

УДК 551.7.022.4

СЕКВЕНС-СТРАТИГРАФИЯ СУБКОНТИНЕНТАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ТАНОПЧИНСКОЙ СВИТЫ МИНХОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (север Западной Сибири)

М.В. Лебедев¹, А.Н. Шакирова², А.В. Великих¹, Л.В. Лапина¹, С.А. Лебедев¹,
Р.Б. Яневиц¹, А.И. Политова¹, А.А. Снохин³

¹ООО «Тюменский нефтяной научный центр», 625000, Тюмень, ул. Осипенко, 79, корп.1, Россия

²ООО «Харампурнефтегаз», 625023, Тюмень, ул. Одесская, 7Б, Россия

³ООО «Кынско-Часельское нефтегаз», 625048, Тюменская область, Тюмень, ул. 50 Лет Октября, 14, Россия

Цель настоящей статьи — изложение результатов секвенс-стратиграфического моделирования субконтинентальных резервуаров верхней части танопчинской свиты (нижний мел) Минховского месторождения, расположенного в северной части Мессовского нефтегазоносного района Гыданской нефтегазоносной области. Такие исследования являются весьма актуальными в связи с необходимостью доразведки и ввода в разработку запасов углеводородов в нижней части покурского надгоризонта севера Западной Сибири. В основу моделирования положены седиментологические колонки по четырем скважинам, в которых объект исследования был охарактеризован керном с достаточной полнотой. Изучено строение семи секвенсов. Секвенсы PK 2-2, 2-3, 2-4, 2-5, 2-6, PK 3-1 в соответствии с классической концепцией разбиты на три системных тракта: нижний (LST), трансгрессивный (TST), верхний (HST). Границы секвенсов проведены по эрозионным поверхностям в подошве аллювиальных комплексов. Кровли LST — по контактам аллювиальных фаций с приливно-отливными, маршевыми, озерными отложениями, свидетельствующими о подтоплениях прибрежной равнины в начале трансгрессий. Кровли TST — по контактам фаций приливно-отливной равнины с аллювиальными отложениями, свидетельствующими о начале нормальных регрессий. Основные резервуары объекта — это крупные пояса и покровы аллювия амальгамирующих русел в составе LST. Дополнительные резервуары — это маломощные тела приливно-отливного генезиса в составе TST и аллювиального генезиса в составе HST. Подошва секвенса PK 3-2 проведена по контактам прибрежно-морских песчаников TST с приливно-отливными и болотными фациями, свидетельствующими о событийной трансгрессии береговой линии. С TST секвенса PK 3-2 связан один из основных резервуаров месторождения — пласт ТП₁. Границы выделенных секвенсов могут быть прослежены на сейсмических разрезах акустического импеданса. В зависимости от временной мощности в поле импеданса секвенсы отображаются как двух-, трех- и четырехслойные последовательности пластов, что открывает возможность их дальнейшего изучения методом инверсии волнового поля.

Секвенс-стратиграфия субконтинентальных отложений, танопчинская свита, резервуары углеводородов

SEQUENCE STRATIGRAPHY OF SUBCONTINENTAL RESERVOIRS OF THE UPPER PART OF THE TANOPCHA FORMATION OF THE MINKHOV FIELD (North of Western Siberia)

М.В. Lebedev, А.Н. Shakirova, А.В. Velikikh, Л.В. Lapina, С.А. Lebedev,
R.B. Yanevits, A.I. Politova, A.A. Snokhin

The purpose of this paper is to present the results of sequence stratigraphic modeling of subcontinental reservoirs of the Tanopcha Formation upper part (Lower Cretaceous) of the Minkhov field, located in the northern part of the Messov oil and gas region of the Gydan oil and gas region. The study is vital due to the need for additional exploration and commissioning of hydrocarbon reserves in the lower part of the Pokur suprahorizon in the north of Western Siberia. The modeling is based on sedimentological columns for four wells, in which the object of study was characterized by a core with sufficient completeness. The structure of seven sequences has been studied. Sequences PK 2-2, 2-3, 2-4, 2-5, 2-6, and PK 3-1, in accordance with the classical concept, are divided into three systems tracts: lowstand (LST), transgressive (TST), highstand (HST). The boundaries of the sequences are outlined along the erosive surfaces in the bottom of the alluvial complexes. LST tops — on contacts of alluvial facies with tidal, marsh, lake sediments, indicating flooding of the coastal plain at the beginning of transgressions. TST tops — on contacts of facies of the tidal plain with alluvial deposits, indicating the beginning of normal regressions. The main reservoirs of the object are large belts and covers of alluvium of amalgamating channels as part of the LST. Additional reservoirs are thin bodies of tidal genesis in the composition of TST, and alluvial genesis in the composition of HST. The bottom of the PK 3-2 sequence was outlined on the contacts of coastal-marine TST sandstones with tidal and marsh facies, indicating the event transgression of the coastline.

One of the main reservoirs of the field, the TP_1 formation, is connected to the TST of the PK 3-2 sequence. The boundaries of the selected sequences can be traced on seismic sections of acoustic impedance. Depending on the temporary thickness in the impedance field, the sequences are displayed as two-, three- and four-layer sequences of layers, which opens up the possibility of their further study by the method of wave field inversion

Sequence stratigraphy of subcontinental deposits, Tanopcha Formation, hydrocarbon reservoirs

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с «Новой парадигмой стратегии развития сырьевой базы нефтедобывающей промышленности Российской Федерации» [Конторович, Эдер, 2015], доразведка и вовлечение в разработку запасов углеводородов в субконтинентальных резервуарах нижней части покурского надгоризонта в настоящее время является одной из самых актуальных проблем нефтегазовой геологии Западной Сибири. Сложность ее решения не в последнюю очередь определяется неоднозначностью корреляции продуктивных резервуаров даже между соседними разведочными скважинами, а также сложностью их локализации в сейсмическом волновом поле и, соответственно, ненадежностью количественного прогноза фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) по данным сейсморазведки. Именно к таким запасам можно отнести скопления углеводородов в танопчинской свите, выделенной в Ямalo-Гыданском районе.

Представляется, что преодоление указанных сложностей может быть основано на концептуальных фациально-стратиграфических моделях рассматриваемых отложений, определяющих их внутреннюю архитектуру. Очевидно, что конструировать их следует на изученных площадях, к числу которых относится Минховское месторождение (рис. 1).

Минховское месторождение расположено на берегу Тазовской губы, в 31 км северо-западнее с. Антипают. В тектоническом отношении оно связано с локальной структурой в центральной части Антипаутинской впадины, входящей в состав Сеяхинско-Антипаутинского пояса впадин (ЗапСибНИГНИ, В.С. Бочкарев, 1990 г.). В нефтегазогеологическом отношении месторождение относится к северной части Мессовского нефтегазоносного района Гыданской нефтегазоносной области и является многозалежным. Пласти TP_{1-5} аптского возраста, входящие в состав верхней части танопчинской свиты, включают в себя основные запасы газа.

Согласно масштабному обобщению данных по палеогеографии Западно-Сибирского осадочного бассейна, в меловом периоде [Конторович и др., 2014] изучаемая территория в рассматриваемое время находилась в области переходного осадконакопления, т. е., в пределах прибрежной равнины, временами заливавшейся морем. Разрез представлен фациями пойменного, озерно-болотного, руслового, дельтового, пляжево-барового генезиса.

Более подробно условия формирования танопчинской свиты рассмотрены в статье О.С. Генераленко и Е.Н. Бардаченко [2017]. Интересующая нас часть разреза описана как комплекс отложений междельтового приливно-отливного побережья (пласти TP_{2-15}) и комплекс отложений дельты головной части полуоткрытого залива (пласт TP_1), который перекрыт открыто-морским комплексом отложений. Основной результат статьи — детальный фациальный состав танопчинской свиты. Крайне важно картирование смены субконтинентального режима седиментации прибрежно-морским на уровне пласта TP_1 . Вместе с тем следует отметить, что на рис. 2, 3 рассматриваемой статьи, посвященных геологическому строению групп пластов TP_{16-25} , TP_{11-16} , TP_{2-10} , отсутствует геосистемная стратификация отложений. Показана она только на рис. 4, где по данным сейсморазведки танопчинская свита расчленена на три генетических секвенса, ограниченных поверхностями максимального затопления (maximum flooding surface, MFS). При этом их внутренняя структура рассматривается как двучленная: регрессивно-трансгрессивная.

Очень важным шагом вперед на пути изучения внутреннего строения танопчинской свиты является статья большого коллектива авторов из Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, посвященная секвенс-стратиграфической, био- и литофациальной моделям берриас-аптских нефтегазоносных отложений на западе Гыданского полуострова [Вакуленко и др., 2020]. Интервал залегания пластов TP_{1-5}

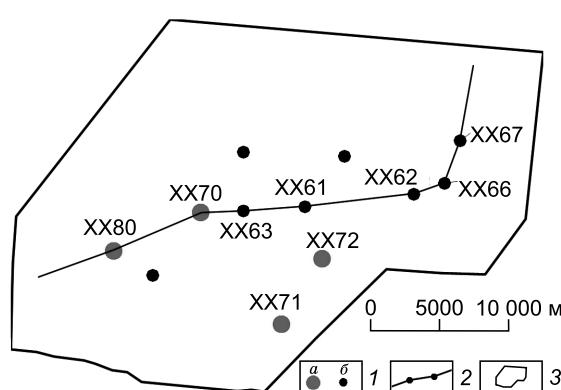


Рис. 1. Схема изученности.

1 — скважины, охарактеризованные керном (а), прочие скважины (б), 2 — положение корреляционного профиля и сейсмического разреза, 3 — контур сейсмической съемки 3D.

