

Развитие клиноформной модели нижнего мела севера Западной Сибири на основе принципов секвенс-стратиграфии: новые возможности стратификации

М.В. Лебедев*, Е.В. Астафьев, А.В. Храмцова
ООО «Тюменский нефтяной научный центр», Тюмень, Россия

Клиноформная концепция нижнего мела Западной Сибири служит научной основой для прогнозирования его нефтегазоносности. Однако новые задачи и новые технологические возможности требуют ее дальнейшего развития. Базой для этого может служить современная модельно независимая методология секвенс-стратиграфии, суть которой заключается в разбиении разреза на последовательность системных трактов путем выделения всех секвенс-стратиграфических поверхностей. При этом выбор типа поверхностей, ограничивающих секвенс, осуществляется уже на втором этапе на основе выраженности поверхностей в разрезе или предпочтений исследователя.

Широкое развитие стратиграфических несогласий в нижнемеловом клиноформном комплексе севера Западной Сибири позволяет выделять в составе нижнемеловых клиноформ четыре системных тракта: верхний HST, стадии падения относительного уровня моря FSST, нижний LST, трансгрессивный TST – путем картирования секвенс-стратиграфических поверхностей на основе анализа типов вертикального напластования. Отмечено, что границами секвенсов в данном случае должны быть кровли TST – поверхности подошвенного прилегания (DLS), традиционно интерпретируемые как поверхности максимального затопления (MFS), что обеспечивает согласованность предлагаемого подхода с клиноформной концепцией.

Выделенные клиноформы Западной Сибири можно рассматривать как генетические секвенсы III порядка. Однако прогноз фаций в их системных трактах характеризуется недостаточной степенью детальностью. Для дальнейшей детализации фациальных моделей клиноформы (секвенсов III порядка) предлагается расчленить на клиноформы (секвенсы IV порядка) и выделить в них системные тракты. Но последние далеко не всегда картируются современной сейсморазведкой, для этого необходимы особые условия. В работе предложено: 1) разделять секвенсы III порядка на системные тракты, 2) выполнять картирование их мощностей с выделением депоцентров, 3) в пределах депоцентров (в подходящих сейсмогеологических условиях) выделять клиноформы – секвенсы IV порядка и составляющие их системные тракты как основу для картирования резервуаров и ловушек углеводородов.

Ключевые слова: секвенс-стратиграфия, север Западной Сибири, генетический секвенс, стратиграфическое несогласие, секвенс III порядка, секвенс IV порядка

Для цитирования: Лебедев М.В., Астафьев Е.В., Храмцова А.В. (2023). Развитие клиноформной модели нижнего мела севера Западной Сибири на основе принципов секвенс-стратиграфии: новые возможности стратификации. *Георесурсы*, 25(4), с. 163–175. <https://doi.org/10.18599/grs.2023.4.14>

Введение

С конца 70-х годов XX в. научной основой прогноза нефтегазоносности берриас-готеривского комплекса нижнего мела Западной Сибири является клиноформная концепция (Наумов, 1977; Трушкова, 1980; Трушкова и др., 2011). Именно на ее базе созданы современная стратиграфическая схема указанных отложений и фациальные модели шельфовых и ачимовских резервуаров. Клиноформная концепция позволила выстроить эффективную методологию сеймостратиграфической интерпретации сейсмических и скважинных данных, что дало возможность закартировать многие сотни структурно-литологических

ловушек, в которых впоследствии были открыты залежи углеводородов (УВ).

Современный этап освоения ресурсной базы клиноформного комплекса Западной Сибири характеризуется:

– существенным усложнением геологического строения новых перспективных объектов, уменьшением их размеров;

– существенным увеличением разрешающей способности сейсморазведки, т.е., существенным увеличением потенциально доступной информации о геологическом строении недр.

Очевидно, что данная ситуация требует дальнейшего развития клиноформной концепции. Соответственно встает вопрос: на какой основе возможно это дальнейшее развитие? Согласно отечественным публикациям, например (Карогадин, 1996; Габдуллин и др., 2008; Маргулис, 2008; Зорина, 2016; Ершов, 2018; Сподобаев и др., 2018; Балдин и др., 2020, 2021, 2022; Потапова, 2020; Жемчугова и др., 2021), такой основой может быть современная

* Ответственный автор: Михаил Валентинович Лебедев
e-mail: MVLebedev2@tnnc.rosneft.ru

© 2023 Коллектив авторов

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

модельно независимая методология секвенс-стратиграфии (Catuneanu, 2006; Catuneanu et al., 2009, 2010, 2011; Catuneanu, 2019). Подтверждением этого являются следующие основания.

Во-первых, это единство представлений о связи клиноформ и секвенсов с циклами изменения относительного уровня моря (ОУМ) (Карогодин, 1996; Маргулис, 2008).

Во-вторых, что самое главное, в соответствии с принципами секвенс-стратиграфии клиноформы в общем случае могут быть расчленены на четыре самостоятельных элемента – системных тракта с характерными для них последовательностями фаций, что существенно увеличивает прогностические возможности обновленной конструкции.

Первые результаты в данном направлении были получены нами совместно с Е.А. Потаповой на материалах по северной части Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна. Докладывались они на конференции в Тюменском индустриальном университете в 2021 г. (Лебедев, Потапова, Храмцова), а также на конференции в Московском геолого-разведочном институте (Потапова и др., 2023). Целью настоящей работы является дальнейшее обоснование возможностей развития клиноформной модели нижнего мела на основе принципов секвенс-стратиграфии.

Существующие модели секвенсов

Во избежание терминологических недоразумений в настоящем разделе дано описание моделей осадочных секвенсов II, III, IV типов, генетического секвенса, трансгрессивно-регрессивного (Т-Р) секвенса, перечисленных (Catuneanu et al., 2011, pp. 175–176). Секвенс-стратиграфические модели отличаются положением границ секвенсов и названиями системных трактов.

Перечислим сначала используемые далее сокращения:

- субаэральное стратиграфическое несогласие (subaerial unconformity – SU);
- коррелятивное согласие (correlative conformity – CC);
- базальная поверхность форсированной регрессии (basal surface of forced regression – BSFR);
- поверхность максимальной регрессии (maximum regressive surface – MRS);
- поверхность максимального затопления (maximum flooding surface – MFS).
- системный тракт стадии падения ОУМ (falling-stage systems tract – FSST);
- нижний системный тракт (lowstand systems tract – LST);
- трансгрессивный системный тракт (transgressive systems tract – TST);
- верхний системный тракт (highstand systems tract – HST);
- регрессивный системный тракт (regressive systems tract – RST).

Понятие об *осадочном секвенсе II типа* рассмотрено в работах (Haq et al., 1987; Posamentier et al., 1988). Он включает следующие системные тракты (снизу вверх): ранний LST – подводные конуса выноса; поздний LST – клиновидное тело, формирующееся в условиях низкого стояния уровня моря; TST – трансгрессивный покров; HST – сигмовидное тело, формирующееся в условиях высокого стояния уровня моря. Границами осадочного

секвенса II типа служат комбинированные поверхности, состоящие из SU и CC, последняя проводится в подошве раннего LST.

Осадочный секвенс III типа связан с работами (Van Wagoner et al., 1988, 1990; Christie-Blick, 1991). По нашему мнению, последняя работа является ключевой, поскольку в ней четко показано, что HST осадочного секвенса II типа подразделяется на две части: нижнюю агградиционно-проградиационную и верхнюю проградиационную, формирующуюся уже в условиях форсированной регрессии (Christie-Blick, 1991, fig. 2). Снизу вверх в составе осадочного секвенса III типа выделяются LST, TST, ранний HST, поздний HST. Границами осадочного секвенса III типа также служат SU и CC, последнее, в отличие от предыдущей модели, проводится в подошве LST (подошве позднего LST секвенса II типа).

Осадочный секвенс IV типа описан в (Hunt, Tucker, 1992; Helland-Hansen, Gjølberg, 1994). Идеи, обозначенные в модели осадочного секвенса III типа, получили в нем свое развитие: снизу вверх выделяются LST, TST, HST и FSST. Последний включает в себя все отложения, сформированные в стадию форсированной регрессии (Catuneanu, 2006, pp. 178). Его границами служат SU и CC, последнее проводится в подошве LST (рис. 1).

Осадочные секвенсы по определению могут быть выделены только в толщах, содержащих поверхности стратиграфических несогласий. В отличие от них генетические секвенсы и Т-Р-секвенсы могут быть выделены и в стратиграфически согласных толщах.

Трансгрессивно-регрессивные (Т-Р) секвенсы введены в работах (Johnson, Murphy, 1984; Embry, Johannessen, 1992), в согласных последовательностях отложений они ограничены MRS. В последовательностях, содержащих стратиграфические несогласия, – комбинированными поверхностями, включающими MRS и SU (рис. 1).

Генетический секвенс представлен в работе (Galloway, 1989). Границы его проводятся по кровлям трансгрессивных системных трактов. В (Van Wagoner et al., 1988, pp. 44) отмечено: «Кровлей трансгрессивного системного тракта является поверхность подошвенного прилегания (downlap surface). Поверхность подошвенного прилегания – это поверхность морского затопления, к которой прилегают языки проградирующих клиноформ вышележащего верхнего системного тракта. Эта поверхность маркирует смену ретроградационного пакета парасеквенсов аградационным и является поверхностью максимального затопления». Поверхности подошвенного прилегания (downlap surface – DLS) представляют собой кровли конденсированных морских осадков. Из приведенной цитаты следует, что DLS традиционно интерпретируются как поверхности максимального затопления MFS, но такая интерпретация далеко неоднозначна. Например, в (Catuneanu et al., 2011, p. 190) отмечено, что иногда переход от ретроградационного седиментационного тренда к проградационному отмечается зоной (обычно конденсированных) глубоководных фаций, а не одной поверхностью, и это может привести к неоднозначности ее выделения в разрезе. Но и в этом случае граница между TST и HST проводится по кровле конденсированных отложений, т.е. по поверхности DLS. Это обстоятельство сближает генетические секвенсы с клиноформами

