

DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/30_2019

УДК 553.98.04:551.72.022.4(571.53+571.56)

Плюснин А.В.ООО «Тюменский нефтяной научный центр» (ООО «ТННЦ»), Тюмень, Россия, avplyusnin@tnnc.rosneft.ru

МОДЕЛЬ СТРОЕНИЯ ВЕНДА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ НЕПСКО-БОТУОБИНСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗУЧЕНИЯ ОПОРНЫХ РАЗРЕЗОВ И СЕКВЕНС-СТРАТИГРАФИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕПСКОГО СВОДА И МИРНИНСКОГО ВЫСТУПА

Представлены исследования автора по северо-восточной части Непско-Ботубинской антеклизы, в основу которых легли литолого-седиментологические и цикло-стратиграфические исследования, геолого-геофизическая информация. Впервые выполнены седиментологические и секвенс-стратиграфические исследования керн по территории Мирнинского выступа, которые позволили выделить в интервале курсовской и бюксской свит Ботубинской фацальной зоны четыре трансгрессивно-регрессивные секвенции третьего порядка. Обоснованы системные тракты и опорные поверхности – границы секвенций, трансгрессивные границы, уровни максимального затопления. При региональном рассмотрении изучаемой территории разрез венда расчленён на пять секвенций третьего порядка, выделены перерывы в осадконакоплении. Детализирована история геологического развития территории в непский и тирский периоды осадконакопления.

***Ключевые слова:** секвенс-стратиграфическое моделирование, венд, курсовская свита, бюкская свита, непский горизонт, тирский горизонт, Непский свод, Мирнинский выступ, Непско-Ботубинская антеклиза, Сибирская платформа.*

Введение

Более чем за 150 лет изучения Непско-Ботубинской антеклизы (НБА) накоплен богатый фактический материал, касающийся строения и стратификации отложений. Далеко не все представления геологов об отложениях соответствуют современному уровню геологии с ее высокими требованиями к точности, детальности стратиграфических исследований и реконструкций. Необходимо комплексное изучение опорных разрезов скважин с использованием новых методов стратиграфии и обобщение имеющихся данных с использованием единой современной методики научного анализа, направленной на выявление закономерностей формирования отложений венда в изучаемом районе.

Целью работы является восстановление условий осадконакопления и построение секвенс-стратиграфической модели для северо-восточной части НБА. Отложения венда интересны тем, что их формирование связано с одним из начальных этапов развития Земли и в нем сконцентрированы основные запасы углеводородов на НБА.

Изучение опорных разрезов и создания секвенс-стратиграфических моделей для

Непского и Мирнинского выступов позволили проследить эволюцию осадконакопления по площади и разобраться в стратиграфических перерывах. Данные исследования необходимо проводить для изучения развития осадочных бассейнов и выявления этапов формирования коллекторов.

Статья является логическим продолжением предыдущих исследований автора по секвенс-стратиграфическому моделированию непского и тирского горизонтов северо-восточной части НБА. Рассмотренные скважины являются эталонными для разрезов венда Непского свода и Мирнинского выступа. Детальное послойное литологическое описание и седиментологический анализ позволили установить все изменения в вендском осадочном палеобассейне.

Материалы и методы

На первом этапе исследования произведены литолого-седиментологический и секвенс-стратиграфический анализы кернового материала. На втором этапе по данным материалов глубокого бурения применена ранее разработанная методика построения региональной секвенс-стратиграфической модели [Плюснин и др., 2019].

Основой для статьи послужили литолого-седиментологические и циклостратиграфические исследования высококачественного кернового материала скв. 1X, пробуренной в 2013 г. на юго-востоке Мирнинского выступа. Скважина пройдена практически со 100%-м выносом керна (177,3 м) из интервала вендской системы, а также с отбором керна из кристаллического фундамента, является опорной и маркирующей для изучаемых отложений. Вынос керна из курсовской свиты составил 132,03 м. По вещественному составу она представлена сульфатно-карбонатными и терригенными породами. По мощности в разрезе преобладают песчаники (58%), алевролиты (24%) и аргиллиты (16%), конгломераты, гравелиты и карбонатные породы (до 1%). Вынос керна из отложений нижнебюкской подсвиты составил 37,21 м. Разрез представлен глинисто-песчаными породами с преобладанием алевролитов (48%) и песчаников (46%).