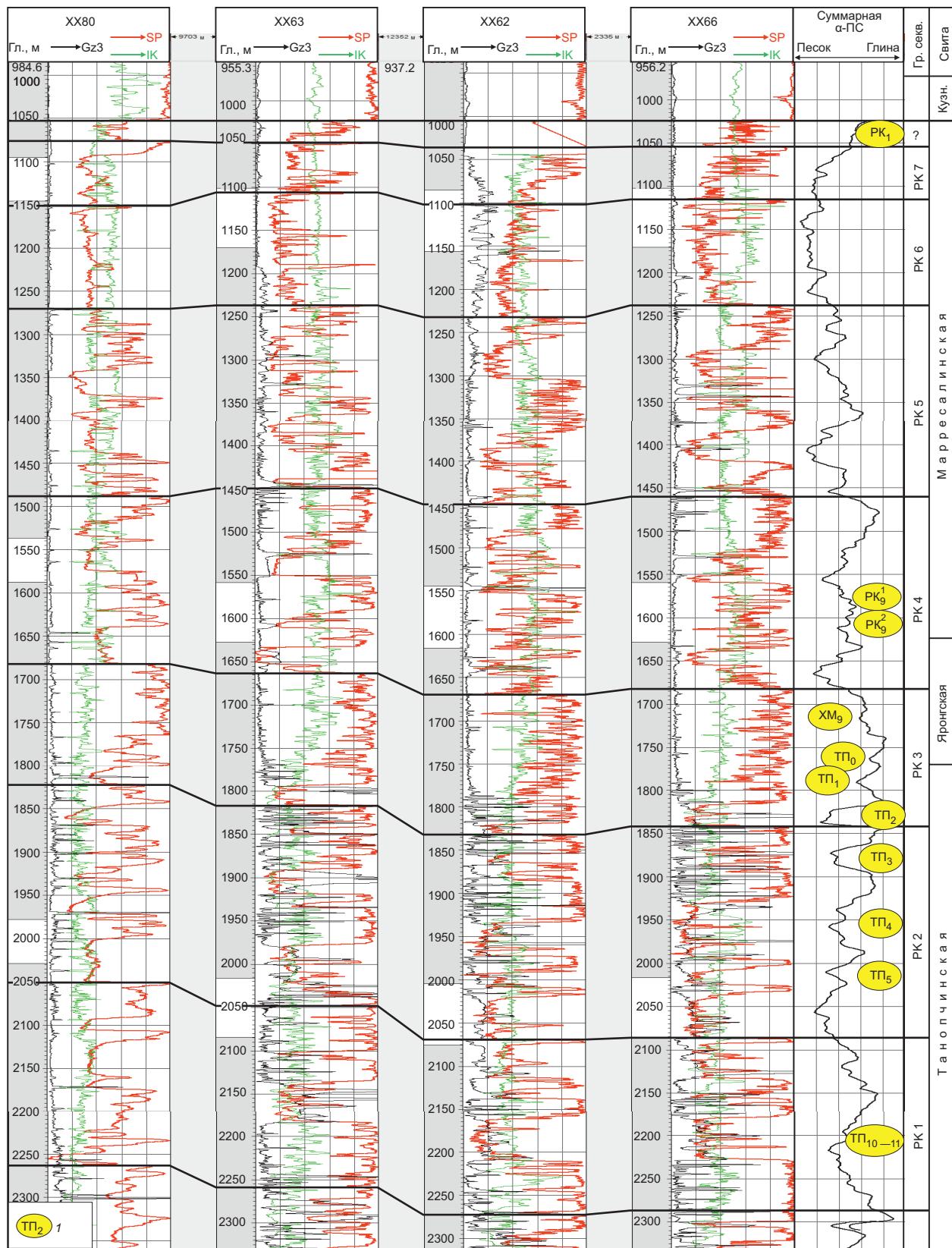


Рис. 2. Пример корреляции выделенных групп секвенсов в разрезах скважин Минховского месторождения.

1 — основные пласти в изучаемом интервале разреза.

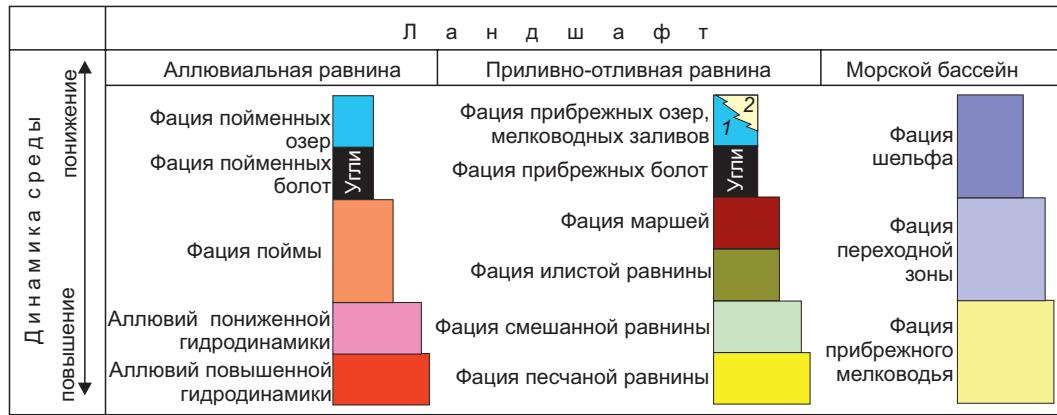


Рис. 3. Фациальный состав верхней части танопчинской свиты Минховского месторождения.

Субфации центральных (1) и прибрежных (2) частей озер, мелководных заливов.

разбит на два секвенса третьего порядка D2 (пласт ТП₅ в основании) и D1. В составе D1 выделены два секвенса четвертого порядка D1b (пласт ТП₄ в основании) и D1a (в основании пласта ТП₂₋₃, в кровле ТП₁). Согласно рис. 3 [Вакуленко и др., 2020] секвенс D2 сложен фацией руслового заполнения, фацией поймы, прибрежными фациями (лагуны, приливно-отливная и надприливная равнины), секвенс D1b — фацией руслового заполнения, прибрежными фациями, секвенс D1a — фациями дельтовой равнины, прибрежными фациями, фациями мелководного шельфа. В рассмотренной статье показано, что использование современной методологии секвенс-стратиграфии позволяет существенно углубить наши представления о внутренней структуре нижнемеловых отложений субконтинентального генезиса, к числу которых относится танопчинская свита, содержащая продуктивные резервуары. Вместе с тем внутреннее строение секвенсов как третьего, так и четвертого порядка в данной статье описано как двуучленное трансгрессивно-регressive, что более характерно для фациально-циклической методологии.

Верхняя часть танопчинской свиты входит в состав нижней части покурского надгоризонта. Его формирование в обстановках аллювиальной равнины, литорали, сублиторали обосновано в статье [Жемчугова, Бербенев, 2018]. Тамже обоснована необходимость использовать при фациальном моделировании рассматриваемых отложений секвенс-стратиграфическую методологию.

По нашему мнению, следующими шагами в развитии секвенс-стратиграфической модели изучаемых отложений должны быть:

- во-первых, описание объекта как вертикальной последовательности секвенсов, расчлененных на системные тракты, и выявление их латеральной неоднородности;
- во-вторых, оценка возможностей современной сейсморазведки при изучении внутреннего строения секвенсов.

Первые результаты исследований приведены в тезисах [Шакирова и др., 2023]. Этой задаче посвящена также и настоящая статья.

СЕКВЕНС-СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОКУРСКОГО НАДГОРИЗОНТА

Известно, что внутренняя корреляция разрезов покурского надгоризонта в рассматриваемом районе вызывает значительные сложности. Сейсмическим методом надежно картируется отражающий горизонт (ОГ) Г, приуроченный к его кровле. Также с разной степенью надежности прослеживается ОГ М в его подошве. ОГ М₁, выделяемый в нижней части покурского надгоризонта, часто связан с различными интервалами повышенной углистости.

Между тем очевидно, что задача конструирования концептуальной фациально-стратиграфической модели объекта предусматривает выделение в нем дробной системы стратиграфических границ. Вслед за [Вакуленко и др., 2020], авторы настоящей статьи полагают, что в основу такой стратификации может быть положена секвенс-стратиграфическая методология. Для данного утверждения есть следующее основание: отложения покурского надгоризонта формировались в обстановках прибрежной равнины, т. е. под влиянием квазициклических колебаний относительного уровня моря.

В данных обстоятельствах к их стратификации можно применить следующий подход [Зундэ, Попов, 2015а, 2015б]. Генезис рассматриваемых отложений можно представить как результат взаимодействия двух факторов, условно названных «региональным» и «случайным». «Региональный» фактор —

| Фации аллювиальных песчаников с повышенной гидродинамикой | Фация поймы с пониженной гидродинамикой | Фации приливно-отливной равнины | | | | Фации прибрежного озера | Морские фации | | |
|--|--|---------------------------------|-----------|-----------|-------------|-------------------------|------------------------|-----------------|--------|
| | | песчаная | смешанная | глинистая | угли, марши | | прибрежного мелководья | переходной зоны | шельфа |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

Рис. 4. Примеры фаций, слагающих верхнюю часть танопчинской свиты и перекрывающие отложения.

это квазициклические колебания относительного уровня моря, предположительно оказывающие одновременное влияние на седиментационную систему в пределах разведочной площади. «Случайный» фактор — это различия в интенсивности поступления осадочного материала, автохтонные перестройки аллювиальных и приливно-отливных систем и так далее. Очевидно, что случайный фактор может полностью «затушевывать» региональный.

