

УДК 551.7(571.5)+553.981/982(571.5)

А.В. Плюснин¹, Л.Ф. Копаевич²

СЕКВЕНС-СТРАТИГРАФИЯ ВЕРХНЕГО ВЕНДА ДЛЯ СЕВЕРО-ВОСТОКА НЕПСКО-БОТУОБИНСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ (НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ КЕРНА СКВАЖИН И АНАЛИЗА ДАННЫХ ГИС)

ООО «ИНК», 664007, Иркутск, Большой литейный проспект, 4
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, 1

LLC "INK", 664007, Irkutsk, Bolshoy Liteiny prospect, 4
Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskiye Gory, 1

Представлены результаты анализа керн и каротажных диаграмм отложений верхнего венда (вилючанский, непский, тирский и даниловский горизонты) на северо-востоке Непско-Ботуобинской антеклизы. Региональный секвенс-стратиграфический анализ позволил выделить шесть секвенсов 3-го порядка и приуроченные к их границам стратиграфические несогласия. Системные тракты представлены аллювиальными, флювиальными, лагунными и мелководно-морскими отложениями, последовательно сменяющимися, что характерно для обстановок пассивной континентальной окраины и режима общего погружения Сибирской платформы в вендское время.

Ключевые слова: Ботуобинская структурно-фациальная зона, Непско-Ботуобинская антеклиза, Мирнинский выступ, верхний венд, фациальный анализ, секвенс-стратиграфический анализ.

The results of the analysis of core and logs of the upper vendian sediments (vilyuchansky, nepsky, tirskey and danilovsky horizons) of the northeast of the Nepa-Botuoba antecline are presented. Regional sequence-stratigraphic analysis made it possible to identify six third-order sequences and stratigraphic unconformities confined to their boundaries. The systemic tracts are represented by proluvial, alluvial, lagoon and shallow-water-marine sediments, successively replacing each other, which is typical for the passive continental margin and the general subsidence of the Siberian platform in the vendian time.

Key words: Botuoba structural-facies zone, Nepa-Botuoba antecline, Mirny uplift, Upper Vendian, facies analysis, sequence-stratigraphic analysis.

Введение. Строение и условия формирования базальных отложений верхнего венда (непский и тирский горизонты) на территории Непско-Ботуобинской антеклизы на юге Сибирской платформы вызывают большой интерес в связи с их нефтегазоносностью. Рассматриваемые интервалы изучают не одно десятилетие, вопросы литолого-фациального строения и стратиграфии отдельных участков Непско-Ботуобинской антеклизы неоднократно освещались в работах предшественников. Однако возрастное обоснование и корреляция пород верхнего венда до сих пор не получили однозначной интерпретации, что связано с недостатком каменного материала (низкий процент поднимаемого керн), наличием перерывов, а также с фациальной изменчивостью. Именно поэтому всестороннее изучение отложений верхнего венда не потеряло актуальности, а площадные вещественные характеристики этого стратиграфического интервала, фациальные переходы, секвенс-стратиграфический анализ и основанные на этих данных палеогеографические реконструкции приобрели особую значимость. С этой целью было осуществлены работы,

результаты которых изложены в предлагаемой статье, продолжающие региональные литолого-фациальные и секвенс-стратиграфические исследования, проводимые авторами на территории Непско-Ботуобинской антеклизы [Плуснин и др., 2019, 2020]. Проанализирован керн из 7 скважин, вскрывших отложения вилючанского (хоронохская свита), непского (курсовская свита) и тирского (бюкская свита) горизонтов. Изучены материалы каротажных диаграмм с привлечением литературных данных по изучаемому стратиграфическому интервалу.

Материалы и методы исследований. В основе представленных результатов лежит комплекс геолого-геофизических данных. В их состав входят материалы послойного литологического описания керн и результаты геофизического исследования скважин (ГИС), а именно гамма-каротаж (ГК) и плотностной каротаж (НГК) по скважинам Кубалахская-705, Хайская-702, Среднеботуобинская-99, Среднеботуобинская-32, Среднеботуобинская-69, Курунгская-1, Хотого-Мурбайская-730, которые были пробурены в 1970–2010 гг. Особенности

¹ ООО «Иркутская нефтяная компания», седиментолог; *e-mail:* plysnin_av@irkutskoil.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, профессор; *e-mail:* lfkopecvich@mail.ru

литолого-фациального строения разреза изучены на керне уникальной скважины Курунгская-1, пройденной с выходом керна, близким к 100%, в интервале отложений курсовской свиты, нижнебюкской подсвиты и нижней части верхнебюкской подсвиты, результаты изложены в работе [Плюснин, 2019a].

Кроме того, проанализированы литературные источники [Фомин, Чернова, 1993; Шемин, 2007; Лебедев и др., 2014]. Секвенс-стратиграфический профиль строили по выбранным скважинам, разрез которых представлен отложениями от поверхности фундамента: вилючанского, непского, тирского и даниловского горизонтов.

Результаты литолого-фациального анализа отложений верхнего венда, изученные на керновом материале в скважинах, опубликованы ранее в [Плюснин, 2019б,в]. Основная часть статьи посвящена результатам регионального секвенс-стратиграфического анализа Ботубинской структурно-фациальной зоны (СФЗ). Ниже приведена краткая характеристика используемых терминов, которые, впрочем, вполне традиционны.

Секвенс — относительно согласная последовательность генетически взаимосвязанных пластов, ограниченная в кровле и подошве стратиграфическими несогласиями или соответствующими им согласными границами. Он сложен последовательностью системных трактов и интерпретируется как геологическое тело, сформированное в период между максимумами падения относительного уровня моря [Posamentier et al., 1999].

Системный тракт — латеральный ряд синхронных седиментационных систем или фаций [Catuneanu et al., 2011].