При работе с керновым материалом и интерпретации результатов седиментологического анализа использовались труды известных исследователей в области фациального анализа и секвенсной стратиграфии [Рейнек, Сингх, 1981; Лидер, 1986; Чернова, 2008; Жемчугова, 2014]. Для построения регионального секвенс-стратиграфического профиля обобщены региональные работы [Мельников, Ефимов, Килина, 1978; Шемин, 2007] и корреляционные схемы [Кокоулин, Ковтун, Рудавская, 1982; Решения четвертого..., 1984; Конторович, Сурков, Трофимук, 1986; Мельников, 2009; Лебедев, Моисеев, 2012] с привлечением геолого-геофизической информации по скважинам [Конторович и др., 2004]. При построении профиля автор руководствовался

методологическими основами секвенс-стратиграфического анализа [Posamentier, Allen, 1999; Ковалевский, Маргулис, 2000; Жемчугова, 2014].

Район исследования

Мирнинский выступ расположен на юго-востоке Сибирской платформы. В тектоническом плане территория исследования приурочена к положительной структуре I-го порядка – Мирнинскому выступу (рис. 1). В соответствии с утверждённой стратиграфической схемой [Решение..., 1989] изучаемый район отнесен к Ботуобинской фациальной зоне, разрез венда разделен на курсовскую, бюкскую, успунскую, кудалахскую и юряхскую свиты.



Рис. 1. Схема расположения района исследования

В составе непского горизонта выделяется курсовская свита, которая со стратиграфическим перерывом перекрывает породы архей-раннепротерозойского фундамента. Нижняя часть курсовской свиты сложена грубообломочными песчаными отложениями, выделяемыми в *талахскую пачку* (Тл). Верхняя часть представлена доломитами, глинистыми доломитами и доломитовыми мергелями, выделяемыми в *арылахскую пачку* (Ар). Залегающие выше них песчаные отложения относятся к *хамакинской пачке* (Хм). Мощность свиты изменяется от 0 до 125 м. К тирскому горизонту приурочена бюкская свита, которая делится на две подсвиты. Нижняя подсвита представлена аргиллитами, глинистыми алевролитами и песчаниками. Песчаники относятся к *ботуобинской пачке* (Бт). Верхняя подсвита бюкской свиты сложена доломитами, сульфатированными доломитами с прослоями ангидритов. Мощность свиты изменяется от

25 до 130 м [Мельников, 2009] (рис. 2).

Литофациальная характеристика разреза

В результате седиментологического анализа керна выделено 28 литофаций/фаций. Фации сгруппированы по 7 макрофациям (табл. 1).

Континентальные обстановки осадконакопления

Континентальные обстановки представлены аллювиальными (пролювиальными) и флювиальными макрофациями.

Аллювиальные (пролювиальные) конусы выноса

Макрофация аллювиальных конусов выноса сложена гравелитами, конгломератами и песчаниками разнозернистыми. Для отложений характерна плохая сортировка и слабая окатанность зерен. Распределение осадков в конусе выноса обеспечивается осадочной дифференциацией: в его проксимальной части преобладают грубозернистые разности, гравелиты, в дистальных частях - песчаники различной размерности до алевролитов.

Литофация *проксимальная часть аллювиального фена* представлена плохосортированными массивными и пологокосослоистыми гравийно-галечными песчаниками. Литофация имеет наиболее грубозернистый состав. Песчаники темно-бурые, гравийно-галечные, полимиктовые, массивные, пологокосослоистые, с прослоями толщиной 5-10 см массивных галечных гравелитов (мелкая галька 1-3 см кварца, полевых шпатов, гнейсов, кристаллических сланцев) с прослоями и интракластами глинистых алевролитов. В массивных гравийно-галечных грубозернистых песчаниках отмечается нормальная и обратная градационная слоистость. В основании элементарного циклита залегают гравелиты разнообломочные с примесью мелкого щебня с прослоями алевролитов толщиной до 3 см. Отложения литофации с размывом залегают на породах фундамента. Подошва отложений всегда резко выраженная, эрозионная (рис. 3А).