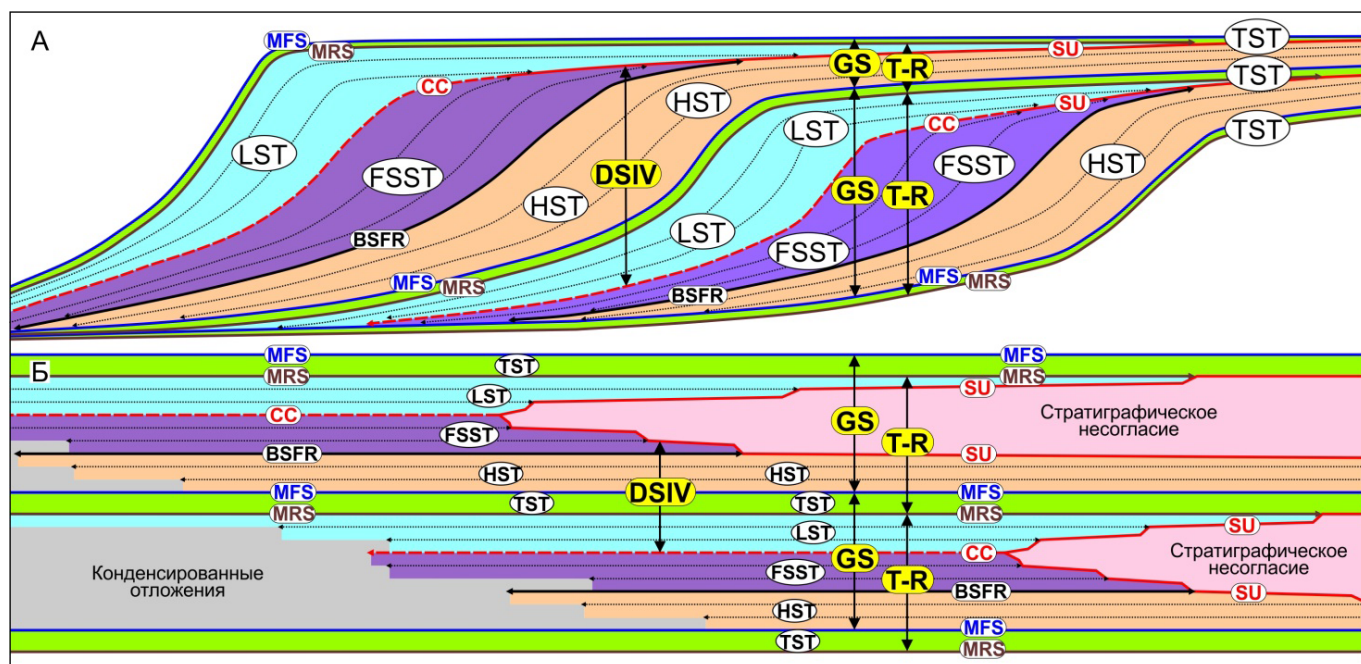


Рис. 1. Концептуальные модели осадочного секвенса IV типа, генетического секвенса, T-R-секвенса на основе (Catuneanu et al., 2011): А – геологическая модель, Б – соответствующая диаграмма Уиллера. Секвенс-стратиграфические поверхности: MRS – поверхность максимальной регрессии, MFS – поверхность максимального затопления, BSFR – базальная поверхность форсированной регрессии, SU – субэдральное стратиграфическое несогласие, CC – коррелятивное согласие. Системные тракты: TST – трансгрессивный, HST – верхний, FSST – стадии падения ОУМ, LST – нижний. Секвенсы: DSIV – осадочный секвенс IV типа, GS – генетический секвенс, T-R – трансгрессивно-регрессивный секвенс

Западной Сибири. Границы клиноформ также часто проводятся по кровлям конденсированных покровов – маркирующих пачек аргиллитов, представляющих собой поверхности DLS, к которым последовательно прилегают вышезалегающие слои регрессивных компонент клиноформ. В настоящей статье за ними сохранено общепринятое название MFS. Традиционно генетический секвенс подразделяется на следующие системные тракты (снизу вверх): HST, ранний LST (fan), поздний LST (wedge) и TST (Catuneanu et al., 2011).

Отметим, что в настоящее время рассмотренная типизация секвенсов имеет в значительной степени историческую ценность. В 2009–2011 гг. у О. Catuneanu с коллегами вышли три статьи, положившие, по нашему мнению, начало новому модельно независимому этапу развития секвенс-стратиграфии (Catuneanu et al., 2009, 2010, 2011). Суть новой методологии заключается в разбиении осадочных разрезов на последовательность генетических единиц (форсированно регрессивной, нормально регрессивных при низком и высоком стояниях уровня моря, трансгрессивной), т.е. на последовательность системных трактов, ограниченных секвенс-стратиграфическими поверхностями (Catuneanu et al., 2009, fig. 10). При этом выбор типа секвенс-стратиграфической поверхности, ограничивающей секвенс, осуществляется уже на втором этапе, исходя из степени их выраженности в разрезе или предпочтений исследователя (Catuneanu et al., 2011, fig. 19).

Таким образом, секвенс-стратиграфическое моделирование нижнемеловых клиноформ Западной Сибири можно рассматривать как их разбиение на системные тракты HST, FSST, LST, TST в случае наличия внутри них стратиграфического несогласия (рис. 1) или на системные

тракты RST и TST в случае его отсутствия с последующим изучением выделенных системных трактов.

Мы согласны с точкой зрения Е.А. Потаповой (Потапова, 2020) в том, что группировать выделенные системные тракты на втором этапе следует именно в генетические секвенсы – аналоги Западно-Сибирских клиноформ, поскольку маркирующие глинистые пачки:

- были и остаются основой для расчленения и корреляции объекта, они надежно выделяются в разрезах скважин по комплексу ГИС, с ними связаны зональные отражающие горизонты, позволяющие идентифицировать одноименные пачки в разрезах разных скважин;
- являются зональными и региональными покровышками, соответственно, на них основано разбиение объекта на нефтегазоносные комплексы.

С учетом выше изложенного представляется целесообразным рассмотреть развитие секвенс-стратиграфического моделирования клиноформного комплекса Западной Сибири.

Анализ развития секвенс-стратиграфического моделирования клиноформного комплекса Западной Сибири

Несмотря на очевидную актуальность проблемы, количество работ, посвященных секвенс-стратиграфическому моделированию клиноформного комплекса Западной Сибири, весьма невелико. В этом разделе дается краткий анализ известных нам работ.

В статье О.В. Пинуса (Pinous et al., 1999) предложена секвенс-стратиграфическая модель продуктивной толщи Приобского месторождения. Согласно авторам, готеривский продуктивный комплекс образован двумя

осадочными секвенсами III порядка. Основные резервуары, представленные комплексами фаций подводных конусов выноса и дельтовых систем, входят в состав LST (Pinous et al., 1999, p 987).

Статья (Pinous et al., 2001) содержит описание региональной модели клиноформного комплекса в Субширотном Приобье. На основе системы трансгрессивных поверхностей, а также стратиграфических несогласий и коррелятивных согласий выделено 16 осадочных секвенсов, которые в настоящее время, вероятно, можно отнести ко II типу. Каждый из них включает системные тракты LST, TST, HST. Согласно приведенным схемам основные ачимовские и шельфовые резервуары входят в состав LST.

Работы А.О. Шуваева (Шуваев, 2015; Шуваев и др., 2017) посвящены строению и нефтегазоносности описываемого объекта Большехетской впадины. В ходе секвенс-стратиграфического моделирования были выделены поверхности максимального затопления (MFS), максимального обмеления (MRS), границы секвенсов – стратиграфические несогласия, а также системные тракты TST, HST, LST, подводные конусы выноса lsf, клинья низкого уровня моря lsw. Выделенные секвенсы, вероятно, также можно отнести ко II типу.

В работах Е.А. Потаповой (Потапова, 2015, 2020) изложены результаты секвенс-стратиграфического моделирования клиноформ на юго-восточном склоне Среднемессояжского вала и в южной части Антипаютинской впадины. В них показана высокая эффективность генетического секвенса, состоящего из HST, FSST, LST, TST, для фашиально-стратиграфического моделирования клиноформного комплекса в районе исследования.

В статье А.А. Сподобаева, А.А. Нежданова, А.В. Меркулова (Сподобаев и др., 2018) приведены результаты секвенс-стратиграфического анализа ачимовских отложений Ямбургского месторождения. Показано, что в разрезе последовательно сочетаются толщи с нормально регрессивным и форсированно регрессивным типами напластования.

Крупным обобщением по рассматриваемой теме является статья В.А. Жемчуговой, В.В. Рыбалченко, Т.А. Шардановой (Жемчугова и др., 2021), в которой дано описание строения секвенсов IV – V порядка и составляющих их системных трактов FSST, LST, TST, HST. Судя по рис. 14 в этой работе, исследование выполнено в рамках модели осадочного секвенса IV типа.

И наконец, обсудим концептуальную секвенс-стратиграфическую модель нижнемелового клиноформного комплекса, предложенную С.В. Ершовым (Ершов, 2018). По нашему мнению, кратко ее можно свести к следующим тезисам. Вследствие высокой скорости тектонического погружения уровень моря в бассейне никогда не опускался ниже бровок клиноформ (с. 1115, 1117), что исключает форсированный тип регрессии (с. 1117). Соответственно, приемлемыми для объекта остаются только модель осадочного секвенса III типа или модели генетического секвенса, T-R-секвенса (с. 1115). Основным объемом глубоководных конусов выноса накапливался на этапах формирования системных трактов высокого стояния уровня моря (с. 1119). При этом самые крупные резервуары ачимовской толщи входят в состав верхних

частей HST, сформированных, как правило, при максимальном падении ОУМ, или при замедлении скорости его повышения (с. 1118).

Таким образом, для секвенс-стратиграфического моделирования нижнемелового клиноформного комплекса, можно отметить, с одной стороны, разнообразие подходов к решению поставленной задачи, с другой стороны – эффективность применения рассматриваемой концепции. В ходе рассмотренных исследований были апробированы практически все широко используемые в настоящее время модели секвенсов: осадочные секвенсы II, III, IV типов, генетический секвенс. На возможность использования T-R-секвенса указано в (Ершов, 2018).

Большинство авторов связывают формирование ачимовских глубоководных конусов выноса с этапами низкого стояния уровня моря (Pinous et al, 1999, 2001; Шуваев, 2015; Шуваев и др., 2017; Сподобаев и др., 2018). На их приуроченность к форсированно регрессивным комплексам прямо указано в работах (Потапова, 2015, 2020; Жемчугова и др., 2021), на наличие склоновых конусов выноса в составе LST – в (Жемчугова и др., 2021). Видимые разногласия этих данных с выводами С.В. Ершова, по нашему мнению, объясняются причинами терминологического характера. Согласно отмеченной выше работе (Christie-Blick, 1991), модель осадочного секвенса III типа можно рассматривать не как альтернативу модели IV типа, а как ее предшественника. Верхняя часть HST с форсированно регрессивным типом напластования (offlap) в ней является аналогом FSST осадочного секвенса IV типа. Следовательно, заключения С.В. Ершова о приуроченности основных ачимовских конусов выноса к верхней части HST осадочного секвенса III, по нашему мнению, в целом содержательно не противоречат выводам остальных исследователей.