Седиментационная система — трехмерная ассоциация литофаций, генетически связанная осадочными обстановками, как то: дельта, река, лагуна, барьерный остров, шельф и т. д. [Posamentier et al., 1988]. Системный тракт охарактеризован положением внутри секвенса, разным типом пакетов парасеквенсов, определенной геометрией отражающих поверхностей на сейсмопрофилях. Формирование системного тракта связано с определенным положением уровня моря. Это отражено в названиях трактов: тракт низкого стояния (ТНС), трансгрессивный системный тракт (ТСТ), тракт высокого стояния (ТВС), а если падение уровня моря незначительно, то формируется окраинно-шельфовый тракт (ОШТ).

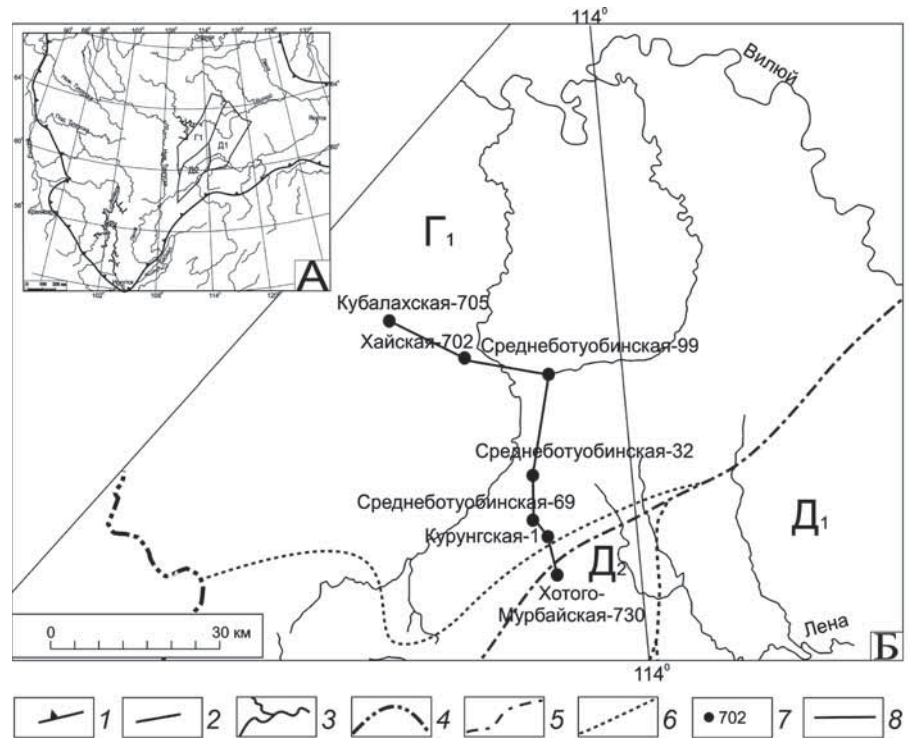
Для верхнего венда Непско-Ботубинской антеклизы применима модель, в которой базальный член секвенса — нижняя часть ТНС — комплекс подводных конусов выноса — ранняя часть ТНС [Catuneanu, 2006]. Его перекрывает верхняя часть ТНС — ассоциация склоновых отложений, представленных грубозернистыми осадками флювиальной системы и эстуариев. Для ТНС характерен проградационный пакет парасеквенсов. Выше

залегает ТСТ, в котором наблюдается ретроградационный пакет парасеквенсов. Проксимальная часть состоит из отложений прибрежной равнины, прибрежно-морских песчаников и глинистых отложений шельфа. Дистальная часть часто представляет собой конденсированный комплекс мелководно-морских осадков, которые формируются на этапе интенсивного подъема уровня моря. Разрез секвенса завершает ТВС, который характеризуется проградационным и агградационным пакетом парасеквенсов. Проксимальная часть состоит из отложений прибрежной равнины, прибрежно-морских песчаников и песчано-глинистых отложений шельфа. Дистальная часть включает в себя преимущественно глинистые отложения шельфа и склона, формируется на завершающем этапе поднятия и стабилизации уровня моря. Заканчивается секвенс падением уровня моря и формированием ТНС, с которого начинается новый секвенс. В некоторых случаях, при незначительном падении уровня бассейна, разрез секвенса начинается с ОШТ, представленного проградационным и агградационными пакетами, а отложения формируются в обстановках супралиторали, литорали и сублиторали [Posamentier et al., 1988].

Работу по построению профиля можно разделить на два этапа. *Первый этап.* Литолого-седиментологическое описание керна с построением разрезов скважин и отображением важных границ, основные из них — граница секвенсов (Sb), к которой может быть приурочено субаэральное стратиграфическое несогласие; трансгрессивная поверхность (ts) и поверхность максимального затопления (mfs), выделяемые по смене типов вертикальных последовательностей парасеквенсов в период одного цикла седиментации. Анализируются тип и характер пакетов парасеквенсов: проградационный, ретроградационный или агградационный. Проградационный пакет парасеквенсов направлен в сторону бассейна и носит регрессивный характер. Размер обломочных зерен возрастает снизу вверх по разрезу. Значения ГК уменьшаются снизу вверх. Форма кривой воронкообразная [Vail et al., 1977]. Кроме того, значения могут уменьшаться и повышаться, образуя форму полумесяца. Ретроградационный же пакет направлен в противоположную сторону и носит трансгрессивный характер. Размер обломочных зерен уменьшается снизу вверх по разрезу, значения ГК увеличиваются снизу вверх. Форма кривой колоколоподобная. Сочетанию проградации и ретроградации по ГК свойственна симметричная форма кривой. Агградационный пакет характеризуется стабильным положением береговой линии, отложения более однообразны, с одинаковым размером зерен. Значения ГК относительно выдержанные. Форма кривой цилиндрическая или изрезанная.

Второй этап. Корреляция изученных разрезов скважин с выравниванием на региональный репер —

Рис. 1. Район исследований (А) и местоположение изученных скважин (Б) на схеме структурно-фациального районирования Сибирской платформы, по [Лебедев и др., 2014]: Г — Сюгджеро-Непский район: Г₁ — Ботуобинская зона; Д — Предпатомско-Виллюйский район: Д₁ — Виллючанско-Ыгыаттинская зона, Д₂ — Пеледуйская зона; 1 — границы Сибирской платформы; 2 — границы фациальных зон; 3 — гидросеть; 4 — граница Республики Саха (Якутия); 5 — границы структурно-фациальных районов; 6 — границы структурно-фациальных зон; 7 — местоположение рассматриваемых скважин; 8 — линия построения секвенс-стратиграфического профиля



подолу даниловского горизонта, ознаменовавшую начало накопления преимущественно карбонатных пород после позднепалеозойско-раннеданиловского регионального перерыва [Мельников, 2018].