В этих условиях для проявления регионального фактора в конкретных разрезах скважин был использован методический прием, заимствованный из методологии сейсморазведки. В методе общей глубинной точки для усиления полезного сигнала и подавления помех сейсмические трассы сначала выравниваются с помощью ввода различных поправок, а затем суммируются. Аналогичным образом можно поступить и с каротажными диаграммами α -ПС в скважинах. На первом этапе, с целью устранения влияния различного тектонического прогибания, каротажные диаграммы пересчитываются таким образом, чтобы мощность отложений между опорными границами стала одинаковой. Затем вновь полученные кривые подискретно суммируются, а итоговые суммотрассы нормируются путем деления на количество скважин. В результате, в случае корректности принятых допущений, на суммарной кривой α -ПС уровни преимущественного развития песчаных и глинистых отложений должны усиливаться, а случайные флюктуации — подавляться. Для района Минховского месторождения такая процедура была выполнена для 16 разведочных скважин, выравнивание проводилось между кровлей покурского надгризонта, подошвой пласта ТП₂, кровлей нейтинской пачки. Результаты приведены на рис. 2 (суммарная кривая α -ПС).

Полученная суммарная кривая параметра α -ПС, по мнению авторов, отражает колебания относительного уровня моря Западно-Сибирского мелового бассейна в районе исследования. Локальные литологические изменения, вызванные внутренними процессами в седиментационных системах, в ней в значительной степени подавлены. Следует отметить, что смена субконтинентальных фаций прибрежно-морскими и морскими фациями в районе границы танопчинской и яронгской свит достаточно хорошо совпадает с началом общего повышения эвстатического уровня моря в начале альба, показанного в работах [Sahagian et al., 1996; Hardenbol et al., 1998]. Соответственно данный уровень имеет хорошие перспективы для корреляции рассматриваемых отложений на различных площадях.

В результате анализа полученной суммарной кривой основную часть покурского надгоризонта Минховского месторождения удалось расчленить на семь групп секвенсов РК 1—7. Выбор их границ определялся выраженностью в суммарной кривой α -ПС и, соответственно, возможностью их картиро-

вания, которая продемонстрирована на рис. 2. Основные пласти в рассматриваемом интервале обозначены в желтых овалах.

Далее необходимо кратко остановиться на обсуждении природы и порядка выделенных подразделений. Как следует из [Miall, 2010], данный вопрос крайне сложный. Традиционно секвенсы, выделенные на высокочастотной кривой абсолютных изменений уровня моря, относятся к третьему порядку [Наq, 2013]. Тогда ко второму порядку должны быть отнесены секвенсы, соответствующие циклам на низкочастотной эвстатической кривой. Из упомянутой работы можно сделать вывод, что изучаемый интервал разреза входит в состав двух генетических секвенсов II порядка, выделенных по максимумам эвстатической кривой в нижней части баррема, на границе альба и сеномана, на границе сеномана и турона. Также из работы [Наq, 2013, рис. 4] следует, что в интервале апт—сеноман выделяется 21 секванс III порядка. Таким образом, выделенные в настоящем исследовании подразделения крупнее секвенсов III порядка, но мельче секвенсов II порядка, поэтому их условно предлагается рассматривать как рабочие группы секвенсов, предназначенные для решения практической задачи выделения опорных границ в разрезе покурского надгоризонта на разведочной площади.

Как следует из рис. 2, интервал залегания пластов ТП₁₋₅ (объект настоящего исследования) входит в состав групп секвенсов РК 2 и РК 3. С нашей точки зрения, выделенные границы идентифицируются достаточно надежно.

ФАЦИИ ВЕРХНЕЙ ТАНОПЧИНСКОЙ СВИТЫ МИНХОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В нескольких разведочных скважинах Минховского месторождения из верхней части танопчинской свиты отобран представительный керновый материал: интервалы практически непрерывного отбора составили более 200 м. Седиментологами Центра исследований керна ООО «ТННЦ» было выполнено его детальное изучение, результаты которого положены в основу настоящей статьи.

В верхней части танопчинской свиты, как и в цитированных выше статьях, выделен полный комплекс отложений прибрежной равнины и прилегающего к ней прибрежного мелководья. Отдельно необходимо обсудить вопрос о классификации фаций, поскольку весьма часто разные авторы описывают одни и те же отложения с использованием различных терминов, при этом примерно одинаково понимая их генезис. В данной работе путем внутреннего компромисса приняты следующие рабочие варианты систем фаций, основанных на комбинации ландшафтного и динамического принципов их выделения [Попов и др., 1963]. Также учитывались традиции в районировании различных ландшафтов и возможности седиментологии по опознаванию соответствующих фаций [Рейнек, Сингх, 1981; Алексеев, 2014; и др.]. На рисунке 3 они объединены в три последовательности.

Прежде чем перейти к описанию выделенных фаций, необходимо сделать еще несколько замечаний. Угли пойменных и прибрежных болот, скорее всего, надежно разделяются на основе включающих их фациальных ассоциаций, поэтому для них приведено единое описание. Отложения пойменных озер, по нашим представлениям, в разрезах не выявлены, поэтому их описание отсутствует. Основные фации, слагающие объект исследования, проиллюстрированы на рис. 4.

Фация аллювия, сформированного в обстановках с повышенной гидродинамикой среды. Песчаники светло-серые среднемелкозернистые до мелкосреднезернистых, с чешуйками слюды, массивные либо со слабовыраженной крупной косой слоистостью, подчеркнутой изменением зернистости и слойками углистого дегрита, прослойми с тонкими уплощенными глинистыми интракластами, пористые, крепкие. В основании фации часто присутствуют прослои песчаников с пуддинговой текстурой, обусловленной многочисленными разноразмерными интраклостами полуокатанными и неокатанными, уплощенных и неправильных форм, алевроглинистого состава, размером от долей сантиметра до выходящих за пределы диаметра керна, с внутренней реликтовой тонкой слоистостью.

Органические остатки: углефицированный растительный дегрит, фрагменты углефицированной древесины.

Фация аллювия, сформированного в обстановках с пониженной гидродинамикой среды. Песчаники светло-серые тонкомелкозернистые, алевритистые, с чешуйками слюды, с мелкой косой, фазерной, субгоризонтальной и пологоволнистой слоистостью, подчеркнутой углисто-глинистыми слойками, участками сконцентрированными в тонкие невыразительные прослои до 3 см, пористые, крепкие.

Органические остатки: углефицированный растительный дегрит, могут появляться ризокреции.

Фация поймы. Алевролиты темно-серые крупномелкозернистые, глинистые, до аргиллитов алевритовых с чешуйками слюды, тонкослоистые, линзовидные за счет редких слойков и линз светло-серого алевропесчаного материала, участками неслоистые, нарушенные прорастанием корней растений, с редкими следами биотурбации, с немногочисленными агрегатами сидерита, плотные, крепкие.

Ихновиды: мелкие горизонтальные ходы. Органические остатки: многочисленные ризокреции, углефицированный растительный дегрит.

Фация песчаной приливно-отливной равнины (покровы, приливно-отливные протоки). Песчаники светло-серые тонкомелковозернистые, мелкотонковозернистые и алевролиты светло-серые мелкокрупнозернистые, песчанистые, с чешуйками слюды, с мелкой косой, косоволнистой и пологоволнистой слоистостью, подчеркнутой тонкими глинисто-углистыми слойками, слабобиотурбированные, с единичными трещинами синерезиса, пористые, крепкие.

Ихновиды: *Lingulichnus*, *Cylindrichnus*, *Lockeia*, *Planolites*, *Skolithos*, следы бегства. Органические остатки: ризокреции, углефицированный растительный детрит.

Фация смешанной приливно-отливной равнины. Ритмичное переслаивание песчаников и алевролитов. Песчаники светло-серые тонкомелковозернистые, мелкотонковозернистые, алевритовые, с чешуйками слюды, с внутренней мелкой косой, косоволнистой слойчатостью, подчеркнутой углисто-глинистыми слойками. Алевролиты темно-серые крупномелковозернистые, мелкокрупнозернистые глинистые, песчанистые, тонкослоистые, либо однородные.

Текстура переслаивания линзовидно-волнистая, пологоволнистая, слабо до умеренно нарушенная биотурбацией, участками нарушена конседиментационными деформациями.

Ихновиды: *Asterosoma*, *Lingulichnus*, *Lockeia*, *Cylindrichnus*, *Planolites*. Органические остатки: углефицированный растительный детрит, ризокреции.

Фация илистой приливно-отливной равнины.

Алевролиты темно-серые крупномелковозернистые, глинистые, с чешуйками слюды, тонкослоистые либо с линзовидно-волнистой слоистостью, подчеркнутой редкими слойками и линзами светло-серого алевропесчаного материала, слабобиотурбированные, со стяжениями пирита и агрегатами сидерита, плотные, крепкие.

Ихновиды: *Cylindrichnus*, *Planolites*, мелкие вертикальные и горизонтальные ходы. Органические остатки: ризокреции, углефицированный растительный детрит.

Фация маршей. Алевролиты темно-серые крупномелковозернистые, глинистые до аргиллитов алевритовых, тонкослоистые либо неслоистые, нарушенные редкими следами биотурбации и прорастанием корней растений.

Ихновиды: *Planolites*, мелкие горизонтальные ходы. Органические остатки: ризокреции, обилие углефицированного растительного детрита, фрагменты углефицированной древесины и стеблей растений.

В составе пойменных фаций и фаций маршей часто присутствуют **палеопочвы**, представленные аргиллитами коричневато-серыми, алевритистыми, с комковатой текстурой за счет прорастания корней растений, интенсивно трещиноватыми. Органические остатки: частые ризокреции, углефицированный растительный детрит, фрагменты углефицированной древесины.