Стратиграфические несогласия в нижнемеловом клиноформном комплексе Западной Сибири

Как уже отмечалось выше, наличие в разрезе стратиграфических несогласий с точки зрения секвенс-стратиграфии является принципиальным моментом, поскольку определяет способ разбиения клиноформ на системные тракты. При их наличии клиноформы разбиваются на HST, FSST, LST, TST, при отсутствии стратиграфических несогласий – на RST, TST. Имеющиеся в настоящее время данные свидетельствуют о широком развитии стратиграфических несогласий в нижнемеловом клиноформном комплексе Западной Сибири. Несогласия различного ранга (Барабоскин и др., 2002) возникают под влиянием восходящих тектонических движений, изменения относительного уровня моря, локальной тектоники и определяются по керну и в обнажениях, по ГИС, сейсморазведочным данным и по биостратиграфическим исследованиям.

В нижней части клиноформного комплекса арктических районах Западной Сибири выделяется региональное раннемеловое несогласие (предваланжинский разрыв), сформированное, по мнению многих авторов (Нежданов и др., 2022; Розбаева и др., 2023), под влиянием позднекиммерийской (Верхояно-Колымской) складчатости. Раннемеловое несогласие выражается в виде эрозионных срезов и сокращения временных толщин

на сейсмических профилях и подтверждается данными по биостратиграфии.

В неморских обстановках стратиграфические несогласия – это палеопочвы (рис. 2А) и основания врезанных долин.

В мелководно-морских обстановках это поверхности субаэральной экспозиции, формирующиеся при понижении ОУМ и осушении шельфа.

При повышении ОУМ также образуются секвенс-стратиграфические поверхности, имеющие важное значение для корреляции отложений. Это поверхность затопления (FS) или трансгрессивная поверхность (TS), а также поверхность максимального затопления (MFS) (рис. 2Б, 2В).

Регрессивная поверхность морской эрозии (RSME) обычно идентифицируется в мелководно-морском бассейне в виде резкой эрозионной поверхности, залегающей над глинистыми биотурбированными алевролитами, которые перекрываются массивными песчаниками (рис. 2Г). Поверхность RSME образуется в результате волнового размыва во время форсированной регрессии в мелководном морском бассейне.

На мелководье и в литоральной зоне часто встречаются эрозионные поверхности/поверхности Glossifungites (Glossi) – перерывы «плотного грунта» (firmground), образованные в результате волновой деятельности или трансгрессии и подчеркнутые вертикальными, субвертикальными цилиндрическими, U-образными следами жизнедеятельности ихнофаций Glossifungites (*Thalassinoides*, *Arenicolites*, *Skolithos*, *Diplocraterion*, *Rhizocorallium*), глубоко проникающими в нижележащий субстрат (рис. 2Б). Размыв волнами или течениями в ходе трансгрессий может достигать 10–20 м (Posamentier, Allen, 1999). В результате изучения керна из объекта исследования

установлено, что мощность перекрывающих поверхности Glossifungites трансгрессивных слоев может изменяться от 0,1 до 2,0–3,0 м. Поверхность Glossifungites часто маркирует границу секвенса (SU), совмещенную с трансгрессивной поверхностью (TS).

По керну в кровле шельфовых пластов обычно выделяется эрозионная поверхность с ихнокомплексом Glossifungites, которая перекрывается интенсивно биотурбированными песчаниками трансгрессивного слоя. В кровле биотурбированных песчаников и алевролитов трансгрессивного слоя выделяются поверхность затопления FS и перекрывающая ее пачка глинистых отложений шельфа. Типичное строение парасеквенсов наблюдается во многих прибрежно-морских разрезах нижнемеловых отложений Западной Сибири (рис. 2). Данные по керну нижнемеловых отложений, ГИС и возрастным определениям свидетельствуют о широком распространении в разрезе стратиграфических несогласий.

Стратиграфические несогласия в разрезе клиноформного комплекса описаны во многих работах по Западной Сибири. В монографии (Трушкова и др., 2011) приведен рис. 1.4, датированный 1987 г., на котором отображено стратиграфическое несогласие в кровле продуктивного горизонта БВ₁₂ Северо-Варьганского месторождения. Обоснованию стратиграфического несогласия в кровле пласта Нх-1 Сузунского месторождения по данным керна и ГИС посвящена статья (Розбаева и др., 2013). В ней описана поверхность размыва с характерным ихнокомплексом Glossifungites, отражающая эрозионное срезание, в процессе которого происходило активное разрушение подстилающих мелководно-морских фаций. В кровле пластов группы БУ отмечаются многочисленные поверхности размыва (Жемчугова, 2014).

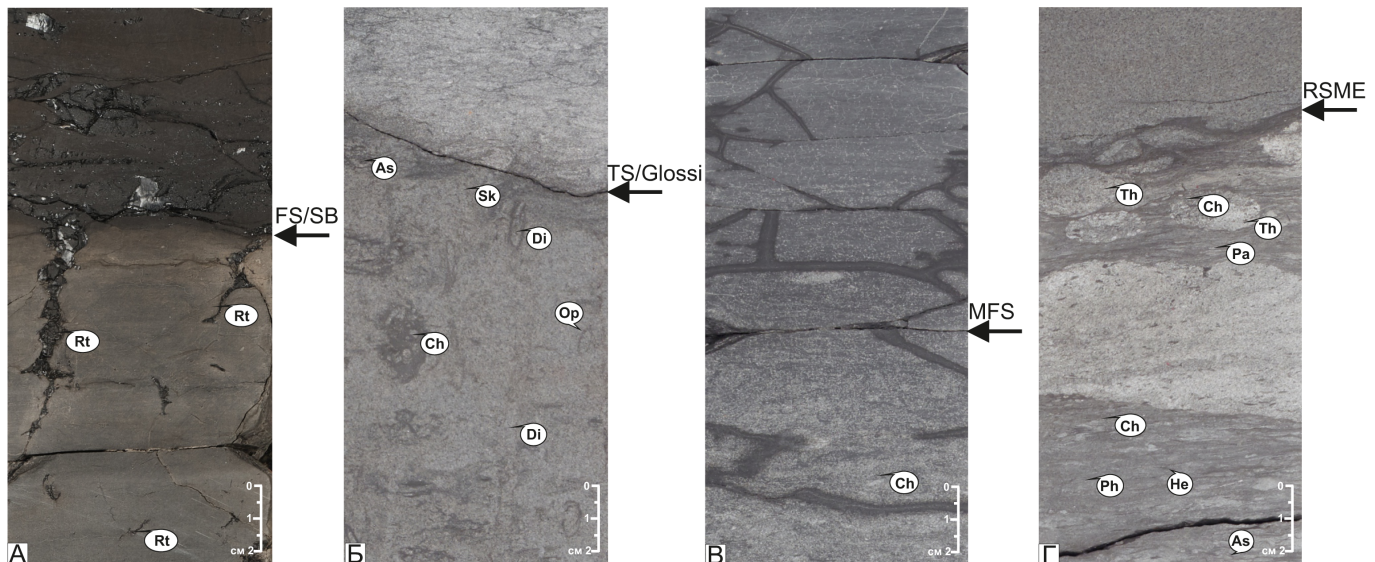


Рис. 2. Поверхности несогласий, выявленные в керне: А – поверхность затопления (FS), выделенная в кровле палеопочвы угольного пласта, Rt – углефицированные корни растений, Б – трансгрессивная поверхность/поверхность Glossifungites, подчеркнутая ходами морских червей и ракообразных: *Ophiomorpha* (Oph), *Diplocraterion* (Dipl), *Asterosoma* (Ast); В – поверхность максимального затопления (MFS) в кровле трансгрессивного слоя алевролитов мелко-крупнозернистых глинистых биотурбированных, перекрываемая аргиллитами микрослоистыми мелководного морского бассейна; Г – регрессивная поверхность морской эрозии (RSME), подчеркивающая эрозионную границу между шельфовыми алевритовыми аргиллитами и перекрывающими песчаниками префронтальной зоны пляжа. Ниже границы видны ходы *Thalassinoides* ихнофацции Glossifungites, проникающие из пляжевых песчаников в подстилающие глинистые отложения шельфа. Обозначения: Thal – *Thalassinoides*, Pal – *Palaeophycus*, Ch – *Chondrites*, Ast – *Asterosoma*, Helm – *Helminthopsis*

Выделение и обоснование опорных поверхностей на основании комплексного анализа данных по керну/обнажениям, каротажных кривых и результатов сейсморазведки дает надежные результаты при корреляции разрезов скважин, а также при выделении секвенсов и системных трактов разных порядков.

Детализация внутреннего строения клиноформного комплекса на основе принципов секвенс-стратиграфии – секвенсы III порядка

Сначала необходимо оценить ранг нижнемеловых клиноформ, ограниченных поименованными маркирующими глинистыми пачками, для сопоставления полученных результатов с известными данными.

Отметим, что проблема иерархии секвенсов относится к числу самых сложных в данном направлении исследований (Miall, 2010). Так, на рис. 4.3 данной монографии представлена сводка оценок временных интервалов формирования секвенсов шести порядков (со ссылкой на статью (Schlager, 2004)). Из нее следует, что большинством авторов время формирования секвенсов III порядка оценено в интервале 0,5–4,8 млн лет, а время формирования секвенсов IV порядка – 0,05–1 млн лет. Аналогичная сводка приведена в более современной статье (Catuneanu, 2019, fig. 2), целиком посвященной данному вопросу: временной интервал формирования секвенсов III порядка – 0,01–4,8 млн лет, секвенсов IV порядка – 0,0004–0,1 млн лет; интервал изменения мощностей секвенсов III порядка – 10–200 м, секвенсов IV порядка – от 1 до 30–40 м.

При столь широком разбросе данных, по нашему мнению, имеет смысл просто сопоставить стратиграфическую шкалу нижнего мела Западной Сибири со шкалой эвстатических колебаний В. Наг (Наг, 2014), на которой воспроизведена цикличность III порядка. В результате такого сопоставления получен вывод: клиноформы нижнего мела как геологические тела, ограниченные кровлями маркирующих глинистых пачек, аналогичны секвенсам III порядка. Для такого заключения имеются следующие основания.