На профиле скважины расположены в направлении от бассейна в сторону континента. Латеральные фациальные ряды системных трактов показаны штриховкой. Таким образом, построенный профиль показывает генетически связанные между собой осадочные системы, разделенные хроностратиграфическими поверхностями.

Краткая геологическая характеристика района.

Непско-Ботуобинская антеклиз (название по рекам Непа и Ботуоба) расположена на юго-востоке центральной части Сибирской платформы, имеет эллиптическую форму и вытянута в северо-восточном направлении от верховья р. Нижняя Тунгуска до р. Виллюй. Антеклиз осложнена двумя положительными структурами — Непским сводом и Мирнинским выступом (рис. 1, А), на юго-востоке граничит с Предпатомским прогибом.

Изученная Ботуобинская структурно-фациальная зона (СФЗ) приурочена к Сюгджеро-Непскому району. Построенный профиль пересекает СФЗ с северо-запада на юго-восток, частично заходит в Пеледуйскую СФЗ Предпатомско-Виллюйского района (скв. Хотого-Мурбайская-730) [Решения ..., 1989; Шемин, 2007; Мельников, 2018] (рис. 1, Б).

Согласно региональной стратиграфической схеме для внутренних районов Сибирской платформы [Мельников, 2018] в разрезе Ботуобинской СФЗ выделяются (рис. 2):

— курсовская свита непского горизонта на территории с несогласием залегает на фундаменте. По литологическим данным выделяются три пачки.

Нижняя пачка снизу вверх представлена постепенным переходом от гравелитов к песчаникам и алевролитам. К песчаникам и гравелитам приурочен талахский продуктивный горизонт (скв. Среднеботуобинская-99, -32, -69, Курунгская-1, Хотого-Мурбайская-730). Средняя пачка представлена аргиллитами, алевролитами с прослоями доломитов и мергелей. К карбонатным породам приурочен арылахский продуктивный горизонт (скв. Среднеботуобинская-32, -69, Курунгская-1). Верхняя пачка сложена песчаниками, которые выше по разрезу переходят в алевролиты с единичными прослоями карбонатных пород. К песчаникам приурочен хамакинский продуктивный горизонт (скв. Среднеботуобинская-32, -69, Курунгская-1, Хотого-Мурбайская-730). Мощность свиты изменяется от 3–5 до 120 м;

— бюкская свита турского горизонта с несогласием залегает на отложениях курсовской свиты и разделяется на две подсвиты. Нижнебюкская подсвита представлена постепенным переходом от пелито-алевролитовых (в подошве) к псефитопесчаным (в кровле) структурам. К песчаникам приурочен ботуобинский продуктивный горизонт (скв. Среднеботуобинская-99, -32, -69, Курунгская-1), мощность от нескольких метров до 30 м. Верхнебюкская подсвита сложена комплексом глинисто-сульфатно-карбонатных пород. Нижняя часть подсвиты в основании представлена магнезит-ангидрит-доломитовыми породами с реликтовой микробиальной структурой. Выше по разрезу они переходят в доломиты тонкозернистые, слоистые и массивные, неравномерно глинистые и сульфатизированные. Верхняя часть подсвиты в основании представлена глинистыми

ПРОТЕРОЗОЙСКАЯ					Акротема	ОСШ
Верхнепротерозойская					Эонотема	
Вендская					Система	
Верхний					Отдел	
Вилючанский	Непский		Тирский		Даниловский	РСС
	Нижний	Верхний	Нижний	Верхний	Нижний	
	Курсовская		Бюкская		Успунская	МСС
			Нижняя	Верхняя		
Хоронохская	Галахская	Паршинская		Бюкская	Успунская	Г ₁ Д ₂
		Нижняя	Верхняя			
					Подсвита	

Рис. 2. Схема соотношения верхнего венда Общей стратиграфической шкалы России (ОСШ), Региональной стратиграфической схемы (РСС) внутренних районов Сибирской платформы с местными стратиграфическими схемами (МСС) Ботубинской зоны Сюдджеро-Непского района (Г₁) и Пеледуйской зоны Предпатомско-Вилюйского района (Д₂), по [Лебедев и др., 2014; Мельников, 2018]

мергелями и доломитами, которые вверх по разрезу сменяются неравномерно сульфатизированными доломитами. Мощность верхнебюкской подсвиты достигает 170 м. Общая мощность свиты 200 м.

На бюкской свите тирского горизонта со стратиграфическим несогласием залегают выдержанные по мощности доломиты даниловского горизонта верхнего венда.

Как отмечено ранее, профиль заходит в Пеледуйскую СФЗ. Она характеризуется наличием вилючанского горизонта в основании разреза осадочного чехла и вышележащими непским и тирским горизонтами (рис. 2).

Вилючанский горизонт распространен в Вилючанско-Ыгыаттинской и Пеледуйской зонах Предпатомско-Вилюйского района, где находятся стратотипические разрезы составляющих его бетинчинской и хоронохской свит (рис. 1, Б). Проанализирован разрез скв. Хотого-Мурбайская-730, расположенной в переходной зоне от Ботубинской к Пеледуйской зоне. Базальная — хоронохская свита залегают на породах фундамента. Она представлена толщей песчаников средне-мелкозернистых внизу, постепенно переходящих в алевропесчаники и алевролиты в верхней части разреза. Вскрытая мощность составляет 85 м.