Фация болот. Угли черные с жирным блеском, иногда с прослойями аргиллитов углистых тонкослоистых, трещиноватые, хрупкие.

Органические остатки: обильный углефицированный растительный детрит, фрагменты углефицированной древесины.

Фация прибрежных озер, мелководных заливов. В этих отложениях выделены две субфации.

Субфация центральных частей: алевролиты темно-серые, почти черные, мелковозернистые, сильно-глинистые до аргиллитов алевритовых, тонкослоистые, с редкими алевропесчаными слойками и линзами, со следами биотурбации, пятнисто сидеритизированные, со стяжениями пирита, плотные, крепкие.

Ихновиды: *Planolites*, *Chondrites*, мелкие вертикальные и горизонтальные ходы. Органические остатки: углефицированный растительный детрит.

Субфация прибрежных частей: песчаники тонкомелковозернистые, алевритистые, с мелкой косой, фазерной слоистостью, подчеркнутой углисто-глинистыми слойками, участками нарушенные процессами оползания, с редкими следами биотурбации, с агрегатами сидерита, пористые, крепкие.

Ихновиды: *Cylindrichnus*, *Planolites*, мелкие вертикальные и горизонтальные ходы. Органические остатки: углефицированный растительный детрит.

Фация прибрежного мелководья. Песчаники светло-серые мелкотонковозернистые, тонкомелковозернистые, алевритовые, с чешуйками слюды, послойно с глинисто-карбонатным цементом, с субгоризонтальной, бугорчатой слоистостью, подчеркнутой слойками углисто-глинистого материала, неравномерно (от единичных следов до интенсивных проявлений) биотурбированные, со стяжениями пирита и сидерита, пористые, крепкие. Характерны пологоволнистые прослои алевролитов темно-серых мелковозернистых глинистых, градационных толщиной от 0.5 до 6.0 см.

Ихновиды: *Asterosoma*, *Chondrites*, *Diplocraterion*, *Palaeophycus*, *Planolites*, *Skolithos*, *Ophiomorpha* и др. Органические остатки: углефицированный растительный детрит, фрагменты раковин двустворок.

Фация переходной зоны. Отложения представлены неравномерным чередованием песчаников и алевролитов.

Песчаники серые мелкотонковозернистые, алевритовые, неравномерно-глинистые, с чешуйками слюды, неясно-слоистые, интенсивно биотурбированные, пористые, крепкие.

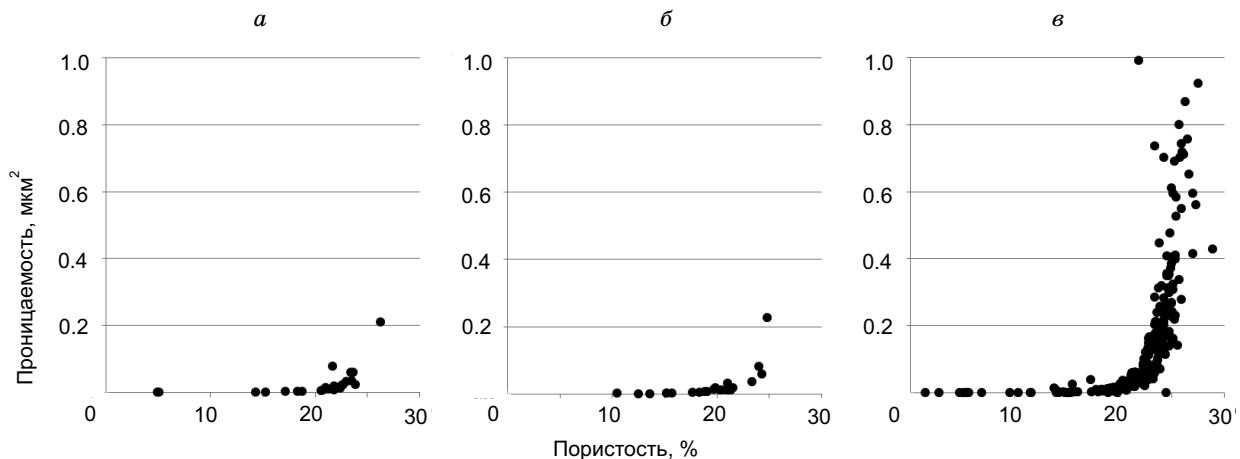


Рис. 5. Характеристика коллекторских свойств резервуаров разного генезиса.

Резервуары: *а* — прибрежно-морские, *б* — приливно-отливные, *в* — аллювиальные.

Алевролиты темно-серые разнозернистые, песчанистые, глинистые, с чешуйками слюды, неясно-слоистые, с линзами светло-серого тонкопесчаного материала, интенсивно биотурбированные, со стяжениями пирита, плотные, крепкие.

Ихновиды: *Asterosoma*, *Chondrites*, *Cosmorhaphe*, *Helminthopsis*, *Palaeophycus*, *Phycosiphon*, *Scolicia*, *Zoophycos*, *Thalassinoides* и другие.

Органические остатки: раковинный детрит, углефицированный растительный детрит.

Фация шельфа. Алевролиты темно-серые крупномелкозернистые, глинистые, до аргиллитов алевритовых, с чешуйками слюды, тонкослоистые, реже с пологоволнистой, линзовидной слоистостью, подчеркнутой редкими слойками и шаровидными линзочками алевропесчаного материала, слабобиотурбированные, участками полосчато-сидеритизированные, плотные, крепкие.

Ихновиды: *Chondrites*, *Helminthopsis*, *Planolites* и др.

Органические остатки: углефицированный растительный и раковинный детрит.

В завершение раздела приведем краткую характеристику коллекторских свойств фаций, содержащих основные резервуары объекта исследования. Это прибрежно-морские алевролиты и песчаники, приливно-отливные алевролиты и песчаники, аллювиальные песчаники. На рисунке 5 приведены кросс-плоты, отражающие соотношение пористости и проницаемости в упомянутых отложениях. На них видно, что при примерно одинаковой пористости, проницаемость прибрежно-морских и приливно-отливных резервуаров может достигать 0.1—0.2 мкм^2 , а проницаемость аллювиальных песчаников — до 1 мкм^2 . Локальные ухудшения коллекторских свойств аллювиальных резервуаров, как правило, связаны с их послойной карбонатизацией.

Полученные данные совместно с общими представлениями о внутреннем строении секвенсов в субконтинентальных разрезах были положены в основу главных результатов работы.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТРОЕНИЯ СЕКВЕНСОВ В СУБКОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ПРИБРЕЖНЫХ РАВНИН

Как следует из данных, приведенных в монографии [Miall, 2010], секвенс-стратиграфия субконтинентальных отложений прибрежных равнин, испытывающих влияние колебаний относительного уровня моря, в настоящее время уже достаточно хорошо разработана. Ключевыми здесь являются работы [Wright, Marriott, 1993; Shanley, McCabe, 1994; Gibling, Bird, 1994], а также [Miall, 1996]. В современных работах [Miall, 2010; Catuneanu et al., 2011; и др.] приведены концептуальные модели секвенсов в отложениях прибрежных равнин, испытывавших влияние трансгрессий и регрессий береговой линии. Во всех этих трудах секвенсы описаны как вертикальные последовательности трех системных трактов: нижнего LST, трансгрессивного TST, верхнего HST. Влияние на субконтинентальную седиментацию покурского времени изменения относительного уровня моря показано в работе [Жемчугова, Бербенев, 2018].

Анализ литературных данных совместно с результатами собственных исследований позволил нам построить авторскую версию секвенс-стратиграфической модели субконтинентальных отложений прибрежной равнин, адаптированную к объекту исследования (рис. 6).

Падение относительного уровня моря в районе береговых линий приводит к понижению профиля аллювиального равновесия на прибрежной равнине и, как следствие, к формированию стратиграфиче-

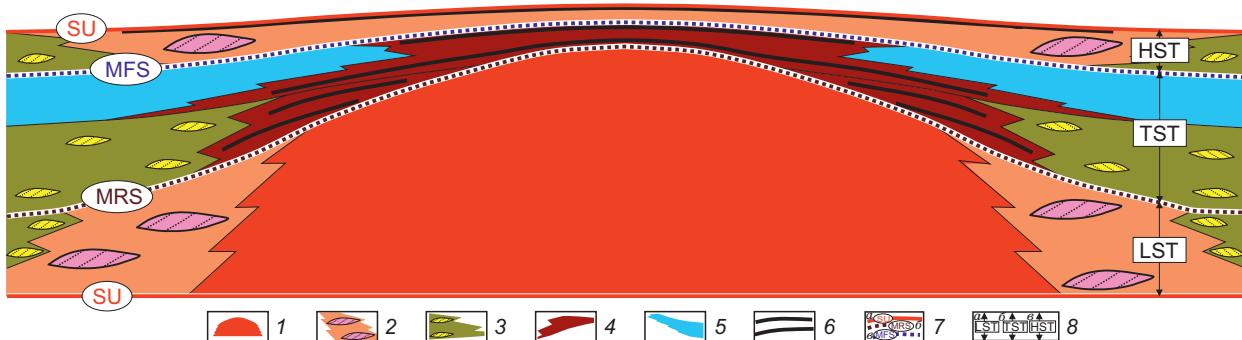


Рис. 6. Концептуальная модель секвенса в субконтинентальных отложениях прибрежной равнины.

1 — пояса развития аллювия амальгамирующих русел; 2 — пойменные отложения с песчаными телами меандрирующих русел; 3 — приливно-отливные отложения с песчаными телами приливно-отливных каналов; 4 — марши; 5 — озерные отложения; 6 — прослои углей; 7 — секвенс-стратиграфические поверхности: *a* — стратиграфическое несогласие SU, *б* — поверхность максимальной регрессии MRS, *в* — поверхность максимального затопления MFS; 8 — системные тракты: *a* — нижний LST, *б* — трансгрессивный TST, *в* — верхний HST.