- В работе (Наг, 2013) в интервале берриаса – готерива выделяется 12 секвенсов III порядка. Исходя из продолжительности указанного интервала 14,2 млн лет (там же), среднее время их формирования равно 1,2 млн лет, а интервал колебаний 0,4–2,2 млн лет;
- В статьях С.В. Ершова (Ершов, 2017, 2018) для северной части Западной Сибири в этом же возрастном интервале выделяется 15 маркирующих пачек аргиллитов, что позволяет разбить его на генетические секвенсы со средней продолжительностью 0,9 млн лет, что сопоставимо с секвенсами III порядка В. Наг.
- В действующей стратиграфической схеме берриаса-апта в этом же интервале выделяется 18 маркирующих пачек, что задает его разбиение на генетические секвенсы со средней продолжительностью 0,8 млн л., что также сопоставимо с секвенсами III порядка В. Наг.

Разница в количестве маркирующих пачек в различных источниках, по-видимому, объясняется включением в единый перечень результатов разномасштабных трансгрессий.

Максимальные мощности клиноформ составляют 350–400 м, что также соответствует принятому рангу, они издавна изучаются сейсморазведкой, что по праву позволяет их отнести к «сейсмическому» уровню иерархии (seismic scale – рис. 2, 12 в (Catuneanu, 2019)).

В настоящем разделе изложены некоторые результаты детализации внутреннего строения клиноформ – генетических секвенсов III порядка на примере одного из районов севера Западной Сибири.

В основе современной модельно независимой концепции секвенс-стратиграфии лежит требование выделения в разрезе всех имеющихся *секвенс-стратиграфических поверхностей* независимо от предпочитаемой модели секвенса (Catuneanu et al., 2011; Catuneanu, 2019). Под секвенс-стратиграфическими поверхностями понимаются геологические границы, разделяющие осадочные толщи с различными типами вертикального напластования (stratal stacking pattern): нормально регрессивным в условиях высокого стояния уровня моря, форсированно регрессивным, нормально регрессивным в условиях низкого стояния уровня моря, трансгрессивным (Catuneanu et al., 2011, p. 189). Закономерные последовательности геологических тел с указанными типами вертикального напластования формируются в результате полного цикла изменения ОУМ в районе береговых линий, включая этап его падения. Геологические тела с различными типами вертикального напластования, ограниченные секвенс-стратиграфическими поверхностями, в настоящее время определяются как *системные тракты* (Catuneanu et al., 2011, p. 184; Catuneanu, 2019, p. 352).

Продемонстрируем возможности детализации внутреннего строения клиноформ на композитном временном разрезе, составленном из фрагментов сейсмических данных площадных работ в одном из районов севера Западной Сибири. В результате предшествующих исследований в ООО «ТННЦ» были выделены самбургская, савуйская, чеускинская, сармановская, тепловская клиноформы – генетические секвенсы третьего порядка (рис. 3А). Соответствующие маркирующие глинистые пачки на рисунке обозначены зеленым цветом.

Кровли генетических секвенсов проводятся по кровлям одноименных маркирующих пачек – *поверхностям DLS* (или условно *MFS*), соответствующим надежно коррелируемым отрицательным отражениям в составе двухфазных высококогерентных пакетов.

Выше *MFS* во всех секвенсах присутствуют аградационно-проградационные пакеты отражений, подчеркивающие нормально регрессивную структуру *верхних системных трактов HST*.

Аградационно-проградационные пакеты *HST* сменяются существенно проградационными пакетами с форсированно регрессивной структурой, соответствующими *FSST*. Их нижние границы *BSFR* нами проведены по наиболее нижним устойчивым положительным отражениям, «срезаемым» поверхностями стратиграфических несогласий в районах перехода клинотем в ундатемы. Характерной особенностью *FSST* на исследуемой территории является четко выраженное взаимоотношение внутренних осей синфазности с перекрывающей поверхностью *SU* по типу эрозионного среза.

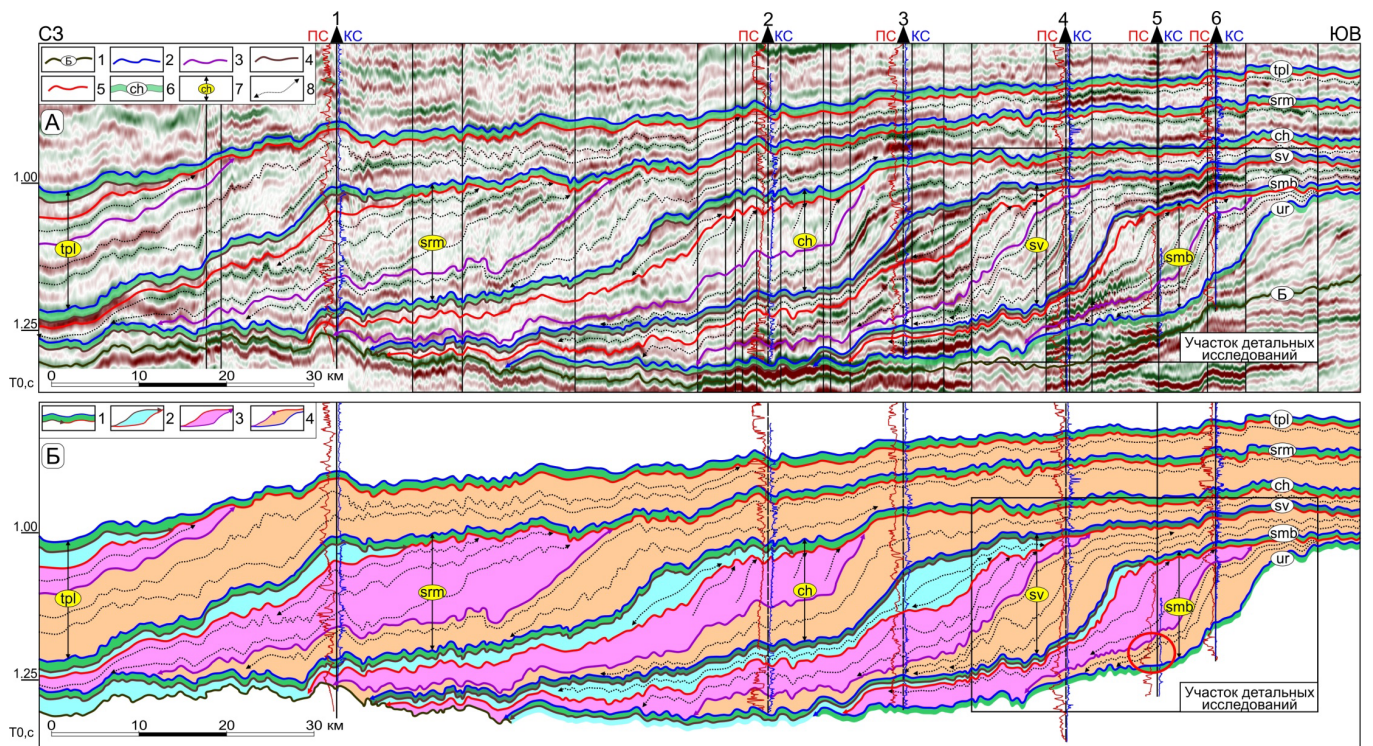


Рис. 3. Результаты расчленения генетических секвенсов III порядка на системные тракты: А – выделение секвенс-стратиграфических поверхностей; Б – выделение системных трактов. Условные обозначения к рис. 3А: 1 – отражающий горизонт Б; 2 – поверхность максимального затопления MFS; 3 – базальная поверхность форсированной регрессии BSFR; 4 – поверхность максимальной регрессии MRS; 5 – стратиграфические несогласия и коррелятивные согласия; 6 – маркирующие глинистые пачки; 7 – одноименные генетические секвенсы; 8 – внутренние отражения. Условные обозначения к рис. 3Б: системные тракты секвенсов III порядка: 1 – TST; 2 – LST; 3 – FSST; 4 – HST; 5 – перспективный объект

Существенно проградационные пакеты FSST вновь сменяются проградационно-аградационными пакетами с нормально регрессивной структурой, соответствующими LST. В ряде случаев отмечено подошвенное налегание внутренних отражений на подстилающие поверхности стратиграфических несогласий. Верхние границы LST MRS проводятся по подошвам маркирующих глинистых пачек TST. Границы выклинивания LST со стороны континента маркируются прилеганием MRS к поверхностям SU.

Двухфазные высококогерентные пакеты отражений, последовательно перекрывающие LST, FSST, HST, соответствуют трансгрессивным системным трактам TST.

Результирующая внутренняя структура клиноформ – генетических секвенсов III порядка представлена на рис. 3Б. Детализация внутреннего строения регрессивных компонент клиноформ открывает новые возможности для картирования в их составе резервуаров и ловушек УВ. В первую очередь это относится к ачимовским резервуарам. Выделение в составе клиноформ системных трактов FSST позволяет оконтурить области их наиболее вероятного распространения, поскольку по современным представлениям наибольшие объемы соответствующих фаций подводных конусов выноса формировались на этапах форсированной регрессии (Catuneanu, 2006). Кроме того, характерная для системных трактов FSST интенсивная проградация способствовала формированию микроклиноформной структуры шельфовых резервуаров, определяющей в ряде случаев многие особенности строения залежей, например (Фищенко и др., 2021). Разбиение клиноформ

на системные тракты имеет значение и для картирования шельфовых пластов, которым всегда уделялось большое внимание в Западной Сибири. В предлагаемых моделях верхние шельфовые пласты клиноформ входят в состав LST, соответственно, данные по их границам могут существенно дополнить критерии прогноза этих резервуаров. В общем случае LST являются перспективными с точки зрения наличия резервуаров, связанных с подводными конусами выноса (Catuneanu, 2006, fig. 5.14; Жемчугова и др., 2021).

В завершении этого раздела остановимся на следующем важном моменте.

В монографии О. Catuneanu (Catuneanu, 2006, fig. 5.4) верхний системный тракт HST отображен как клиноформное тело, депоцентр которого расположен в ундатеме, а клинотема и фондотема представлены маломощными отложениями. Далее в таблице на рис. 5.14 отмечены плохие условия для формирования в составе HST подводных конусов выноса. Данная точка зрения является весьма распространенной среди геологов.

В рассмотренном выше примере HST представляют собой мощные клиноформные тела с депоцентрами в клинотема, причем в их составе выделяются резервуары, связанные с подводными конусами выноса, например, HST самбургского генетического секвенса в скв. 5 (красный овал на рис. 3Б).

По нашему мнению, данное противоречие объясняется тем, что приведенные выше общие рассуждения даются

вне связи с порядком рассматриваемых объектов. Более подробно этот вопрос рассмотрен в следующем разделе.