Результаты исследований и их обсуждение. Секвенс-стратиграфический профиль ориентирован с северо-запада на юго-восток и построен по скв. Кубалахская-705, Хайская-702, Среднеботубинская-99, -32, -69, Курунгская-1, Хотого-Мурбайская-730. Протяженность профиля составила 175 км. Полученные результаты показали, что дно осадочного бассейна имело наклон в юго-восточном направлении в современных координатах, что определило тренд осадконакопления. Выравнивание разрезов скважин происходило на подошву даниловского горизонта (рис. 2).

Секвенс SQ0 (хоронохская свита вилючанского горизонта). Из-за ограниченного распространения секвенс выделен в скв. Хотого-Мурбайской-730 (рис. 3). Подошва секвенса отвечает поверхности

стратиграфического несогласия. Отложения ТНС залегают на породах фундамента, представлены грубообломочными отложениями конусов выноса. По уменьшающимся снизу вверх показаниям и воронковидной форме кривых ГК и НГК предполагается проградационный пакет парасеквенсов.

Трансгрессивную поверхность можно провести по смене проградационного на ретроградационный пакет парасеквенсов. Разрез ТСТ снизу вверх постепенно сменяется глинисто-песчаными отложениями прибрежной равнины. Снизу вверх происходит увеличение значений ГК (кривая имеет форму колокола), значения НГК выдержаны и однообразны (цилиндрическая форма кривой).

Поверхность максимального затопления проведена по пику кривой ГК и смене ретроградационного на агградационно-проградационный пакет парасеквенсов. ТВС представлен песчано-глинистыми прибрежно-морскими отложениями. По кривым ГК и НГК здесь прогнозируется в нижней части равномерный песчано-глинистый состав, а в верхней — преобладание глинисто-песчаных осадочных образований, по-видимому, вызванное проградацией дельтового комплекса.

Таким образом, SQ0 соответствует вилючанскому этапу осадконакопления. На территории Ботубинской СФЗ происходило активное выветривание пород фундамента. В это время накопление осадков происходило только в наиболее погруженных зонах: вдоль юго-восточной окраины Непско-Ботубинской антеклизы и главным образом в Предпатомском прогибе, куда сносился терригенный материал с приподнятых районов северо-западной части изучаемой территории.

Секвенс SQ1 (нижняя пачка курсовской свиты) выделен в скв. Среднеботубинская-99, -32 и -69, Курунгская-1, Хотого-Мурбайская-730 (рис. 3). Подошва секвенса отвечает хорошо выраженной поверхности стратиграфического несогласия, отчетливо выделяется по керну (эрозионный контакт грубообломочных отложений и нижележащих пород фундамента). Отложения ТНС уровня моря

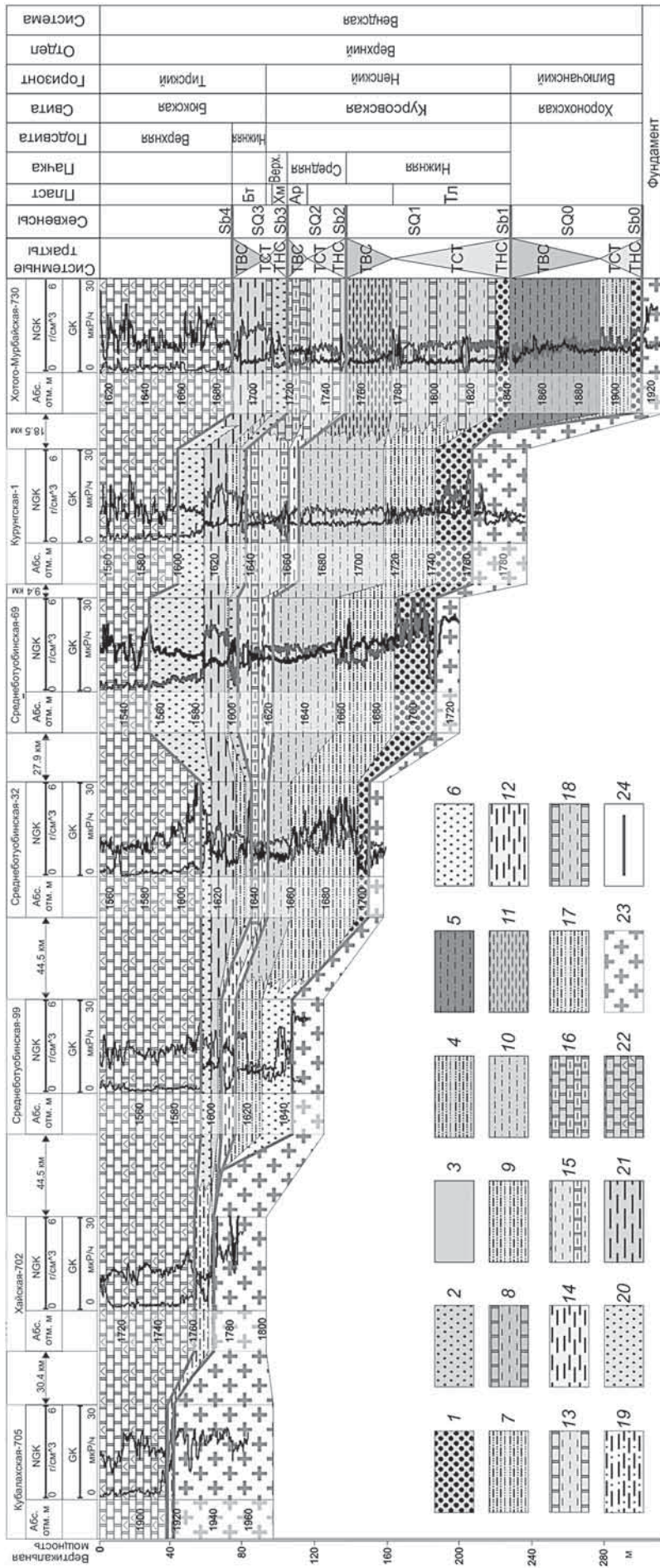


Рис. 3. Секвене-стратиграфический профиль через Мирнинский выступ с северо-запада на юго-восток: отложения ТНС: 1 — грубообломочные отложения конусов выноса; 2 — русловые песчаные отложения; 3 — песчаные отложения подводных конусов выноса.