ского несогласия. Поэтому системный тракт стадии падения уровня моря FSST в разрезах субконтинентальных отложений, скорее всего, отсутствует (ему соответствует эрозионная поверхность — граница секвенса).

Начало повышения относительного уровня моря в районе береговых линий приводит к смене форсированно-регрессивного режима седиментации на нормально-регрессивный. На прибрежной равнине это обеспечивает повышение профиля аллювиального равновесия и возникновение аккумулятивного пространства, доступного для заполнения осадками. В результате там начинают формироваться мощные пояса аллювиальных песчаников типа амальгамирующих русел, разделенные участками относительно маломощных пойменных, а, возможно, и приливно-отливных отложений. Это нижний системный тракт LST. Наши исследования показали (см. ниже), что в период формирования LST на прибрежной равнине может быть сформирован достаточно контрастный аккумулятивный рельеф, определяющий особенности дальнейшей седиментации.

Продолжение повышения относительного уровня моря в районе береговых линий приводит к трансгрессии последних. Следствием этого является интенсивное смещение профиля аллювиального равновесия в сторону суши и подавление аллювиальной деятельности. На прибрежной равнине начинает формироваться комплекс отложений приливно-отливной равнинны. Это приливно-отливные песчаники, отложения смешанной, илистой приливно-отливной равнинны и маршей с палеопочвами в верней части. Моменты подтоплений прибрежной равнинны маркируются горизонтами углей и фациями озер, мелководных заливов. Данный комплекс отложений обычно обособляется в трансгрессивный системный тракт TST.

Завершение повышения относительного уровня моря в районе береговых линий и начало его снижения вновь приводит к их нормальной регрессии и к возобновлению на прибрежной равнине аллювиальной деятельности. В результате этого формируются, как правило, маломощные преимущественно пойменные отложения верхнего системного тракта HST с немногочисленными телами аллювиальных песчаников.

Последующее падение относительного уровня моря приводит к формированию новой поверхности стратиграфического несогласия на прибрежной равнине и, как следствие, к завершению формирования секвенса.

Заканчивая данный раздел, необходимо отметить, что приведенная на рис. 6 модель является одним из вариантов предельного упрощения реальной ситуации. Цикличность более высоких порядков, формирование фациальных и внутриформационных стратиграфических несогласий приводят к значительно более сложному сочетанию фаций в реальных разрезах.

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫДЕЛЕНИЯ И КОРРЕЛЯЦИИ СЕКВЕНСОВ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ТАНОПЧИНСКОЙ СВИТЫ

В основу выделения и корреляции секвенсов в верхней части танопчинской свиты были положены результаты седиментологического анализа керна четырех скважин, практически непрерывно отобранного в более чем 200-метровых интервалах (рис. 7). Разрезы скважин выровнены на подошву трансгрессивных прибрежно-морских песчаников пласта ТП₁. Как уже отмечалось, верхняя часть танопчин-

ской свиты входит в состав групп секвенсов РК 2 и РК 3. В результате проведенных исследований в составе группы РК 2 выделены шесть секвенсов, в составе группы РК 3 — два секвенса. Секвенс РК 2-1 керном не охарактеризован.

Секвенс РК 2-2 представительно охарактеризован керном только в скв. ХХ80. Нижняя граница не вскрыта.

Охарактеризованный керном разрез *LST* начинается с трехметрового пласта мелкокосослоистых аллювиальных песчаников, сформированных в обстановке с пониженной гидродинамикой. Его перекрывает пласт глинистых алевролитов поймы. Мощность *LST* 9 м.

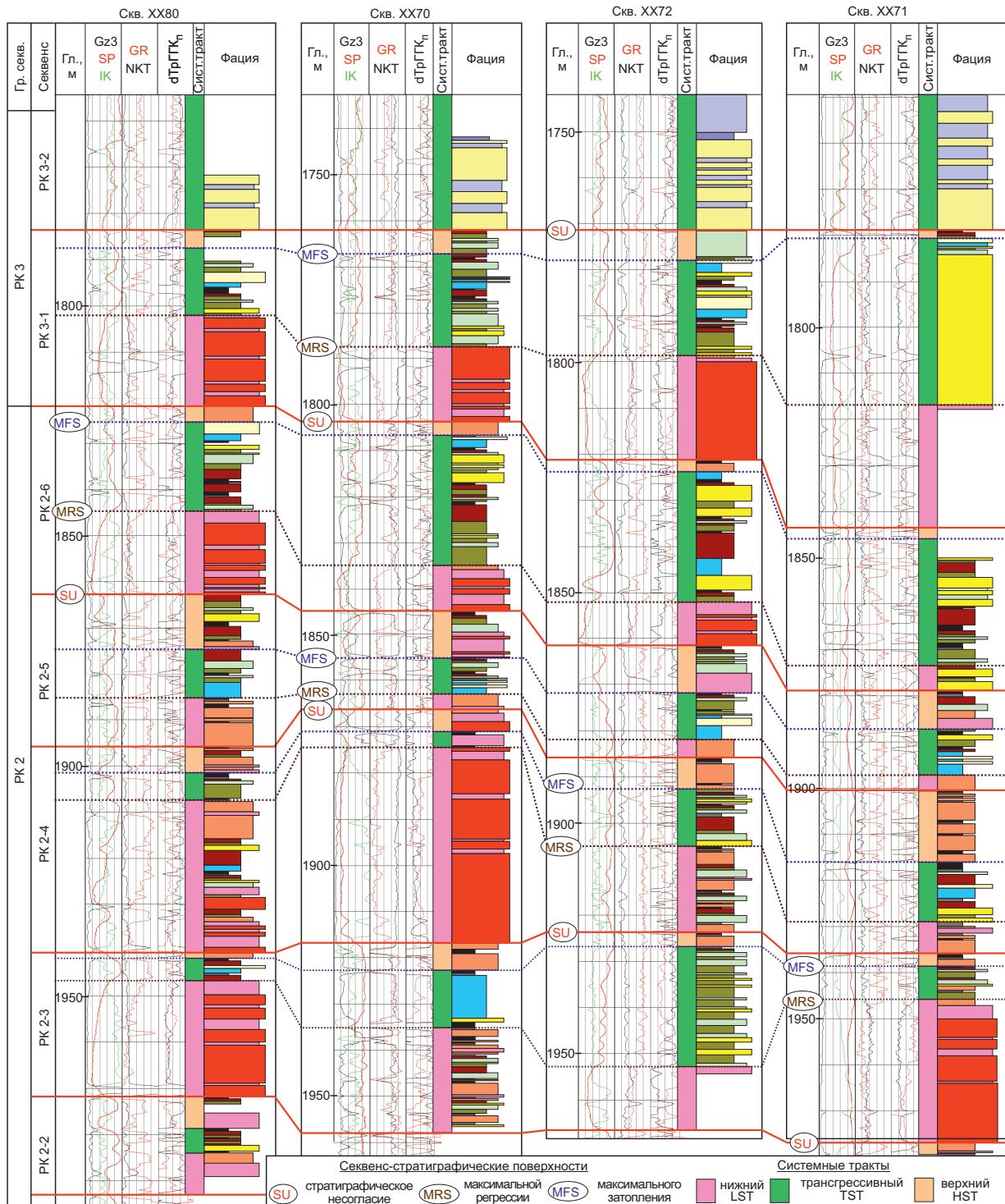


Рис. 7. Результаты выделения секвенсов и системных трактов в верхней части танопчинской свиты.

Усл. обозн. см. на рис. 3. Положение скважин см. на рис. 1.

Разрез TST представлен чередованием фаций приливно-отливной равнины, маршей, углей, среди которых фиксируются мелкие приливно-отливные песчаные протоки в нижней части. Такое сочетание фаций предполагает их формирование в условиях подтопления прибрежной равнины. Мощность TST 5.4 м.

Разрез HST имеет двучленное строение. Нижняя часть — аллювий пониженной гидродинамики мощностью 3.3 м. Верхняя часть (3.6 м), судя по фрагментам керна, вероятно, пойменные, приливно-отливные, маршевые отложения с прослоем угля в кровле. Мощность HST 6.9 м.

Общая мощность секвенса в скв. XX80 21.3 м.

Секвенс РК 2-3 представительно охарактеризован керном во всех четырех скважинах. Нижняя граница секвенса вскрыта в двух скважинах. В скважине XX80 это резкая эрозионная граница, разделяющая аллювиальные песчаники и угли, в скв. XX71 также резкая эрозионная граница, отделяющая аллювиальные песчаники от глинистых алевролитов поймы, в кровле которых залегает пятисантиметровый слой углей.

Системный тракт LST достаточно изменчив по латерали. Его кровля в скв. XX80 проведена по подошве фации марша, в скв. XX70 — по кровле палеопочки, в скважинах XX72 и XX71 — по границе, отделяющей вышележащие отложения приливно-отливной равнины от аллювиальных песчаников и фации поймы.

Мощность LST в скв. XX80 составляет 25.1 м, это практически монолитное песчаное тело, образованное чередованием различных типов руслового аллювия; в скв. XX70 (22.8 м) он представлен частым чередованием глинисто-алевритовых фаций поймы, приливно-отливной равнины, маршей, углей, с редкими прослойями аллювиальных приливно-отливных песчаников. В скважинах XX72 и XX71 соответственно 13.8 и 31.1 м, в обоих случаях LST сложен практически монолитными телами аллювиальных песчаников.