Детализация внутреннего строения клиноформного комплекса на основе принципов секвенс-стратиграфии – секвенсы IV порядка

Разрешение сформулированного выше противоречия возможно на основе концепции высококоррессирующей секвенс-стратиграфии (Zecchin, Catuneanu, 2013; Catuneanu, 2019).

Секвенсы III порядка – это, как правило, достаточно масштабные геологические тела, мощность которых может составлять сотни метров. Это традиционные объекты для изучения сейсмическим методом.

Секвенсы IV порядка – это объекты с аналогичной внутренней структурой, но слагающие секвенсы III порядка. Мощность их составляет десятки метров, т.е., это объекты, исследуемые в скважинах (Catuneanu, 2019). Хотя секвенсы IV порядка и составляющие их системные тракты являются целевыми для геологоразведчиков, непосредственное картирование их сейсмическим методом возможно далеко не всегда вследствие ограничения его разрешающей способности. В этих условиях обычно поступают следующим образом: по данным сейсморазведки и скважин картируют секвенсы III порядка и составляющие их системные тракты, а затем прогнозируют внутреннюю литолого-фациальную структуру системных трактов на основе концептуальных моделей и имеющихся скважинных данных.

Однако значительные мощности секвенсов III порядка в Западной Сибири и достаточно высокое качество сейсмических данных позволяют в ряде случаев непосредственно закартировать их внутреннее строение. Проиллюстрируем данный тезис на примере савуйского и самбургского генетических секвенсов (рис. 4). Участок детальных исследований выделен рамкой на рис. 3.

В результате детального сейсмостратиграфического анализа в указанных секвенсах удалось по устойчивым отрицательным фазам выделить еще четыре дополнительные поверхности DLS (MFS) более высокого IV порядка. Основанием для такого выделения являются их взаимоотношения с залегающими выше элементами волнового поля по схеме подошвенного прилегания (downlap).

Выявленные DLS (MFS) совместно с анализом типов вертикального напластования позволили разделить каждый из секвенсов III порядка на три генетических секвенсы IV порядка (рис. 4). Соответственно, время их формирования составило 0,25–0,3 млн лет, а максимальные мощности – около 200 м.

В составе секвенсов IV порядка также были выделены системные тракты.

Результаты проведенной детализации можно свести к следующему.

Самбургский HST III порядка включает в себя генетический секвенс smb1 IV порядка и перекрывающий его HST секвенса smb2. Ундатема его образована маломощными HST, TST, HST секвенсов IV порядка, мощная клинотема – в основном FSST и LST, фондотема – в основном FSST. Причем резервуар подводных конусов выноса в скв. 5

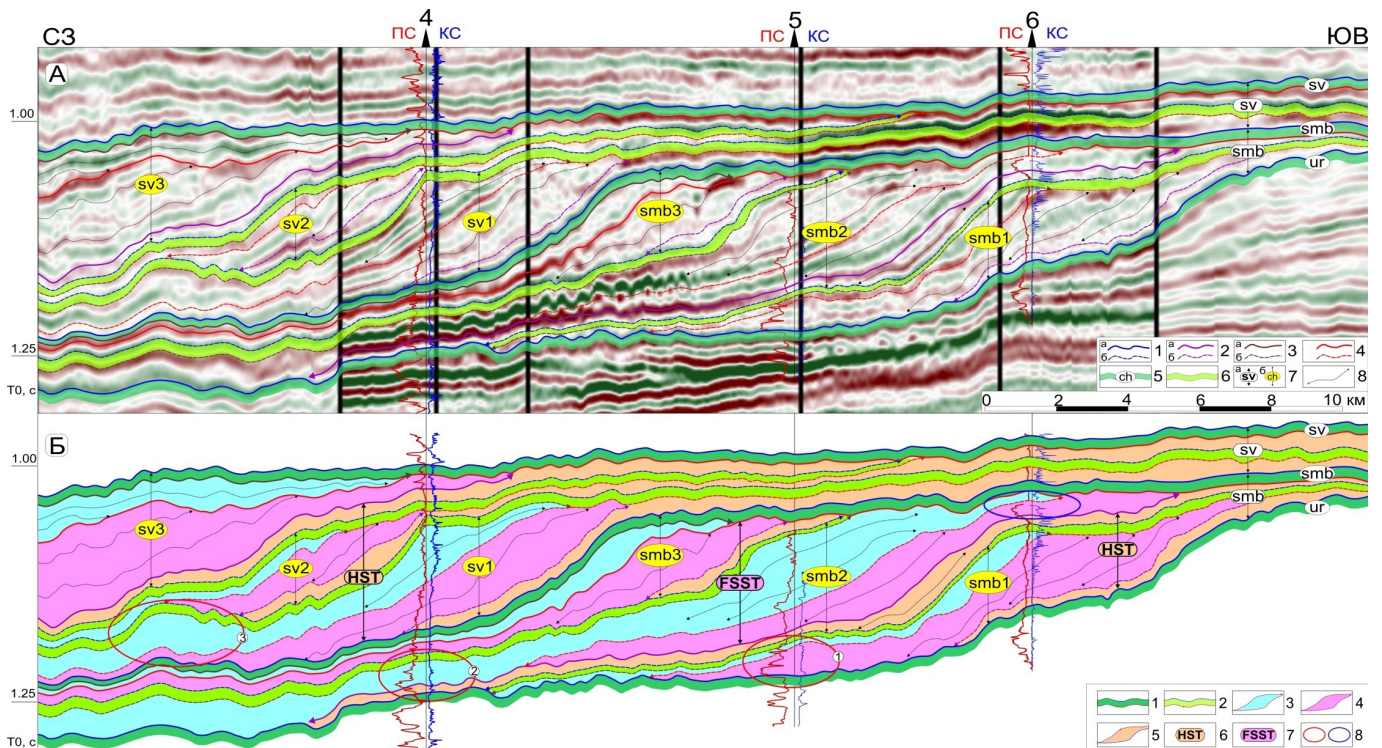


Рис. 4. Результаты расчленения самбургского и савуйского генетических секвенсов III порядка на генетические секвенсы IV порядка и их системные тракты: А – выделение секвенс-стратиграфических поверхностей; Б – выделение системных трактов. Условные обозначения к рис. 4А: 1 – MFS III порядка (а), IV порядка (б); 2 – BSFR III порядка (а), IV порядка (б); 3 – MRS III порядка (а), IV порядка (б); 4 – стратиграфические несогласия и коррелятивные согласия III порядка (а), IV порядка (б); 5 – маркирующие глинистые пачки: ur – урьевская, smb – самбургская, sv – савуйская; 6 – безымянные маркирующие глинистые пачки; 7 – генетические секвенсы III порядка (а), IV порядка (б); 8 – внутренние отражения. Условные обозначения к рис. 4Б: 1 – TST III порядка; 2 – TST IV порядка; 3 – LST IV порядка; 4 – FSST IV порядка; 5 – HST IV порядка; 6 – HST III порядка; 7 – FSST III порядка; 8 – перспективные объекты

входит в состав FSST секвенсы IV порядка smb1 (красный овал 1 на рис. 4Б), что соответствует типовым представлениям о фаціальном составе системных трактов.

Самбургский FSST III порядка включает в себя FSST, LST, TST секвенсы smb2 и HST, FSST секвенсы smb3. Ундатема его сложена нижним парасеквенсом FSST, включающим шельфовый песчаный пласт (синий овал на рис. 4Б), также окончанием LST секвенсы smb2, мощная клинотема – относительно маломощным FSST, мощным LST, крайне маломощным TST секвенсы smb2, крайне маломощным HST, относительно маломощным FSST секвенсы smb3, фондотема – в основном LST секвенсы smb2, в котором в скв. 4 выделяются относительно маломощные образования подводных конусов выноса (красный овал 2 на рис. 4Б). Последнее позволяет предположить, что LST секвенсы IV порядка, сформированные в условиях общего тренда падения относительного уровня моря, могут быть перспективны на поиски резервуаров подводных конусов выноса.

Савуйский HST III порядка включает генетические секвенсы sv1 и sv2 IV порядка, а также HST секвенсы sv3. Ундатема его образована чередованием маломощных HST и TST секвенсы IV порядка. Мощная клинотема сложена в основном FSST и LST секвенсы sv1, а также FSST секвенсы sv2, фондотема – в основном LST секвенсы sv1, в котором по данным сейсморазведки выделяется достаточно крупное аккумулятивное образование (красный овал 3 на рис. 4Б), возможно содержащее резервуары подводных конусов выноса.

Итак, несмотря на местами неоднозначную корреляцию, из проведенного анализа можно сделать уверенный вывод: как минимум, системные тракты HST и FSST секвенсы III порядка на севере Западной Сибири имеют весьма сложное внутреннее строение, существенно отличающееся от типовых представлений. Связано это с тем, что системные тракты секвенсы III порядка являются частями вертикальных последовательностей генетических секвенсы IV порядка, каждый из которых, в свою очередь, может подразделяться на HST, FSST, LST, TST. Указанные системные тракты соответствуют типовым представлениям об их строении и, вероятно, контролируют распределение фаций в системных трактах секвенсы III порядка. Следовательно, в составе HST и FSST III порядка могут залегать как фации глубоководных конусов выноса, так и шельфовые резервуары, связанные соответственно с FSST, LST, HST IV порядка.

О дальнейшем развитии клиноформной модели нижнего мела Западной Сибири на основе принципов секвенс-стратиграфии

Как уже отмечалось выше, суть развития клиноформной концепции нижнего мела Западной Сибири на основе принципов секвенс-стратиграфии заключается:

– в разбиении клиноформ – генетических секвенсы III порядка на системные тракты HST, FSST, LST, TST, и их последующем исследовании, что должно способствовать уточнению пространственной локализации резервуаров и ловушек УВ;

– в разбиении в подходящих сейсмогеологических условиях клиноформ – генетических секвенсы III порядка на составляющие их клиноформы – генетические

секвенсы IV порядка, а также в разбиении последних на системные тракты и их последующем исследовании, что должно способствовать построению фаціальных моделей резервуаров с детальностью, соответствующей скважинным данным.

Клиноформы – генетические секвенсы III порядка в Западной Сибири – изучаются уже более 40 лет. Тем не менее, выделение в их составе HST, LST позволит, по нашему мнению, детализировать прогноз шельфовых резервуаров мелководно-морского генезиса, а выделение FSST – локализовать зоны, перспективные на поиски ловушек УВ в ачимовских резервуарах.