Секвене SQ0 (хоронохская свита вилочанского горизонта), ТСТ: 4 — глинисто-песчаные отложения прибрежной равнины; ТВС: 5 — песчано-глинистые прибрежно-морские отложения. Секвене SQ1 (нижняя пачка курсовской свиты), фашиальный ряд ТСТ: 6 — песчано-глинистые отложения прибрежной равнины, 7 — песчано-глинистые отложения прибрежной равнины и морского мелководья, 8 — карбонатно-глинистые отложения шельфа; фашиальный ряд ТВС: 9 — песчано-глинистые отложения прибрежной равнины, 10 — песчано-глинистые прибрежно-морские отложения, 11 — глинистые отложения сублиторали. Секвене SQ2 (средняя пачка курсовской свиты), фашиальный ряд ТСТ: 12 — глинистые отложения лагуны, 13 — карбонатно-глинистые отложения шельфа; фашиальный ряд ТВС: 14 — глинистые отложения лагуны, 15 — карбонатно-глинистые отложения шельфовой лагуны, 16 — карбонатные отложения шельфа. Секвене SQ3 (верхняя пачка курсовской свиты—нижнеботубинская подсвита бюксской свиты), фашиальный ряд ТСТ: 17 — глинисто-песчаные отложения литорали, 18 — карбонатно-глинистые отложения шельфа; фашиальный ряд ТВС: 19 — глинисто-песчаные отложения прибрежной равнины, 20 — песчаные отложения прибрежного мелководья, 21 — глинистые отложения проделеты и литорали, 22 — доломиты верхнеботубинской подсвиты, 23 — фундамент; 24 — граница секвенсов. Принятые сокращения: NGK — нейтронный каротаж; GK — гамма-каротаж, SQ — секвене, Sb — секвене-стратиграфическая граница. Продуктивные горизонты: Тл — талахский, Ар — арылахский, Хм — хамакинский, Бг — ботубинский

имеют проградационное строение и представлены грубообломочными отложениями конусов выноса (аллювиальных фэнов). Они распространены и залегают на породах фундамента в скв. Среднеботуобинская-32 и -69, Курунгская-1, а в районе скв. Хотого-Мурбайской-730 — эрозионно на глинисто-песчаных отложениях ТВС SQ0. По данным ГИС снизу вверх происходит постепенное уменьшение показаний ГК и НГК, кривые имеют воронковидную форму. Пики ГК связаны с наличием в разрезе гравелитов, содержащих радиоактивные обломки кислых пород.

Трансгрессивную поверхность можно провести в подошве приливо-отливного комплекса, где происходит смена проградационного на ретроградационный пакет парасеквенсов. Ретроградационный характер парасеквенсов подтверждается следующей последовательностью ТСТ: по латерали с юго-востока на северо-запад в современном положении карбонатно-глинистые отложения шельфа переходят в песчано-глинистые отложения прибрежной равнины и морского мелководья, далее в песчаные отложения прибрежной равнины (рис. 3). По данным ГИС снизу вверх происходит постепенное увеличение показаний ГК, кривая имеет форму колокола, значения НГК от выдержанных и однообразных постепенно уменьшаются вверх. Форма кривой меняется от цилиндрической до воронкообразной. Таким образом, трансгрессия доходила до района скв. Среднеботуобинская-32. В разрезе скв. Курунгская-1 ТСТ сложен комплексом приливо-отливных отложений. Это фации приливо-отливного канала и приливо-отливной отмели. Парасеквенсы характеризуются уменьшением зернистости вверх по разрезу.

Поверхность максимального затопления проведена по пику кривой ГК и смене ретроградационного на аградационно-проградационный пакет парасеквенсов. Фациальный ряд ТВС формирует следующую последовательность: глинистые отложения сублиторали, переходящие в песчано-глинистые прибрежно-морские отложения, далее в песчано-глинистые отложения прибрежной равнины (рис. 3). Показания ГК — от выдержанных и однообразных постепенно повышаются вверх, форма кривой цилиндрическая. Значения НГК увеличиваются вверх, форма кривой колоколоподобная.

На этом этапе развития территории трансгрессия доходила до района скв. Среднеботуобинская-99. В разрезе скв. Курунгская-1 ТВС представлен осадочными образованиями приливо-отливной отмели и транзитной зоны. Понятие транзитной зоны введено для характеристики широкой переходной фациальной зоны приливо-отливной области в публикации [Плюснин, 2019а]. Фация максимально удалена от берега и является переходной к шельфовым фациям (сублиторали и глубокой сублиторали). В верхней части комплекса

наблюдается неравномерное чередование осадков предфронтальной зоны пляжа, иногда с шельфовой лагуной и наложенной себховой равниной.

Секвенс SQ1 соответствует объему первой пачки курсовской свиты. В это время осадконакопление распространялось в северо-западном направлении до скв. Среднеботуобинская-99. Терригенный материал поступал из северо-западной части изучаемой территории. К отложениям ТНС и ТСТ приурочен талахский продуктивный горизонт. Секвенс соответствует объему нижней пачки курсовской свиты.

Секвенс SQ2 (средняя пачка курсовской свиты) выделен в скв. Среднеботуобинская-99, -32 и -69, Курунгская-1, Хотого-Мурбайская-730 (рис. 3). Подошва секвенса — поверхность стратиграфического несогласия. Отложения ТНС выделены в скв. Хотого-Мурбайская-730. Здесь прогнозируются песчаные конусы выноса, имеющие проградационное строение, формировавшиеся в пределах шельфа (рис. 3). Форма кривой ГК воронковидная.

Трансгрессивная поверхность на большей части территории проведена по подошве SQ2, а в районе скв. Хотого-Мурбайская-730 — по смене проградационного на ретроградационный пакет парасеквенсов. Ретроградационное строение подтверждается следующей последовательностью по простирацию: карбонатно-глинистые отложения шельфа, переходящие в глинистые отложения лагуны (рис. 3). По данным ГИС снизу вверх происходит постепенное повышение значений ГК и повышение НГК (колоколоподобная форма), таким образом, трансгрессия доходила до района скв. Среднеботуобинская-32. В разрезе скв. Курунгская-1 ТСТ представлен следующей последовательностью фаций снизу вверх: шельфовая лагуна, переходящая в шельфовую лагуну с повышенной соленостью литорали и себховой равнины.