Интерпретация: формирование аллювиального конуса выноса происходило за счет гравитационного оползания, для чего необходимы условия резко контрастного рельефа, на склонах в результате обвалов, сползания, обрушения и перемещения обломочного материала дождевыми и тальными водами.

Литофация *медианная часть аллювиального фена* представлена массивными и косослоистыми гравийными песчаниками с прослоями алевролитов и аргиллитов (рис. 3В).

Песчаники гравистые, темно-бурые, полимиктовые, крупно-грубозернистые, плохосортированные, массивные и крупнокосослоистые, с прослоями песчаников среднезернистых с таблитчатой, реже косой разнонаправленной слойчатостью и тонкими (до 20 см) прослоями песчаных гравелитов.

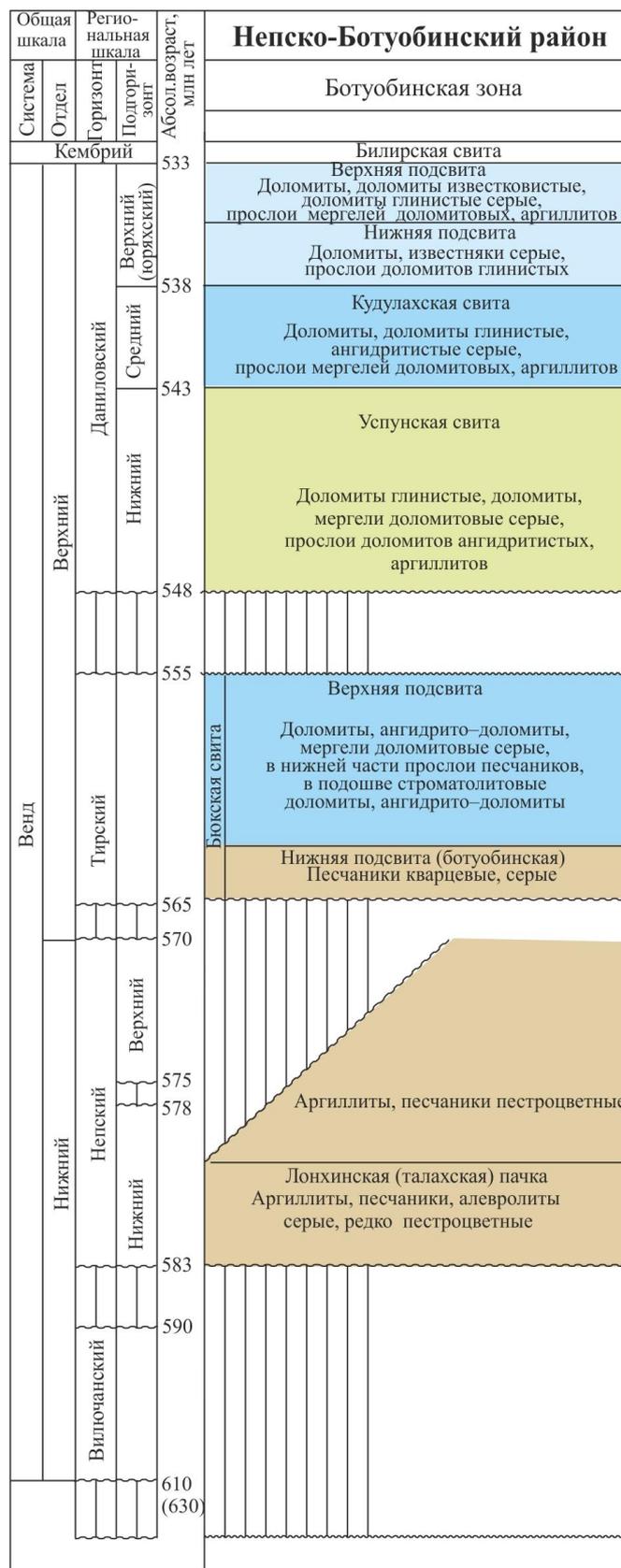


Рис. 2. Выкопировка из региональной стратиграфической схемы венда Тунгусского региона Сибирской платформы [Мельников, 2009]