В результате проведенного анализа показано, что системные тракты секвенсы III порядка являются сложными гетерогенными образованиями, положение фаций в которых далеко не всегда соответствуют типовым моделям. Для того чтобы приблизить прогнозную фаціальную модель к масштабу скважин секвенсы III порядка, следует расчленив на секвенсы IV порядка и выделить в них системные тракты. Последние уже в целом соответствуют типовым моделям системных трактов, приведенным, например, в (Catuneanu, 2006, fig. 5.4), и их можно использовать в качестве априорных при прогнозе резервуаров и ловушек УВ.

Но секвенсы IV порядка и составляющие их системные тракты далеко не всегда возможно закартировать из-за ограничений разрешающей способности сейсморазведки. Для этого необходимы особые условия.

В связи с этим предлагается следующий методический подход к организации работ по прогнозу резервуаров и ловушек УВ в клиноформном комплексе нижнего мела севера Западной Сибири на основе принципов секвенс-стратиграфии:

1. в качестве исходных данных для секвенс-стратиграфического анализа использовать временные разрезы и разрезы скважин с результатами согласованного выделения клиноформ – генетических секвенсы III порядка, ограниченных кровлями маркирующих пачек аргиллитов;
2. клиноформы – генетические секвенсы III порядка разбивать на составляющие их системные тракты путем выделения всех секвенс-стратиграфических поверхностей, присутствующих в разрезе;
3. картировать мощности системных трактов секвенсы III порядка с выделением их депоцентров. Картирование депоцентров крайне важно потому, что, во-первых, в них можно априорно предполагать повышенное содержание песчаных резервуаров, во-вторых, повышенные мощности стратонов позволяют более обоснованно расчленять их на секвенсы IV порядка и их системные тракты;
4. в пределах выделенных депоцентров при наличии качественных сейсмических данных разбивать секвенсы III порядка и их системные тракты на секвенсы IV порядка и их системные тракты; резервуары и ловушки УВ выделять в составе последних путем комплексирования данных скважин, результатов кинематического и динамического анализа временных разрезов и априорных представлений о распределении фаций в исследуемых стратонах.

Заключение

Клиноформная концепция берриас-готеривского комплекса Западной Сибири была и остается научной основой прогноза его нефтегазоносности. Вместе с тем новые задачи и новые технологические возможности требуют ее дальнейшего развития. Базой для этого может служить современная модельно независимая методология секвенс-стратиграфии, суть которой заключается в разбиении разреза на последовательность системных трактов путем выделения всех секвенс-стратиграфических поверхностей. При этом выбор типа поверхностей, ограничивающих секвенс, осуществляется уже на втором этапе на основе выраженности поверхностей в разрезе или предпочтений исследователя.

Широкое развитие в нижнемеловом клиноформном комплексе севера Западной Сибири стратиграфических несогласий позволяет выделять в составе нижнемеловых клиноформ четыре системных тракта: верхний NST, стадии падения ОУМ FSST, нижний LST, трансгрессивный TST. Выделение осуществляется путем картирования секвенс-стратиграфических поверхностей на основе анализа типов вертикального напластования. Такое разбиение должно способствовать уточнению пространственной локализации резервуаров и ловушек УВ.

По нашему мнению, границами секвенсов в данном случае должны выступать кровли TST – поверхности подошвенного прилегания DLS, традиционно интерпретируемые как поверхности максимального затопления MFS, что обеспечивает согласованность предлагаемого подхода с клиноформной концепцией.

Перечисленные выше нижнемеловые клиноформы Западной Сибири можно рассматривать как генетические секвенсы III порядка. Разбиение их на системные тракты открывает новые возможности для картирования резервуаров и ловушек УВ как в ачимовских отложениях, так и в шельфовых пластах. В результате анализа установлено, что системные тракты секвенсов III порядка являются сложными гетерогенными образованиями, распределение фаций в которых может существенно отличаться от типовых моделей. Причина этого заключается в том, что они сами образованы секвенсами более высокого IV порядка. Распределение фаций в системных трактах секвенсов IV порядка приближено к типовым моделям (Catuneanu, 2006, fig. 5.4), их можно использовать в качестве априорных при прогнозе резервуаров и ловушек УВ. Но картирование их в общем случае затруднено ограничением разрешающей способности современной сейсморазведки.

Поэтому мы предлагаем сначала разделять секвенсы III порядка на системные тракты, затем выполнять картирование их мощностей с выделением депоцентров, далее в пределах депоцентров (в подходящих сейсмогеологических условиях) выделять клиноформы – секвенсы IV порядка и составляющие их системные тракты как основу для картирования резервуаров и ловушек углеводородов.

Благодарности

Авторы выражают глубокую благодарность рецензентам за ценные замечания и предложения, которые весьма способствовали улучшению работы.

Литература

- Балдин В.А., Игошкин В.П., Мунасыпов Н.З., Низамутдинова И.Н. (2020). Проблемы и методы стратификации (на примере юрско-меловых отложений северо-востока Западной Сибири). *Геофизика*, 3, с. 17–30.
- Балдин В.А., Игошкин В.П., Мунасыпов Н.З., Низамутдинова И.Н. (2021). Стратиграфия юрско-меловых отложений на северо-востоке Западной Сибири по результатам секвенс-стратиграфического анализа. *Геофизика*, 3, с. 2–17.
- Балдин В.А., Игошкин В.П., Мунасыпов Н.З. (2022). Региональная секвенс-стратиграфическая модель строения верхнеюрско-неокомских отложений всей Западной Сибири как основа для эффективного освоения трудноизвлекаемых запасов ачимовской толщи и баженинов. *Геофизика*, 4, с. 46–57.
- Барабощкин Е.Ю., Веймарн А.Б., Копавич Л.Ф., Найдин Д.П. (2002) Изучение стратиграфических перерывов при производстве геологической съемки. Методические рекомендации. М.: МГУ, 163 с.
- Габдуллин Р.Р., Копавич Л.Ф., Иванов А.В. (2008). Секвентная стратиграфия. М.: МАКС Пресс, 113 с.
- Ершов С.В. (2017). Проблемы выделения и корреляции стратотипических разрезов неокома Западной Сибири в связи с клиноформным строением. *Геология и геофизика*, 58(8), с. 1206–1219. DOI: 10.15372/GiG20170808
- Ершов С.В. (2018). Секвенс-стратиграфия берриас-нижнеаптских отложений Западной Сибири. *Геология и геофизика*, 59(7), с. 1106–1123. DOI: 10.15372/GiG20180711
- Жемчугова В.А. (2014). Практическое применение резервуарной седиментологии при моделировании углеводородных систем. М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 342 с.
- Жемчугова В.А., Рыбальченко В.В., Шарданова Т.А. (2021). Секвенс-стратиграфическая модель нижнего мела Западной Сибири. *Георесурсы*, 23(2), с. 179–191. <https://doi.org/10.18599/grs.2021.2.18>
- Зорина С.О. (2016). Секвенс-стратиграфия. (Материалы к лекциям. Практические занятия). Казань, 65 с.
- Карогадин Ю.Н. (1996). Методологические вопросы литологии и секвенс-стратиграфии. *Геология и геофизика*, 37(4), с. 3–11.
- Маргулис Л.С. (2008). Секвентная стратиграфия в изучении строения осадочных бассейнов. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, 3. http://www.ngtp.ru/rub/2/37_2008.pdf
- Наумов А.Л. (1977). К методике реконструкции рельефа дна Западно-Сибирского мелового бассейна. *Геология и геофизика*, 18(10), с. 38–47.
- Нежданов А.А., Кулагина С.Ф., Герасимова Е.В. (2022) Влияние позднекимерийской складчатости на стратиграфию раннеокомских отложений Западной Сибири. *Экспозиция нефть газ*, 7(60), с. 18–22.
- Потапова Е.А. (2015). Реализация секвенс-стратиграфического подхода для уточнения корреляции клиноформных пластов группы БУ на юго-восточном склоне Среднемессояхского вала. *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*, 7, с. 22–29.
- Потапова Е.А. (2020). Реализация секвенс-стратиграфического подхода для выявления перспективных зон открытия новых залежей углеводородов в пределах южной части Антипаютинской впадины. *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*, 7, с. 23–28. [https://doi.org/10.30713/2413-5011-2020-7\(343\)-23-28](https://doi.org/10.30713/2413-5011-2020-7(343)-23-28)
- Потапова Е.А., Потапов А.Д., Лебедев М.В. (2023). Клиноформная модель неокома на основе принципов секвенс-стратиграфии. *Мат. XVI межд. научно-практ. конф.: Новые идеи в науках о Земле*. М.: МГРИ (в печати).
- Розбаева Г.Л., Евдошук А.А., Белкина В.А. (2013). Обоснование поверхности несогласия по данным керн и каротажа в задаче геомоделирования. *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*, 2, с. 21–25.
- Розбаева Г.Л., Васильев В.Е., Дубровина Л.А., Маринов В.А., Храмова А.В. и др. (2023). Стратиграфическое несогласие в подошве неокомского клиноформного комплекса северо-востока Западной Сибири. *Геомодель*. Санкт-Петербург.
- Сподобаев А.А., Нежданов А.А., Меркулов А.В. (2018). Результаты секвенс-стратиграфического анализа отложений ачимовской толщи на Ямбургском нефтегазоконденсатном месторождении. *Экспозиция. Нефть Газ*, 2, с. 22–27.
- Трушкова Л.Я. (1980). Формация и условия нефтегазоносности в неоме южной половины Западно-Сибирской плиты. Условия нефтегазоносности и особенности формирования месторождений нефти и газа на Западно-Сибирской плите. Л.: ВНИГРИ, с. 34–48.
- Трушкова Л.Я., Игошкин В.П., Хафизов Ф.З. (2011). Клиноформы неокома – уникальный тип нефтегазоносных резервуаров Западной Сибири. СПб: ВНИГРИ, 125 с.

Фищенко А.Н., Шакиров Р.Р., Михеев Ю.В., Кулагин С.И., Михайлов И.А., Сокольников А.А. (2021). Микроклиноформное строение пласта БТ₁₀ как фактор, контролирующий формирование газовых залежей юго-востока Ямало-Ненецкого автономного округа. *Известия высших учебных заведений. Нефть и газ*, 5, с. 98–110.

Шуваев О.В. (2015). Строение и нефтегазоносность неокомского клиноформного комплекса в пределах Большехетской впадины. *Геология нефти и газа*, 4, с. 2–11.