Поверхность максимального затопления проведена по пику кривой ГК и смене пакетов парасеквенсов. Выше этой поверхности выделяется ТВС. Он имеет аградационно-проградационное строение пакетов парасеквенсов, формирующих следующую последовательность по простирацию: карбонатные отложения шельфа, переходящие в карбонатно-глинистые отложения шельфовой лагуны, далее в глинистые отложения лагуны. Ограниченное пространство аккомодации, сокращающееся по мере заполнения лагуны осадками, и тенденция к недостаточной циркуляции воды на мелководье создают идеальные условия для образования себховой равнины. Проникновение соленых вод в верхнюю литифицированную зону доломитов и мергелей приводило к эпигенетическому замещению пород гипсами, которые впоследствии, при дегидратации, трансформировались в ангидриты. По ГИС снизу вверх наблюдаются разночастотные и амплитудные пики на кривых ГК и НГК, имеющие общий тренд к повышению

глинистости разреза вверх. Форма кривой ГК колоколоподобная, форма кривой НГК цилиндрическая и изрезанная. Трансгрессия доходила до района скв. Среднеботуобинская-99. В разрезе скв. Курунгская-1 ТВС представлен следующей последовательностью снизу вверх: осадочные отложения шельфовой лагуны, вверх по разрезу переходящие в себховые отложения супралиторали.

Секвенс SQ2 соответствует объему средней пачки курсовской свиты, второму этапу осадконакопления. В это время осадконакопление сохранялось в прежних границах. На ТНС формировались песчаные конусы выноса на шельфе, на ТСТ и ТВС — карбонатно-глинистые отложения шельфовой лагуны и карбонатные отложения шельфа. Отложения крайне мелководные. В них появляются первые микробийные постройки, к трещиноватым интервалам которых приурочен арылахский продуктивный горизонт.

Секвенс SQ3 (верхняя пачка курсовской свиты — нижнебюкская подсвита) выделен во всех скважинах (рис. 3). Подошва секвенса отвечает выраженной поверхности стратиграфического несогласия. Подошва ТНС хорошо выделяется по керну и прослеживается по данным ГИС (резкое падение значений ГК и повышение НГК). Отложения носят проградационный характер и представлены русловыми песчаными образованиями, разгружающимися на юго-востоке в виде дельт [Лебедев, Чернова, 1996]. К ним приурочен хамакинский продуктивный горизонт. По данным ГИС снизу вверх происходит постепенное уменьшение, а затем увеличение показаний ГК (форма полумесяца) и понижение — НГК (воронковидная форма). В разрезе скв. Курунгская-1 ТНС представлен песчаниками разнозернистыми, с косою разнонаправленной слоистостью, с интракластами алевролитов в подошве, которые представляют собой отложения флювиальных каналов.

Трансгрессивная поверхность проведена по смене проградационного на ретроградационный пакет парасеквенсов. Характер парасеквенсов ТСТ подтверждается следующей последовательностью по простирацию: глинисто-песчаные отложения литорали постепенно перекрываются карбонатно-глинистыми отложениями шельфа. По кривым ГИС в этом интервале наблюдается повышение показаний ГК (колоколоподобная форма), низкие выдержанные значения НГК (цилиндрическая и изрезанная форма). Трансгрессия доходила до района скв. Хайская-702. В разрезе скв. Курунгская-1 ТСТ представлен глинистыми отложениями мелководно-морского шельфа и продельты.

Поверхность максимального затопления проведена по пику кривой ГК и смене ретроградационного на аградационно-проградационный пакет парасеквенсов. Фациальный ряд ТВС формирует следующую последовательность по простирацию: глинисто-песчаные отложения прибрежной рав-

нины переходят в песчаные отложения барово-дельтового комплекса и прибрежного мелководья. К песчаникам приурочен ботуобинский продуктивный горизонт. По данным ГИС наблюдается понижение значений ГК (воронковидная форма) и повышение НГК (колоколоподобная форма). В разрезе скв. Среднеботуобинская-32, -69 и Курунгская-1 ТВС представлен отложениями дельты флювиально-волнового типа. Снизу вверх наблюдается следующая последовательность фаций: продельта; нижняя часть склона фронта дельты; верхняя часть склона фронта дельты, включая устьевые бары; распределительный канал.

Секвенс SQ3 соответствует позднекурсскому-раннебюкскому этапу осадконакопления. В него вошел интервал верхней пачки курсовской свиты и нижнебюкской подсвиты. ТНС формируют русловые и дельтовые песчаные отложения, к которым приурочен хамакинский продуктивный горизонт. На ТСТ изучаемая территория представляла собой мелководно-морской шельф. На ТВС происходила проградация песчаных отложений, формирующих ботуобинский продуктивный горизонт, барово-дельтовый генезис которого детально рассмотрен в публикации [Плюснин, 20196].

Секвенс SQ4 (нижняя часть верхнебюкской подсвиты) выделен во всех скважинах по ГИС и кернам в скв. Курунгская-1 (рис. 4). Подошва секвенса — поверхность стратиграфического несогласия. Отложения ТНС выделены по воронковидной форме кривой ГК и колоколоподобной НГК в скв. Хотого-Мурбайская-730. Здесь прогнозируются песчаные конусы выноса, имеющие проградационное строение и сформировавшиеся в пределах шельфа.