Таблица 1

Фашии и фашиальные ассоциацияи отложенияи венда Непско-Ботубинской антеклизы

Обстановка осадконакопления	Ассоциация фашии	Код фашии	Фашия
		ЭЛ	Элювиальный горизонт
Континентальные	<i>Аллювиальные</i>	АФп	Проксимальная часть аллювиального фэна
		АФм	Медианная часть аллювиального фэна
		АФд	Дистальная часть аллювиального фэна
	<i>Флювиальные</i>	ФК	Флювиальный канал
		ФКп	Флювиальный канал с приливным влиянием
Переходная	<i>Приливно-отливные</i>	Сх	Себха
		Л	Литораль
		ПОК	Приливно-отливный канал
		ПООс	Смешанная приливно-отливная отмель
		ПООи	Илистая приливно-отливная отмель
		ТЗ	Транзитная зона
	<i>Лагунные</i>	ШЛ	Шельфовая лагуна
		ШЛс	Шельфовая лагуна с повышенной соленостью
		Сх/ШЛс	Шельфовая лагуна с наложенной себхой
	<i>Дельтовые</i>	Рк	Распределительный канал
		Бв/Пл	Берегового вала/пляжа
		ФДв	Верхний склон фронта дельты
		Бв/Пл	Берегового вала/пляжа
		УБ	Устьевой бар
		ФДн	Нижний склон фронта дельты
		ОФД	Оползни фронта дельты
		ПрД	Продельта
	Мелководно-морская	<i>Пляжевые</i>	МТМв
НПЗП			Нижняя предфронтальная зона пляжа
<i>Морские</i>		МСаг	Мелководная сублитораль с активной гидродинамикой
		МСсг	Мелководная сублитораль со спокойной гидродинамикой
		ГС	Относительно глубоководная сублитораль

Среди песчаников встречаются слойки и тонкие прослои (3-7 см) темно-серых глинистых алевролитов с тонкой горизонтальной и пологоволнистой слоистостью. Кровля глинистых прослоев эрозионная, срезанная подошвой песчаников.

Интерпретация: образование массивных и косослоистых песчаников и гравелитов связано с отложением гравийно-песчаных осадков низко- и высокоплотными струйными течениями в медиальной части аллювиального конуса выноса.