Представленные материалы показывают, что в период низкого стояния уровня моря на рассматриваемой площади образовался достаточно контрастный аккумулятивный рельеф, обусловленный различной скоростью седиментации в осевых и периферийных частях аллювиальной системы и влияющий на седиментацию более молодых отложений.

Системный тракт TST также изменчив по латерали. Верхняя его граница во всех скважинах проведена по подошве маломощных глинисто-алевритовых отложений поймы.

Мощность TST в скв. XX80 составляет 4.9 м, он представлен последовательностью фаций марша, палеопочки, озера, марша, болота. В скважине XX70 (12.5 м) болотно-озерные отложения; в скв. XX72 (26.1 м) чередование фаций песчаной, смешанной, илистой приливно-отливной равнины; в скв. XX71 (7.2 м) чередование различных фаций приливно-отливной равнины, маршей, палеопочки, углей. Проведенная корреляция показывает, что TST частично компенсирует рельеф, образовавшийся на предшествующем этапе формирования секвенса.

Системный тракт HST во всех разрезах представлен маломощной последовательностью пойменных и угольных отложений. Мощность его составляет в скв. XX80 1.2 м, в скв. XX70 5.9 м, в скв. XX72 3.1 м, в скв. XX71 2.8 м.

Общая мощность секвенса в скв. XX80 составляет 31.2 м, в скв. XX70 — 41.2 м, в скв. XX72 — 43 м, в скв. XX71 — 41.1 м.

Секвенс РК 2-4 представительно охарактеризован керном во всех четырех скважинах. Строение его более изменчиво по латерали по сравнению с секвенсом РК 2-3, что уже существенно затрудняет межскважинную корреляцию рассматриваемых отложений. Определение нижней границы секвенса в скважинах XX80 и XX70 не вызывает существенных сложностей: в обоих случаях это резкий эрозионный контакт аллювиальных песчаников с подстилающими пойменными отложениями. В скважине XX80 границу подстилает десятисантиметровый прослой угля, в скв. XX70 границу перекрывает полутораметровый слой внутриформационных конгломератов. Однако в скважинах XX72 и XX71 она проведена внутри пойменных отложений по кровле пласта угля путем корреляции с соседними разрезами.

Системный тракт LST в основном определяет латеральную изменчивость описываемого секвенса. Его кровля в скв. XX80 проведена между пойменными и приливно-отливными отложениями по подошве прослоя углей. Но в скважине XX70 на этом уровне глинисто-алевритовые отложения приливно-отливного генезиса уже не выделены, поэтому граница проведена по подошве нижнего угольного прослоя, фиксирующего момент начала подтопления равнины. В скважинах XX72 и XX71 кровля LST также проведена по нижней границе песчаников приливно-отливного генезиса.

Мощность LST в скв. XX80 составляет 33.2 м, в нижней части он сложен аллювиальными песчаниками, в средней части — чередованием фаций приливно-отливной равнины, марша, болот и озер, в верхней части — пойменными отложениями. В скважине XX70 (42.5 м) это практически монолитное тело аллювиальных песчаников; в скв. XX72 (18.7 м) системный тракт представлен частым чередованием глинисто-алевритовых отложений поймы, приливно-отливной зоны, маршей, углей; в скв. XX71 (6.9 м) это преимущественно пойменные отложения с прослойями палеопочки, углей, аллювиальных песчаников.

Как и в предыдущем случае, в период низкого стояния уровня моря в результате аллювиальной деятельности был сформирован весьма контрастный рельеф, повышенные участки которого соответствовали поясам развития аллювиальных систем амальгамирующих русел с повышенной скоростью седиментации, пониженные участки — межрусловым пространствам с пониженной скоростью седиментации.

Системный тракт TST также значительно изменяется по латерали. Верхняя его граница в скважинах XX80 и XX70 проведена по подошве аллювиальных песчаников, в скважинах XX72 и XX71 — по подошве глинисто-алевритовых отложений поймы.

Мощность TST в скв. XX80 составляет 5.9 м, это в основном глинисто-алевритовые отложения приливно-отливной равнины с метровым пластом углей в кровле. В скважине XX70 (3.4 м) разрез начинается с прослойя углей (0.3 м), основную часть составляет фация аллювиальных песчаников пониженной гидродинамики (2.4 м), венчает разрез слой угля (0.7 м); в скв. XX72 (12.5 м) чередование различных фаций приливно-отливной равнины, маршей, палеопочв, углей; в скв. XX71 (12.9 м) разрез начинается с прослойя приливно-отливных песчаников, далее следует чередование маршей, палеопочв, озерных отложений, включая алевропесчаники прибрежной части. Завершают разрез фации марша, приливно-отливной равнины, палеопочвы, уголь. Судя по распределению мощностей, TST частично компенсирует депрессию, возникшую в ходе формирования LST.

Системный тракт HST в скв. XX80 имеет мощность 5.6 м, образован в нижней части аллювиальными песчаниками, в остальной части фациями поймы, приливно-отливной равнины марша, палеопочвы, углей. В скважине XX70 (4.8 м) он представлен в основном аллювиальными песчаниками с прослойем пойменных отложений в верхней части. В скважинах XX72 и XX71 (соответственно 6.9 м и 15.5 м) это пойменные отложения с прослойями палеопочв и углей. Вероятно, увеличение мощности HST в скв. XX71 также связано с компенсацией ранее возникшей депрессии.

Общая мощность секвенса в скв. XX80 составляет 44.7 м, в скв. XX70 — 50.7 м, в скв. XX72 — 38.1 м, в скв. XX71 — 35.3 м.

Секвенс РК 2-5 существенно отличается от описанных выше, во-первых достаточно стабильной мощностью и фациальным составом, во-вторых, практическим отсутствием песчаников в составе LST, в третьих, достаточно широким распространением аллювиальных песчаников в составе HST. Выделен он благодаря наличию ярко выраженного системного тракта TST. Нижняя граница секвенса в большинстве случаев проведена по кровле скоррелированного прослойя углей.

Системный тракт LST маломощный: 10.7, 3.3, 3.9, 3.5 м соответственно в скважинах XX80, XX70, XX72, XX71. Сложен в основном глинистыми алевролитами поймы.

Системный тракт TST в описываемых разрезах можно рассматривать как маркирующий горизонт. Его подошва во всех разрезах проведена по основанию озерной фации. Во всех скважинах TST представлен последовательностью фаций прибрежного озера и приливно-отливной равнины, маршей с прослойями палеопочв, углей. Его мощность в скважинах XX80, XX70, XX72, XX71 соответственно 10.5, 7.8, 10.1, 9.9 м.

Системный тракт HST во всех разрезах имеет двучленное строение. В скважине XX80 это нижняя последовательность пойменных, приливно-отливных, маршевых, угольных отложений (6 м) и верхняя последовательность приливно-отливных песчаников, глинисто-алевритовых отложений приливно-отливной зоны, марша (6 м). В остальных скважинах нижняя часть образована аллювиальными песчаниками с возможным влиянием приливно-отливных процессов, а верхняя часть — чередованием приливно-отливных отложений, маршей, углей. Мощность HST в скважинах XX80, XX70, XX72, XX71 соответственно 12.0, 10.2, 10.4, 8.4 м.

Общая мощность секвенса в скв. XX80 составляет 33.2 м, в скв. XX70 — 21.3 м, в скв. XX72 — 24.4 м, в скв. XX71 — 21.8 м.

Секвенс РК 2-6 завершает разрез группы РК 2. Его нижняя граница в скважинах XX80, XX70, XX72 проведена по резкому эрозионному контакту аллювиальных песчаников с подстилающими углами и маршами, в скв. XX71 — по контакту приливно-отливных песчаников и углей. Общая мощность секвенса достаточно выдержана по латерали, но внутреннее строение весьма изменчиво.

Системный тракт LST во всех скважинах ограничен подошвой фации илистой приливно-отливной равнины. Его мощность в скважинах XX80, XX70, XX72 соответственно 18.1, 9.9, 9.3 м, представлен практически монолитным телом аллювиальных песчаников. В скважине XX71 мощность LST сокращается до 5.4 м, и сложен он уже чередованием приливно-отливных песчаников, глинисто-алевритовых отложений приливно-отливной равнины и маршей. Таким образом, как и в выше описанных случаях, можно предполагать, что в конце формирования LST возник достаточно контрастный аккумулятивный рельеф.

Системный тракт TST сверху ограничен подошвой пойменной фации. Его мощность в скважинах XX80, XX70, XX72, XX71 соответственно 19.3, 28.4, 28.3, 27.5 м. Представлен частым чередованием фаций приливно-отливной зоны, маршей, углей, озер. Последовательность приливно-отливных пес-

чаников, маршей углей, глинистых отложений прибрежного озера в верхней части TST, по-видимому, можно рассматривать как локальный маркирующий горизонт. Примечательно, что в составе TST на разных уровнях присутствуют резервуары приливно-отливного генезиса.

Системный тракт HST маломощный — 3.5, 3.0, 2.6, 2.4 м соответственно в скважинах XX80, XX70, XX72, XX71. Сложен пойменными отложениями.

Общая мощность секвенса в скв. XX80 составляет 40.9 м, в скв. XX70 — 41.3 м, в скв. XX72 — 40.2 м, в скв. XX71 — 35.3 м.

Секвенс РК 3-1 является базальным членом следующей группы секвенсов РК 3. Нижняя его граница однозначно проводится по эрозионной поверхности — подошве аллювиального покрова.

Системный тракт LST во всех скважинах ограничен подошвой отложений приливно-отливной равнины. Мощность его относительно выдержана в скважинах XX80, XX70, XX72, XX71: 19.7, 16.2, 22.7, 26.7 м соответственно. В первых трех скважинах тракт охарактеризован керном — это практически монолитное тело аллювиальных песчаников, в скв. XX71 такой же состав предполагается по данным ГИС.