Трансгрессивная поверхность на большей части территории проведена по подошве четвертого секвенса, а в районе скв. Хотого-Мурбайская-730 — по смене проградационного на ретроградационный пакет парасеквенсов. Характер парасеквенсов ТСТ подтверждается следующей последовательностью по простирацию: глинисто-сульфатно-карбонатные отложения сублиторали, переходящие в карбонатные органогенные мелководные образования литорали. По кривым ГИС в этом интервале наблюдается воронковидная форма ГК и НГК. Трансгрессия охватывала всю изучаемую территорию Ботуобинской СФЗ. В разрезе скв. Курунгская-1 ТСТ трансгрессивная поверхность отчетливо выделяется по керну — контакт песчаников кварцевых и песчаников с оолитами и литокластами, вверх по разрезу переходящих в доломиты строматолитовые с терригенным заполнением. Активной волновой деятельностью нелитифицированный песчаный материал размывался и многократно переоткладывался в условиях литоральной отмели. По мере повышения уровня моря на них поселялись бентосные микробийные сообщества, формирующие строматолитовые до-

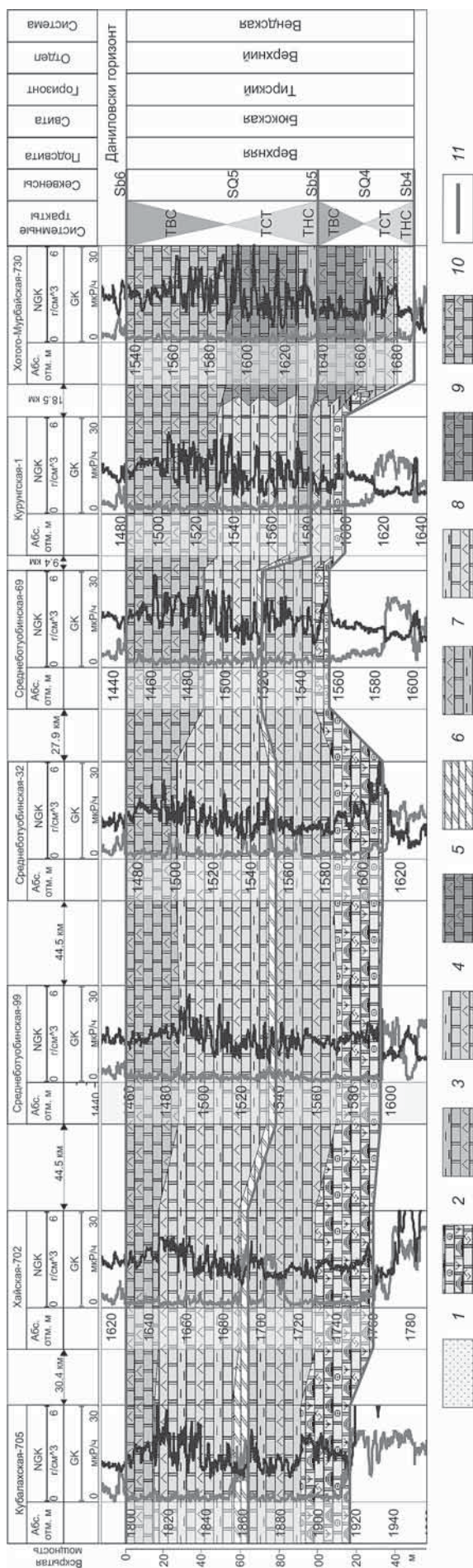


Рис. 4. Секвенс-стратиграфический профиль через Мирнинский выступ с северо-запада на юго-восток. Секвенс SQ4 (нижняя часть верхнебюкской подсвиты), ТНС: 1 — песчаные отложения конусов выноса на шельфе; ТСТ: 2 — карбонатные органические образования литорали, 3 — глинисто-сульфатно-карбонатные отложения сублиторали; ТВС: 4 — глинисто-сульфатно-карбонатные отложения сублиторали, 5 — сульфатно-карбонатные отложения шельфа. Секвенс SQ5 (верхняя часть верхнебюкской подсвиты), ОШТ: 6 — глинисто-карбонатные отложения супралиторали и верхней литорали, 7 — сульфатно-карбонатно-глинистые отложения сублиторали; ТСТ: 8 — глинисто-сульфатно-карбонатные отложения литорали и сублиторали, 9 — сульфатно-карбонатные отложения шельфа; ТВС: 10 — сульфатно-карбонатные отложения шельфа. Остальные условные обозначения см. на рис. 3

ломиты с терригенно-карбонатным межске-летным заполнением, что свидетельствует об активной волновой деятельности.

Поверхность максимального затопления проведена по пику кривой ГК, снижению показаний НГК и смене пакетов парасеквенсов. Выше этой поверхности выделяется ТВС. Он имеет агградационно-проградационное строение пакетов парасеквенсов и формирует следующую последовательность по простиранию: сульфатно-карбонатные отложения шельфа, переходящие в глинисто-сульфатно-карбонатные отложения сублиторали. По кривым ГИС в этом интервале наблюдается цилиндрическая форма ГК с редкими пиками в интервале глинистых разностей и изрезанная НГК.

Секвенс SQ4 соответствует началу позднебюкского времени, окончательному переходу от терригенного к карбонатному осадконакоплению. В это время мелководно-морской бассейн покрывал всю площадь Ботубинской СФЗ. Разрез карбонатных пород верхнебюкской подсвиты неравномерно сульфатизирован, что вызвано повышенной аридизацией климата в тирское время и вторичными процессами минералообразования.

Секвенс SQ5 (верхняя часть верхнебюкской подсвиты) выделен во всех скважинах по данным ГИС и керновым данным скв. Курунгская-1 (рис. 4). Подошва секвенса — поверхность стратиграфического несогласия. Отложения ОШТ формируют проградационно-агградационную последовательность по простиранию: глинисто-карбонатные отложения супралиторали и верхней литорали, переходящие в сульфатно-карбонатно-глинистые отложения сублиторали. По кривым ГИС в этом интервале ГК имеет воронковидную форму, а НГК — колоколоподобную.

Трансгрессивная поверхность проведена по смене проградационного на ретроградационный пакет парасеквенсов. Характер парасеквенсов ТСТ подтверждается следующей последовательностью по простиранию: сульфатно-карбонатные отложения шельфа, переходящие в глинисто-сульфатно-карбонатные отложения литорали и сублиторали. По кривым ГИС в этом интервале ГК имеет цилиндрическую форму, а НГК — изрезанную, постепенно повышающуюся вверх.

