A.Yu., Pliov S.F. *Paleogeograficheskie kriterii raspredeleniya kollektorov v sredne-verkhneyurskikh otlozheniyakh Zapadno-Sibirskogo neftegazonosnogo basseyna* [Paleogeographic criteria of reservoir distribution in Middle-Upper Jurassic deposits of south of West-Siberian oil-and-gas-bearing basin]. *Geologiya nefti i gaza*, 2009, no. 1, pp. 26–33.
- Dalrymple R.W., Zaitlin B.A., Boyd R. *Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications*. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1992, vol. 62, no. 6, pp. 1130–1146.
- Leeder M.R. *Sedimentology and Sedimentary Basins: from Turbulence to Tectonics*. 2<sup>nd</sup> ed. Oxford, Wiley-Blackwell, 2011. 608 p.
- Allen M.B., Anderson L., Searle R.C., Buslov M. *Oblique rift geometry of the West Siberian Basin: tectonic setting for the Siberia*

- an flood basalts. *Journal of the Geological Society*, 2006, vol. 163, pp. 901–904.
18. Boyd R., Dalrymple R.W., Zaitlin, B.A. Classification of clastic coastal depositional environments. *Sedimentary Geology*, 1992, vol. 80, pp. 139–150.
19. Reading H.G., Collinson J.D. Clastic coasts. *Sedimentary Environments: processes, facies and stratigraphy*. 3<sup>rd</sup> ed. Ed. H.G. Reading. Oxford, Wiley Blackwell, 1996. 704 p.
20. Reinson G.E. Facies models 14. Barrier island systems. *Geoscience Canada*, 1979, vol. 6, pp. 51–58.

*Received: 28 November 2016.*

#### **Information about the authors**

**Dmitry S. Begma**, postgraduate, Tyumen Industrial University.

**Valentina A. Belkina**, Cand. Sc., associate professor, Tyumen Industrial University.