Верхняя граница *системного тракта TST* проводится достаточно неоднозначно. В скважине XX70 она отбита в кровле фации марша, маркирующей момент окончания заболачивания равнины, в скважинах XX72 и XX71 — по кровле озерных фаций, в скв. XX80 — путем корреляции с разрезом скв. XX70. В результате мощность TST в скважинах XX80, XX70, XX72 составляет 14.6, 20.2, 20.7 м соответственно. Разрез представлен сложным чередованием фаций приливно-отливной равнины, маршей, углей, озер. В качестве маркирующей пачки можно рассматривать сочетание фаций марша, болота и озера в средней части тракта. Мощность (36.1 м) и фациальный состав TST в скв. XX71 сильно отличаются от остальных разрезов. Здесь он в основном представлен отложениями крупного приливно-отливного канала с пластом внутриформационных конгломератов в подошве. Как следует из результатов корреляции, палеогеоморфологическая депрессия в районе скв. XX71, образовавшаяся на начальных этапах формирования описанного разреза, была компенсирована только в этот период.

Системный тракт HST во всех разрезах маломощный (3.9, 5.2, 6.6, 1.8 м соответственно в скважинах XX80, XX70, XX72, XX71) и сложен приливно-отливными отложениями.

Общая мощность секвенса в скв. XX80 составляет 38.2 м, в скв. XX70 — 41.6 м, в скв. XX72 — 50.0 м, в скв. XX71 — 64.6 м.

Секвенс РК 3-2 охарактеризован керном только в нижней части. По своему строению принципиально отличается от описанных выше. Его нижняя граница проведена по контакту мелководно-морских в различной степени биотурбированных песчаников с фациями марша (скважины XX80, XX70) и прибрежных болот (скважины XX72, XX71). С нашей точки зрения, это результат масштабной событийной трансгрессии береговой линии, приведшей к отсутствию в описанных разрезах системного тракта LST — разрез секвенса сразу начинается с трансгрессивных отложений морского бассейна.

Подводя итог по описанию секвенсов в субконтинентальных отложениях верхней части танопчинской свиты, следует остановиться на локализации в них резервуаров углеводородов.

— Основные высокопроницаемые резервуары связаны с системным трактом LST. Это или мощные пояса развития аллювия амальгамирующих русел (см. секвенсы РК 2-3, РК 2-4), или менее мощные, но более выдержаные по простирианию покровы аналогичного фациального состава (см. секвенсы РК 2-6, РК 3-1).

— В системном тракте TST выявлены маломощные резервуары приливно-отливного генезиса, а также резервуары, сформированные в прибрежных частях озер. Вероятно, в некоторых случаях (см. секвенс РК 2-6) они могут образовывать значительные по размерам осадочные тела, имеющие промышленное значение. Кроме того, результаты бурения скв. XX71 показали, что в составе TST могут быть и мощные резервуары, вероятно, порожденные миграцией крупных приливно-отливных каналов (см. секвенс РК 3-1).

— В системном тракте HST также иногда могут присутствовать маломощные аллювиальные резервуары, имеющие промышленное значение (см. секвенсы РК 2-2, РК 2-5).

Кроме того, проницаемые резервуары прибрежно-морского происхождения присутствуют во всех разрезах TST секвенса РК 3-2.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КАРТИРОВАНИЯ СЕКВЕНС-СТРАТИГРАФИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ТАНОПЧИНСКОЙ СВИТЫ ПО ДАННЫМ СОВРЕМЕННОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

В данном разделе проанализированы возможности картирования секвенс-стратиграфической структуры объекта по данным современной сейсморазведки.

На первом этапе на основе сопоставления описанных выше опорных разрезов и разрезов, охарактеризованных только комплексом ГИС, в последних были предварительно выделены секвенсы. На вто-

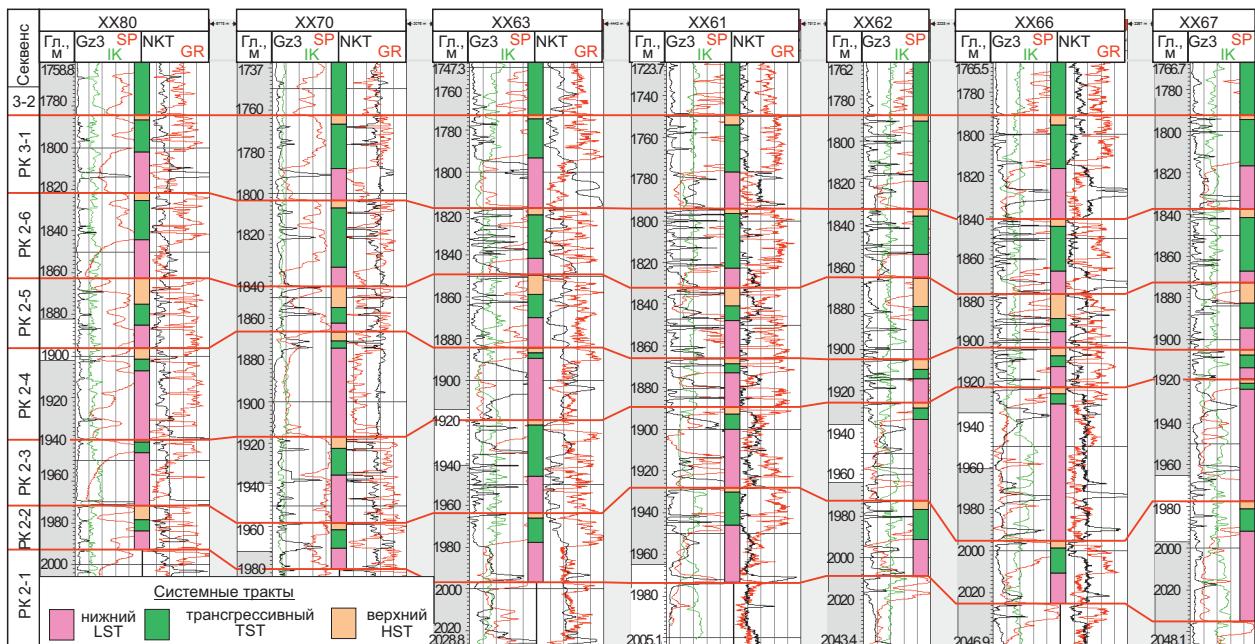


Рис. 8. Результаты корреляции опорных разрезов скважин XX80, XX70 с разрезами, охарактеризованными только комплексом ГИС.

Положение корреляционного профиля приведено на рис. 1.

ром этапе границы секвенсов были уточнены путем корреляции на разрезе акустического импеданса. На третьем этапе выделены системные тракты на основе корреляции с опорными разрезами в остальных скважинах.

На рисунках 8, 9 приведены результаты согласованной с данными сейсморазведки корреляции секвенсов, анализ которых позволяет сделать следующие выводы:

1. Все выделенные секвенсы с разной степенью уверенности могут быть прослежены в поле импеданса, полученного путем акустической инверсии современного куба сейсмических данных. В результате такого прослеживания подтверждена линзовидная макротекстура нижней части исследуемого интервала (секвенсы PK 2-2, PK 2-3, PK 2-4), обусловленная выклиниванием мощных поясов аллювия ветвящихся русел, и относительно параллельно-слоистая макротекстура его верхней части (секвенсы PK 2-5, PK 2-6, PK 3-1).

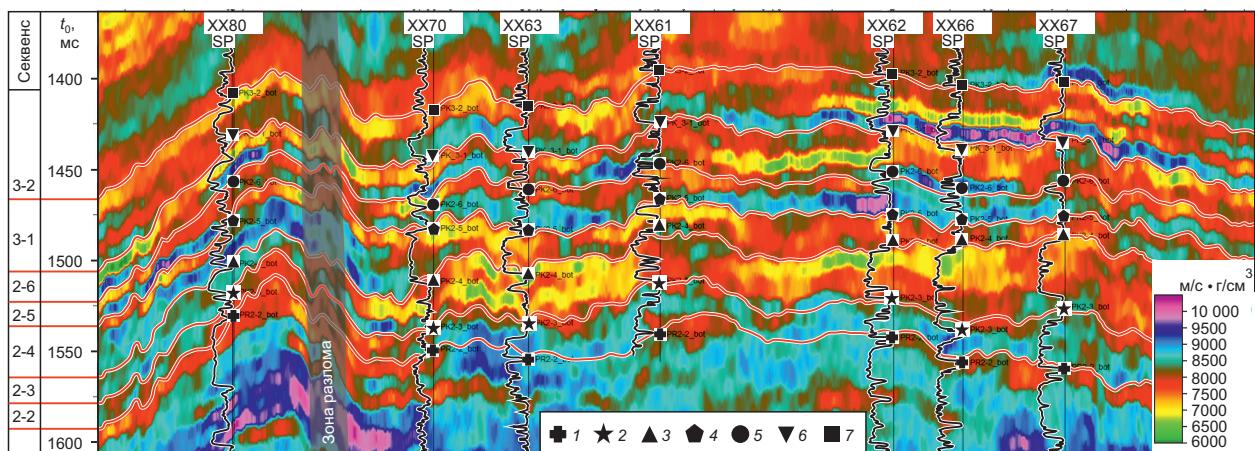


Рис. 9. Пример корреляции границ секвенсов на разрезе акустического импеданса.

Подошвы секвенсов: 1 — PK 2-2, 2 — PK 2-3, 3 — PK 2-4, 4 — PK 2-5, 5 — PK 2-6, 6 — PK 3-1, 7 — PK 3-2. Положение разреза см. рис. 1.