Поверхность максимального затопления проведена по пику кривой ГК, падению НГК и смене пакетов парасеквенсов на агградационно-проградационное строение ТВС, представленных сульфатно-карбонатными отложениями шельфа. По кривым

ГИС в этом интервале ГК имеет цилиндрическую форму, а НГК — воронковидную.

Секвенс SQ5 (верхняя часть верхнебюкской подсвиты) соответствует концу позднебюкского времени. Морской шельф активно расширялся в северо-западном направлении.

Заключение. Предложен новый вариант корреляции непского и тирского горизонтов, основанный на прослеживании границ секвенсов по площади. Впервые выделено 6 самостоятельных секвенсов 3-го порядка. Подтверждены ранее установленные предшественниками стратиграфические несогласия, а также впервые установлены стратиграфические несогласия: в подошве среднекурсовской пачки (секвенс SQ2); в подошве нижней (секвенс SQ4) и верхней (секвенс SQ5) частей верхнебюкской подсвиты.

Таким образом, региональные секвенс-стратиграфические построения позволили выделить и проследить секвенсы 3-го порядка в интервале курсовской свиты непского горизонта и бюкской

свиты тирского горизонта Ботубинской СФЗ. Восстановлена и уточнена последовательность осадконакопления. Осадки этого стратиграфического интервала накапливались в условиях пассивной континентальной окраины в циклично сменяющихся одна другую аллювиальных и флювиальных до лагунных и мелководно-морских обстановок. Показана общая трансгрессия моря, охватившая юг Сибирской платформы в поздневендское время. Ее максимум пришелся на позднебирское время. К отложениям ТНС (талахский и хамакинский) и ТВС (арылахский и ботубинский) приурочены основные продуктивные горизонты.

Благодарности. Авторы выражают благодарность А.П. Вилесову, М.В. Лебедеву А.В. Храмовой за консультации по литолого-фациальному и секвенс-стратиграфическому анализу керн. Ценные смысловые и редакционные замечания Е.Ю. Голубковой и А.И. Сулимы помогли улучшить содержание статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Лебедев М.В., Моисеев С.А., Топешко В.А., Фомин А.М. Стратиграфическая схема терригенных отложений венда северо-востока Непско-Ботубинской антеклизы // Геология и геофизика. 2014. № 5–6. С. 874–890.

Лебедев М.В., Чернова Л.С. Фациальные модели терригенных отложений венда северо-востока Непско-Ботубинской антеклизы (Сибирская платформа) // Геология и геофизика. 1996. Т. 37, № 10. С. 51–64.

Мельников Н.В. Венд-кембрийский солеродный бассейн Сибирской платформы (Стратиграфия, история развития). 2-е изд., доп. Новосибирск: СНИИГГиМС, 2018. 177 с.

Плюснин А.В. Модель строения венда северо-восточной части Непско-Ботубинской антеклизы по результатам изучения опорных разрезов и секвенс-стратиграфического моделирования Непского свода и Мирнинского выступа // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2019. Т. 14. № 3. С. 39. URL: http://www.ngtp.ru/rub/2019/30_2019.html (дата обращения: 01.12.2020).

Плюснин А.В. Концептуальная седиментологическая модель ботубинского продуктивного горизонта Среднеботубинского месторождения // Вестн. ВГУ. Сер. Геология. 2019. № 2. С. 61–69.

Плюснин А.В. Вещественный состав курсовской свиты венда Мирнинского выступа Непско-Ботубинской антеклизы по результатам изучения кернового материала // Изв. вузов. Геология и разведка. 2019. № 6. С. 32–39.

Плюснин А.В., Ибрагимов Р.Р., Гёкче М.И. История геологического развития юга Непско-Ботубинской антеклизы в непское и тирское время по результатам применения метода секвентной стратиграфии // Нефтяное хозяйство. 2020. № 9. С. 21–25.

Плюснин А.В., Неделько О.В., Вилесов А.П. и др. Секвенс-стратиграфическая модель непской и тирской свит венда центральной части Непского свода (Непско-Ботубинская антеклиза, Сибирская платформа) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2019. Т. 14.

№ 2. 30 с. URL: http://www.ngtp.ru/rub/2019/13_2019.html (дата обращения: 01.12.2020).

Решения четвертого межведомственного регионального совещания по уточнению и дополнению стратиграфических схем венда и кембрия внутренних районов Сибирской платформы. Новосибирск: СНИИГГиМС, 1989. 40 с.

Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления / Ред. А.Е. Конторович. Новосибирск: Гео, 2005. 432 с.

Фомин А.М., Чернова Л.С. Вендские терригенные формации на территории Непско-Ботубинской антеклизы // Геология и геофизика. 1993. Т. 34. С. 16–23.

Шемин Е.Г. Геология и перспективы нефтегазоносности венда и нижнего кембрия центральных районов Сибирской платформы (Непско-Ботубинская, Байкитская антеклизы и Катангская седловина). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 467 с.

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

Catuneanu O., Galloway W.E., Kendall C.G.S.T.C. et al. Sequence Stratigraphy: Methodology and Nomenclature // Newsletters on Stratigraphy. 2011. Vol. 44, N 3. P. 173–245.

Posamentier H.W. Eustatic controls on clastic deposition I — conceptual framework // Sea-level changes: an integrated approach: SEPM Spec. Publ. 1988. Vol. 42. P. 109–124.

Posamentier H.W., Allen G.P. Siliciclastic sequence stratigraphy — Concepts and applications. Tulsa, Oklahoma // Soc. Econom. Paleontol. Mineralog. Concepts in Sedimentology and Paleontology. 1999. N 7. 195 p.

Vail P.R., Mitchum R.M., Thompson S. Seismic stratigraphy and global changes of sea level // Seismic stratigraphy — Applications to hydrocarbon exploration // Amer. Assoc. of Petrol. Geol. Mem. 1977. N 26. P. 83–97.

Поступила в редакцию 21.09.2020

Поступила с доработки 12.10.2020

Принята к публикации 30.06.2021