Шуваев О.В., Богданов О.А., Мусихин К.В., Истомин С.Б., Колосков В.Н. (2017). Особенности формирования неокомского клиноформного комплекса в пределах Большехетской впадины. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, 12(2). https://doi.org/10.17353/2070-5379/24_2017

Catuneanu O. (2006). Principles of sequence stratigraphy. Amsterdam: Elsevier, 375 p.

Catuneanu O. (2019). Model-independent sequence stratigraphy. *Earth-Science Reviews*, 188, pp. 312–388. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.09.017>

Catuneanu O., Abreu V., Bhattacharya J.P. et al. (2009). Towards the standardization of sequence stratigraphy. *Earth-Science Reviews*, 92, pp. 1–33. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.10.003>

Catuneanu O., Bhattacharya J.P., Blum M.D. et al. (2010). Sequence stratigraphy: common ground after three decades of development. *First break*, 28, pp. 21–34. <https://doi.org/10.3997/1365-2397.2010002>

Catuneanu O., Galloway W.E., Kendall C.G.St.C. et al. (2011). Sequence stratigraphy: methodology and nomenclature. *Newsletters on Stratigraphy*, 44, pp. 173–245. <https://doi.org/10.1127/0078-0421/2011/0011>

Christie-Blick N. (1991). Onlap, offlap, and the origin of unconformity-bounded depositional sequences. *Marine Geology*, 97, pp. 35–56. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(91\)90018-Y](https://doi.org/10.1016/0025-3227(91)90018-Y)

Embry, A. F., Johannessen, E. P. (1992). T-R sequence stratigraphy, facies analysis and reservoir distribution in the uppermost Triassic-Lower Jurassic succession, western Sverdrup Basin, Arctic Canada. *Arctic Geology and Petroleum Potential*, 2 (Special Publication). Norwegian Petroleum Society (NPF), pp. 121–146. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-88943-0.50013-7>

Galloway W.E. (1989). Genetic stratigraphic sequences in basin analysis, I. Architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units. *AAPG Bull.*, 73, pp. 125–142. <https://doi.org/10.1306/703C9AF5-1707-11D7-8645000102C1865D>

Haq B.U. (2014). Cretaceous eustasy revisited. *Global and Planetary Change*, 113, pp. 44–58. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.12.007>

Haq B. U., Hardenbol, J., Vail, P. R. (1987). Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic (250 million years ago to present). *Science*, 235, pp. 1156–1166. <https://doi.org/10.1126/science.235.4793.1156>

Helland-Hansen W., Gjølberg J. G. (1994). Conceptual basis and variability in sequence stratigraphy: a different perspective. *Sedimentary Geology*, 92, pp. 31–52. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(94\)90053-1](https://doi.org/10.1016/0037-0738(94)90053-1)

Hunt D., Tucker M. E. (1992). Stranded parasequences and the forced regressive wedge systems tract: deposition during base-level fall. *Sedimentary Geology*, 81, pp. 1–9. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(92\)90052-S](https://doi.org/10.1016/0037-0738(92)90052-S)

Johnson J. G., Murphy M. A. (1984). Time-rock model for Siluro-Devonian continental shelf, western United States. *Geological Society of America Bulletin*, 95, pp. 1349–1359. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1984\)95<1349:TMFSCS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1984)95<1349:TMFSCS>2.0.CO;2)

Miall A.D. (2010). *The Geology of Stratigraphic Sequences*. Springer Berlin, Heidelberg, 522 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-05027-5>

Pinous O.V., Karogodin Y.N., Ershov S.V., Sahagian D.L. (1999). Sequence stratigraphy, facies, and sea level change of the hauterivian productive complex, Priobskoe oil field (West Siberia). *AAPG Bull.*, 83(6), pp. 972–989.

Pinous O.V., Levchuk M. A., Sahagian D. L. (2001). Regional synthesis of the productive Neocomian complex of West Siberia: Sequence stratigraphic framework. *AAPG Bull.*, 85(10), pp. 1713–1730. <https://doi.org/10.1306/8626D04F-173B-11D7-8645000102C1865D>

Posamentier H.W., Allen G.P. (1999). Siliciclastic sequence stratigraphy: concepts and applications. *SEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology*, 7, 210 p.

Posamentier H.W., Jervey M.T., Vail P.R. (1988). Eustatic controls on clastic deposition I – conceptual frame-work. Sea-level changes: an integrated approach. *SEPM Special Publication*, 42, pp. 109–124. <https://doi.org/10.2110/pec.88.01.0109>

Van Wagoner J.C., Mitchum Jr., R.M., Campion K.M., Rahmanian V. D. (1990). Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, core, and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies. *American Association of Petroleum Geologists Methods in Exploration*, Series 7, 55 p. <https://doi.org/10.1306/Mth7510>

Van Wagoner J.C., Posamentier H.W., Mitchum R.M., Vail P.R., Sarg J.F., Loutit T.S., Hardenbol J. (1988). An overview of sequence stratigraphy and key definitions. Sea-level changes: an integrated approach. *SEPM Special Publication*, 42, pp. 39–45. <https://doi.org/10.2110/pec.88.01.0039>

Zecchin, M., Catuneanu O. (2013). High-resolution sequence stratigraphy of clastic shelves I: Units and bounding surfaces. *Marine and Petroleum Geology*, 39, pp. 1–25. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2012.08.015>

Сведения об авторах

Михаил Валентинович Лебедев – доктор геол.-минерал. наук, эксперт, ООО «Тюменский нефтяной научный центр»

Россия, 630002, Тюмень, ул. Перекопская, д. 19
e-mail: MVLebedev2@tnnc.rosneft.ru

Евгений Владимирович Астафьев – заместитель начальника управления, ООО «Тюменский нефтяной научный центр»

Россия, 630002, Тюмень, ул. Перекопская, д. 19.

Алена Валерьевна Храмова – кандидат геол.-минерал. наук, эксперт, ООО «Тюменский нефтяной научный центр»

Россия, 630002, Тюмень, ул. Перекопская, д. 19

Статья поступила в редакцию 15.06.2023;

Принята к публикации 11.10.2023; Опубликована 30.12.2023

IN ENGLISH

ORIGINAL ARTICLE

Further Development of the Lower Cretaceous Clinoform Model of the North of West Siberia Based on the Sequence Stratigraphy Principles: New Possibilities of Stratification

M.V. Lebedev*, E.V. Astafiev, A.V. Khramtsova

Tyumen Petroleum Research Center, Tyumen, Russian Federation

*Corresponding author: Mikhail V. Lebedev, e-mail: MVLebedev2@tnnc.rosneft.ru

Abstract. The clinoform concept of the Lower Cretaceous of Western Siberia was and remains the scientific basis for predicting its oil and gas potential. At the same time, new challenges and new technological opportunities require its further development. The basis for this can be a modern

model independent methodology of sequence stratigraphy, the essence of which is to divide the stratigraphic section into a succession of systems tracts by mapping of all sequence stratigraphic surfaces. At the same time, the choice of the type of surfaces limiting the sequence is carried out already at the

second stage on the basis of the expression of the surfaces in the stratigraphic section or the preferences of the researcher.

The wide development of unconformities in the Western Siberian Lower Cretaceous clinof orm complex makes it possible to subdivide clinof orms into four systemic tracts: highstand HST, falling-stages FSST, lowstand LST, transgressive TST. The subdivision is carried out by mapping sequence stratigraphic surfaces based on the analysis of stratal stacking patterns. According to the authors, the boundaries of the sequences in this case should be the tops of the TST – the downlap surfaces (DLS), traditionally interpreted as maximum flooding surfaces (MFS). This ensures the consistency of the proposed approach with the clinof orm concept.

The named clinof orms of Western Siberia can be considered as genetic sequences of the III order. However, the position of facies in their systems tracts is far from always predictable. For further detailing of facies models, clinof orms – III order sequences should be subdivided into clinof orms – IV order sequences, and subdivide them into systems tracts. But the latter are not always mapped by modern seismic method. Special conditions are necessary for this. Therefore, it is proposed at first to subdivide the III order sequences into systems tracts. Then – to map their thicknesses, and to allocate of their depocenters. Further, within the depocenters (under suitable seismogeological conditions), to define IV-order clinof orms – sequences and their constituent system tracts as a basis for mapping reservoirs and hydrocarbons traps.

Keywords: sequence stratigraphy, north of West Siberia, genetic sequence, stratigraphic unconformity, III order sequence, IV order sequence

Recommended citation: Lebedev M.V., Astafiev E.V., Khramtsova A.V. (2023). Further Development of the Lower Cretaceous Clinof orm Model of the North of West Siberia Based on the Sequence Stratigraphy Principles: New Possibilities of Stratification. *Georesursy = Georesources*, 25(4), pp. 163–175. <https://doi.org/10.18599/grs.2023.4.14>