2. При временной мощности секвенсов около 20 мс они отображаются на разрезах акустического импеданса как двуслойные образования. Нижний слой с относительно повышенными значениями импеданса примерно соответствует LST, верхний слой с относительно пониженными значениями — объединенным TST и HST. При временной мощности секвенсов около 30—45 мс они могут отображаться уже как трех- и четырехслойные образования.

3. Полученная детальная стратификация результатов сейсмической инверсии открывает новые возможности прогноза резервуаров в верхней части танопчинской свиты путем комплексирования кинематического и динамического подходов.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Основным результатом работы стало расчленение группы РК 2 на шесть секвенсов РК 2-1, РК 2-2, РК 2-3, РК 2-4, РК 2-5, РК 2-6 и выделение в группе РК 3 секвенсов РК 3-1, РК 3-2. Нижние границы секвенсов РК 2-2, РК 2-3, РК 2-4, РК 2-5, РК 2-6, РК 3-1 проведены по подошвам крупных поясов и покровов аллювия амальгамирующих русел, в случае их отсутствия — путем корреляции подстилающих и перекрывающих отложений. Нижняя граница секвенса РК 3-2 проведена по подошве фации прибрежного мелководья, перекрывающей субконтинентальные отложения.

Выделенные секвенсы были разбиты на системные тракты. Кровли нижних системных трактов LST — поверхности максимальной регрессии MRS проведены по контактам фаций маршей, болот, приливно-отливной равнины с подстилающими аллювиальными фациями, которые маркируют начало подтопления прибрежной равнины, сопровождающее трансгрессию береговой линии. Кровли трансгрессивных системных трактов TST — поверхности максимального затопления MFS проведены по подошвам маломощных отложений аллювиальной равнины в кровлях секвенсов, маркирующих начало нормальной регрессии береговой линии.

Установлено, что LST в секвенсах РК 2-3 и РК 2-4 включают в себя мощные пояса развития аллювия амальгамирующих русел, которые замещаются по латерали на менее мощные аналоги, сложенные переслаиванием фаций поймы, приливно-отливной зоны, маршей, болот. Изменения строения LST в этих секвенсах создают линзовидную макротекстуру описываемого интервала. LST секвенса РК 2-5 (в отличие от предыдущих) в рассмотренных разрезах представлен маломощным покровом пойменных отложений. А в секвенсах РК 2-6, РК 3-1 это уже в различной степени выдержаный по латерали покров аллювия амальгамирующих русел. С LST связаны основные резервуары объекта.

TST в описанных разрезах сложен частым чередованием различных фаций приливно-отливной равнины, маршей, болот, прибрежных озер. Отмечено, что сочетания последних трех фаций могут быть в ряде случаев использованы как маркирующие горизонты при корреляции разрезов. В ряде разрезов TST выявлены резервуары приливно-отливного генезиса. Принципиально от описанных отличается TST секвенса РК 3-2, сложенный фациями прибрежного мелководья и переходной зоны. К нижней его части приурочен пласт ТП₁ — один из основных объектов рассматриваемого месторождения.

HST — это в основном маломощные образования пойменного генезиса, залегающие в верхних частях секвенсов. Аллювиальные резервуары в их составе выявлены в секвенсе РК 2-5.

Описанная секвенс-стратиграфическая модель верхней части танопчинской свиты создавалась как основа для комплексной интерпретации сейсмических и скважинных данных. С нашей точки зрения, стратифицировать изучаемый объект необходимо с использованием разрезов акустического импеданса — результатов инверсии сейсмических данных, поскольку структура волнового поля на них в значительной степени упрощается, приближаясь к классическому представлению об осадочной толще как вертикальной последовательности пластов с разными свойствами. Проведенные исследования показали, что при наличии скважинного контроля по разрезу импеданса возможно прослеживание всех выделенных секвенсов. Более того, в ряде случаев в скважинах с отсутствием керна границы секвенсов были уточнены по данным сейсморазведки. Причем в зависимости от мощности секвенсы на разрезе акустического импеданса отображаются как вертикальная последовательность двух, трех и четырех пластов, что открывает новые возможности прогноза резервуаров в верхней части танопчинской свиты путем комплексирования кинематического и динамического подходов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей статье представлены результаты детальной стратификации верхней части танопчинской свиты Минховского месторождения, полученные на основе секвенс-стратиграфической методологии. Следует особо отметить, что при выполнении аналогичных работ на соседних площадях необходим углубленный седиментологический анализ керна из разнофациальных разрезов объекта.

По нашему мнению, следующим шагом на пути эффективного освоения запасов углеводородов в резервуарах верхней части покурского надгоризонта должно быть тестирование различных алгоритмов

сейсмической инверсии, включая стохастические, на основе полученной секвенс-стратиграфической модели. Данные стратификации должны использоваться как для получения статистических характеристик литотипов в системных трактах, так и для интерпретации результатов инверсии. При этом, по-видимому, будет необходимо использование как прослеженных отражающих горизонтов, так и их синтез на основе установления внутренних закономерностей строения секвенсов.

ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев В. П.** Атлас субаквальных фаций нижнемеловых отложений Западной Сибири (ХМАО-Югра). Екатеринбург, Изд-во УГГУ, 2014, 284 с.
- Вакуленко Л.Г., Ершов С.В., Николенко О.Д., Пещевицкая Е.Б., Попов А.Ю., Ян П.А.** Био- и литофациальные модели берриас-аптских отложений западной части Гыданского полуострова (Западная Сибирь) // Геология и геофизика, 2020, т. 61 (7), с. 930—942.
- Генераленко О.С., Бардаченко Е.Н.** Фациальная модель формирования отложений танопчинской свиты на примере месторождений Ямало-Гыданской НГО ЗС // Современные проблемы седиментологии в нефтегазовом инжиниринге. Томск, Изд-во ЦППС НД, 2017, с. 69—76.
- Жемчугова В.А., Бербенев М.О.** Седиментационная модель отложений покурской свиты как основа прогноза фильтрационно-емкостных свойств (верхний мел Западной Сибири) // Литология и полезные ископаемые, 2018, № 2, с. 142—151.
- Зундэ Д.А., Попов И.П.** Методика построения секвенс-стратиграфической модели покурской свиты // Нефтепромысловое дело, 2015а, № 5, с. 54—59.
- Зундэ Д.А., Попов И.П.** Разработка методики дифференциации континентальных отложений аллювиального генезиса на примере пластов покурской свиты // Геология нефти и газа, 2015б, № 3, с. 22—25.
- Конторович А.Э., Эдер Л.В.** Новая парадигма стратегии развития сырьевой базы нефтедобывающей промышленности Российской Федерации // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление, 2015, № 5, с. 8—17.
- Конторович А.Э., Ершов С.В., Казаненков В.А., Карогодин Ю.Н., Конторович В.А., Лебедева Н.К., Никитенко Б.Л., Попова Н.И., Шурыгин Б.Н.** Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в меловом периоде // Геология и геофизика, 2014, т. 55 (5—6), с. 745—776.
- Попов В.И., Макарова С.Д., Станкевич Ю.В., Филиппов А.А.** Руководство по определению осадочных фациальных комплексов и методика фациально-палеогеографического картирования. Л., Гостоптехиздат, 1963, 714 с.
- Рейнек Г.-Э., Сингх И.Б.** Обстановки терригенного осадконакопления. М., Недра, 1981, 439 с.
- Шакирова А.Н., Лебедев М.В., Яневиц Р.Б.** Секвенс-стратиграфия субконтинентальных отложений танопчинской свиты как основа повышения эффективности моделирования залежей углеводородов // Материалы 10-й Международной конференции «Геонауки: время перемен, время перспектив». СПб, ООО «Геомодель», [электронный ресурс]. 2023: URL- https://libgeo.ru/index.php?route=product/product&product_id=26018&search=%D1%88%D0%B0%D0%BA%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0&category_id=59.
- Catuneanu O., Galloway W.E., Kendall C.G. St. C., Miall A.D., Posamentier H.W., Strasser A., Tucker M.E.** Sequence stratigraphy: methodology and nomenclature // Newslett. Stratigr., 2011, v. 44 (3), p. 173—245.
- Gibling M.R., Bird D.J.** LateCarboniferous cyclotherms and alluvial paleovalleys in the Sydney Basin, Nova Scotia // Geol. Soc. Am. Bull., 1994, v. 106, p. 105—117.
- Haq B.U.** Cretaceous eustasy revisited // Global Planet. Change, 2014, v. 113, p. 44—58.
- Hardenbol J., Thierry J., Farley M.B., Jacquin T., de Graciansky P.-C., Vail P.R.** Mesozoic and Cenozoic sequence chronostratigraphic framework of European basins // Mesozoic and Cenozoic Sequence Stratigraphy of European Basins. SEPM Spec. Publ., 1998, v. 60, p. 3—13.
- Miall A.D.** The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology. Heidelberg, Springer-Verlag Inc., 1996, 582 p.
- Miall A.D.** The geology of stratigraphic sequences. Berlin, Springer, 2010, 522 p.
- Sahagian D., Pinous O.V., Olferiev A.G., Zakharov V.A.** Eustatic curve for the Middle Jurassic-Cretaceous based on Russian Platform and Siberian stratigraphy: zonal resolution // AAPG Bull., 1996, v. 80 (9), p. 1433—1458.
- Shanley K.W., McCabe P.J.** Perspectives on the sequence stratigraphy of continental strata // American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1994, v. 78, p. 544—568.
- Wright V.P., Marriott S.B.** The sequence stratigraphy of fluvial depositional systems: the role of floodplain sediment storage // Sediment. Geol., 1993, v. 86, p. 203—210.