References

- Baldin V.A., Igoshkin V.P., Munasypov N.Z., Nizamutdinova I.N. (2020). Problems and methods of stratification (as exemplified by jurassic-cretaceous sediments in Northeastern West Siberia). *Geofizika = Geophysics*, 3, pp. 17–30. (In Russ.)
- Baldin V.A., Igoshkin V.P., Munasypov N.Z., Nizamutdinova I.N. (2021). Stratigraphy of the jurassic-cretaceous deposits in northeast of Western Siberia on the results of sequence-stratigraphic analysis. *Geofizika = Geophysics*, 3, pp. 2–17. (In Russ.)
- Baldin V.A., Igoshkin V.P., Munasypov N.Z. (2022). Regional sequence stratigraphic model of the upper jurassic-neocomian deposits structure throughout the Western Siberia as a basis for efficient development of hard-to-recover reserves of the Achimov series and bazhenites. *Geofizika = Geophysics*, 4, pp. 46–57. (In Russ.)
- Baraboshkin E.Yu., Weimarn A.B., Kopaevich L.F., Naidin D.P. (2002). Study of stratigraphic breaks in the course of geological survey. Methodological recommendations. Moscow: MSU, 163 p. (In Russ.)
- Catuneanu O. (2006). Principles of sequence stratigraphy. Amsterdam: Elsevier, 375 p.
- Catuneanu O. (2019). Model-independent sequence stratigraphy. *Earth-Science Reviews*, 188, pp. 312–388. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.09.017>
- Catuneanu O., Abreu V., Bhattacharya J.P. et al. (2009). Towards the standardization of sequence stratigraphy. *Earth-Science Reviews*, 92, pp. 1–33. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.10.003>
- Catuneanu O., Bhattacharya J.P., Blum M.D. et al. (2010). Sequence stratigraphy: common ground after three decades of development. *First break*, 28, pp. 21–34. <https://doi.org/10.3997/1365-2397.2010002>
- Catuneanu O., Galloway W.E., Kendall C.G.St.C. et al. (2011). Sequence stratigraphy: methodology and nomenclature. *Newsletters on Stratigraphy*, 44, pp. 173–245. <https://doi.org/10.1127/0078-0421/2011/0011>
- Christie-Blick N. (1991). Onlap, offlap, and the origin of unconformity-bounded depositional sequences. *Marine Geology*, 97, pp. 35–56. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(91\)90018-Y](https://doi.org/10.1016/0025-3227(91)90018-Y)
- Embry, A. F., Johannessen, E. P. (1992). T-R sequence stratigraphy, facies analysis and reservoir distribution in the uppermost Triassic-Lower Jurassic succession, western Sverdrup Basin, Arctic Canada. Arctic Geology and Petroleum Potential, 2 (Special Publication). Norwegian Petroleum Society (NPF), pp. 121–146. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-88943-0.50013-7>
- Ershov S.V. (2017). Problems of selection and correlation of stratotype sections of the Neocomian in West Siberia in the context of clinof orm structure. *Russ. Geol. Geophys.*, 58(8), pp. 963–972. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2017.07.007>
- Ershov S.V. (2018). Sequence stratigraphy of the Berriassian–Lower Aptian deposits of West Siberia. *Russ. Geol. Geophys.*, 59(7), pp. 891–904. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2018.07.011>
- Fishchenko A.N., Shakirov R.R., Mikheev Yu.V., Kulagin S.I., Mikhailov I.A., Sokolnikova A.A. (2021). Microclinof orm structure of the BT10 reservoir as a factor controlling the formation of gas deposits in the south-east of the Yamalo-Nenets Autonomous District. *Izvestiya Vuzov. Neft i gaz = Oil and Gas Studies*, 5, pp. 98–110. (In Russ.)
- Gabdullin R.R., Kopaevich L.F., Ivanov A.V. (2008). Sequence stratigraphy: Textbook. Moscow: MAX Press, 113 p. (In Russ.)
- Galloway W.E. (1989). Genetic stratigraphic sequences in basin analysis, I. Architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units. *AAPG Bull.*, 73, pp. 125–142. <https://doi.org/10.1306/703C9AF5-1707-11D7-8645000102C1865D>
- Haq B.U. (2014). Cretaceous eustasy revisited. *Global and Planetary Change*, 113, pp. 44–58. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.12.007>
- Haq B. U., Hardenbol, J., Vail, P. R. (1987). Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic (250 million years ago to present). *Science*, 235, pp. 1156–1166. <https://doi.org/10.1126/science.235.4793.1156>
- Holland-Hansen W., Gjølberg J. G. (1994). Conceptual basis and variability in sequence stratigraphy: a different perspective. *Sedimentary Geology*, 92, pp. 31–52. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(94\)90053-1](https://doi.org/10.1016/0037-0738(94)90053-1)
- Hunt D., Tucker M. E. (1992). Stranded parasequences and the forced regressive wedge systems tract: deposition during base-level fall. *Sedimentary Geology*, 81, pp. 1–9. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(92\)90052-S](https://doi.org/10.1016/0037-0738(92)90052-S)
- Johnson J.G., Murphy M.A. (1984). Time-rock model for Siluro-Devonian continental shelf, western United States. *Geological Society of America Bulletin*, 95, pp. 1349–1359. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1984\)95<1349:TMFSCS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1984)95<1349:TMFSCS>2.0.CO;2)
- Karogodin Yu.N. (1996). Methodological issues of lithology and sequence stratigraphy. *Geologiya i geofizika*, 37(4), pp. 3–11. (In Russ.)
- Margulis L.S. (2008). Sequence stratigraphy in the study of the structure of sedimentary basins. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya i Praktika = Petroleum Geology - Theoretical and Applied Studies*, 3. (In Russ.) http://www.ngtp.ru/rub/2/37_2008.pdf
- Miall A.D. (2010). The Geology of Stratigraphic Sequences. Springer Berlin, Heidelberg, 522 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-05027-5>
- Naumov A.L. (1977). To the method of reconstruction of the bottom relief of the West Siberian Cretaceous basin. *Geologiya i geofizika*, 18(10), pp. 38–47. (In Russ.)
- Nezhdanov A.A., Kulagina S.F., Gerasimova E.V. (2022). The effect of Late Cimmerian folding on the stratigraphy of Early Neocomian deposits of West Siberia. *Ekspozitsiya neft ' gaz*, 7(60), pp. 18–22. (In Russ.)
- Pinous O.V., Karogodin Y.N., Ershov S.V., Sahagian D.L. (1999). Sequence stratigraphy, facies, and sea level change of the hauterivian productive complex, Priobskoe oil field (West Siberia). *AAPG Bull.*, 83(6), pp. 972–989.
- Pinous O.V., Levchuk M. A., Sahagian D. L. (2001). Regional synthesis of the productive Neocomian complex of West Siberia: Sequence stratigraphic framework. *AAPG Bull.*, 85(10), pp. 1713–1730. <https://doi.org/10.1306/8626D04F-173B-11D7-8645000102C1865D>
- Posamentier H.W., Allen G.P. (1999). Siliciclastic sequence stratigraphy: concepts and applications. *SEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology*, 7, 210 p.
- Posamentier H.W., Jervey M.T., Vail P.R. (1988). Eustatic controls on clastic deposition I – conceptual frame-work. Sea-level changes: an integrated approach. *SEPM Special Publication*, 42, pp. 109–124. <https://doi.org/10.2110/pec.88.01.0109>
- Potapova E.A. (2015). Applying a sequence-stratigraphic approach to update the correlation of clinof orm formations of the BU group on the

southeastern slope of the Srednemesoyakhsky Swell. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy* = *Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*, 7, pp. 22–29. (In Russ.)

Potapova E.A. (2020). Applying a sequence-stratigraphic approach to identify promising areas for new hydrocarbon discoveries within the southern part of the Antipayutinskaya depression. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy* = *Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*, 7, pp. 23–28. (In Russ.) [https://doi.org/10.30713/2413-5011-2020-7\(343\)-23-28](https://doi.org/10.30713/2413-5011-2020-7(343)-23-28)

Potapova E.A., Potapov A.D., Lebedev M.V. (2023). A clinoform model of the Neocomian based on the principles of sequence stratigraphy. *Proc. XVI Int. Scientific and Practical conf.: New ideas in the Earth Sciences*. Moscow, MGRI (in print). (In Russ.)

Rozbaeva G.L., Evdoshchuk A.A., Belkina V.A. (2013). Justifying the unconformity surface based on core and logging data in the geomodeling problem. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy* = *Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*, 2, pp. 21–25. (In Russ.)

Rozbaeva G.L., Vasiliev V.E., Dubrovina L.A., Marinov V.A., Khramtsova A.V. et al. (2023). Stratigraphic unconformity at the bottom of the Neocomian clinoform complex of the northeast of West Siberia. *Geomodel. St. Petersburg*. (In Russ.)

Shuvaev O.V. (2015). The structure and oil and gas potential of the Neocomian clinoform complex within the Bolshekhetskaya Depression. *Geologiya nefi i gaza* = *Russian Oil and Gas Geology*, 4, pp. 2–11. (In Russ.)

Shuvaev O.V., Bogdanov O.A., Musikhin K.V., Istomin S.B., Koloskov V.N. (2017). Features of the formation of the Neocomian clinoform complex within the Bolshekhetskaya Depression. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya i Praktika* = *Petroleum Geology - Theoretical and Applied Studies*, 12(2). (In Russ.) https://doi.org/10.17353/2070-5379/24_2017

Spodobaev A.A., Nezhdanov A.A., Merkulov A.V. (2018). The results of the sequence-stratigraphic analysis of the Achimov deposits at the Yamburgskoye oil and gas condensate field. *Ekspozitsiya nefi' gaz*, 2, pp. 22–27. (In Russ.)

Trushkova L.Ya. (1980). Formation and conditions of oil and gas potential in the Neocomian of the southern half of the West Siberian Plate. Conditions of oil and gas potential and features of the formation of oil and gas deposits on the West Siberian plate. Leningrad: VNIGRI, pp. 34–48. (In Russ.)

Trushkova L.Ya., Igoshkin V.P., Hafizov F.Z. (2011). Neocomian clinoforms as a unique type of oil and gas reservoirs in West Siberia. St. Petersburg: VNIGRI, 125 p. (In Russ.)

Van Wagoner J.C., Mitchum Jr., R.M., Campion K.M., Rahmanian V. D. (1990). Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, core, and outcrops: concepts for highresolution correlation of time and facies. *American Association of Petroleum Geologists Methods in Exploration*, Series 7, 55 p. <https://doi.org/10.1306/Mth7510>

Van Wagoner J.C., Posamentier H.W., Mitchum R.M., Vail P.R., Sarg J.F., Loutit T.S., Hardenbol J. (1988). An overview of sequence stratigraphy and key definitions. Sea-level changes: an integrated approach. *SEPM Special Publication*, 42, pp. 39–45. <https://doi.org/10.2110/pec.88.01.0039>

Zecchin, M., Catuneanu O. (2013). High-resolution sequence stratigraphy of clastic shelves I: Units and bounding surfaces. *Marine and Petroleum Geology*, 39, pp. 1–25. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2012.08.015>

Zhemchugova V.A. (2014). Practical application of reservoir sedimentology in modeling of hydrocarbon systems. Moscow: Gubkin Russian State University of Oil and Gas, 342 p. (In Russ.)

Zhemchugova V.A., Rybalchenko V.V., Shardanova T.A. (2021). Sequence-stratigraphic model of the Lower Cretaceous of West Siberia. *Georesursy* = *Georesources*, 23(2), pp. 179–191. (In Russ.) <https://doi.org/10.18599/grs.2021.2.18>

Zorina S.O. (2016). Sequence stratigraphy. (Materials for lectures. Practical exercises). Kazan, 65 p. (In Russ.)

About the Authors

Mikhail V. Lebedev – Dr. Sci. (Geology and Mineralogy), expert, Tyumen Petroleum Research Center
19 Perekopskaya St., Tyumen, 630002, Russian Federation
e-mail: MVLebedev2@tnnc.rosneft.ru

Evgeniy V. Astafyev – Deputy Head of Division, Tyumen Petroleum Research Center
19 Perekopskaya St., Tyumen, 630002, Russian Federation

Alena V. Khramtsova – Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Expert, Tyumen Petroleum Research Center
19 Perekopskaya St., Tyumen, 630002, Russian Federation

Manuscript received 15 June 2023;

Accepted 11 October 2023; Published 30 December 2023