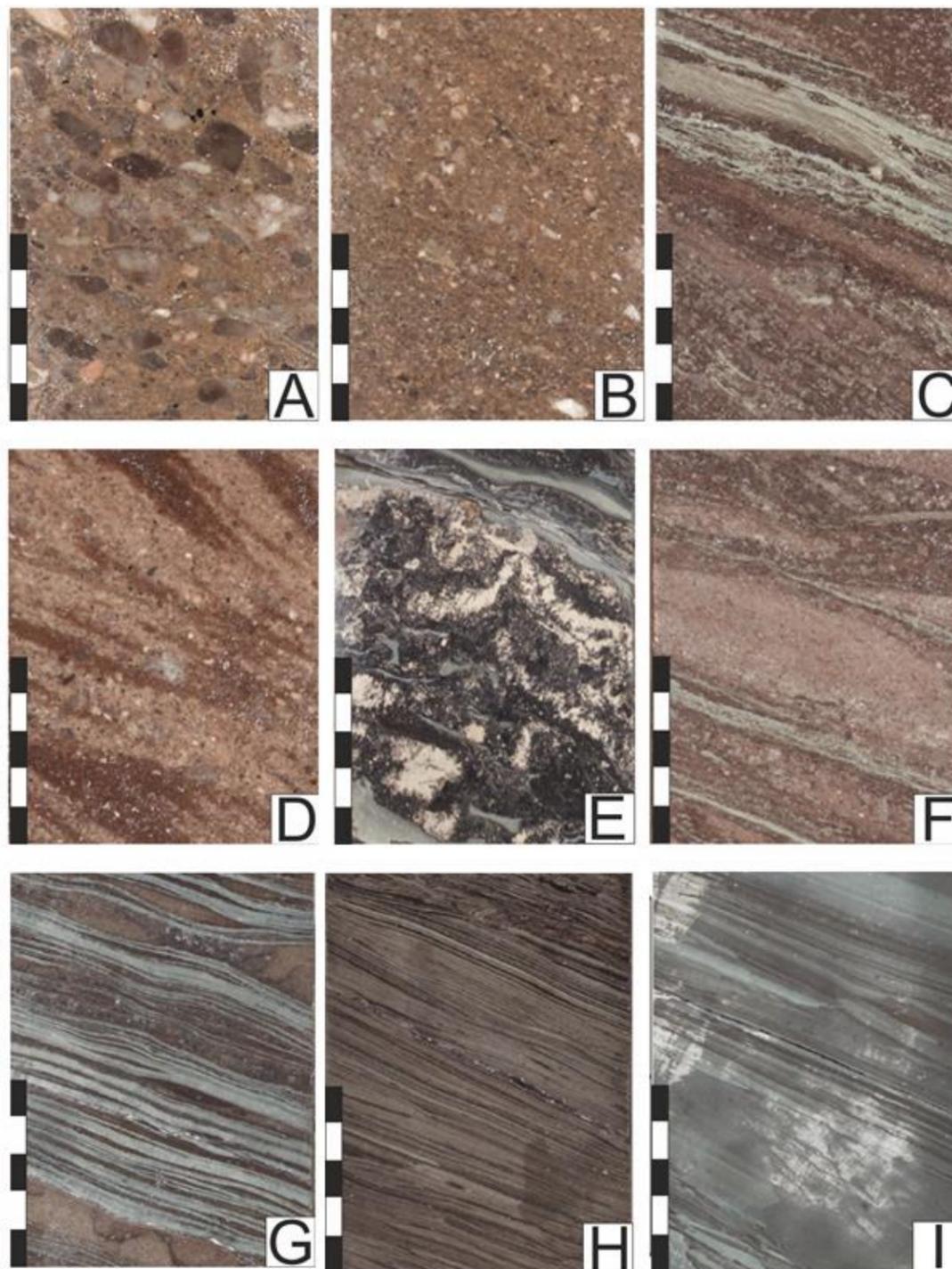


Рис. 3. Фотографии характерных текстур, выделенных аллювиальных, флювиальных и приливо-отливных фаций

*A - песчаники средне-грубо-крупнозернистые гравийные, с примесью гальки (размер обломков до 1x1,5 см), редкими участками переходящие в гравелиты песчаные мелкогалечные, с нечеткой выраженной средней слоистостью. Проксимальная часть аллювиального фена; B – песчаники средне-, крупнозернистые с примесью зерен грубой псаммитовой размерности, с нечетко выраженной тонкой пологонаклонной слоистостью. Медианная часть аллювиального фена; C - песчаники средне-, тонко-, мелкозернистые, с прерывистыми и протяженными слабо волнистыми глинистыми прожилками. Дистальная часть аллювиального фена; D - песчаники крупно-, мелко-, среднезернистые, с примесью крупно-, грубозернистого песчаного материала; с косою однонаправленной слоистостью. Флювиальный канал; E – ангидриты желваковые с реликтовыми включениями доломитов и доломитов с магнезитов с прожилками и включениями алевролитов глинистых. Береговая себха; F - песчаники крупно-, средне-, мелкозернистые, с косою разнонаправленной слоистостью, с двоеными глинистыми слойками и интракластами и угловато-окатанными интракластами. Приливо-отливный канал; G – тонко-волнистое прослаивание тонкозернистых песчаников, алевропесчаников и глинистых алевролитов. Смешенная приливо-отливная отмель; H - алевролиты мелко-, крупнозернистые, с единичными прослоями тонкозернистого песчаного материала, тонкослоистые. Илистая приливо-отливная отмель; I - алевролиты разномзернистые от алевролитов глинистых до алевролитов песчаных, микро-, тонко- и линзовидно-слоистые, с примесью тонкозернистого песчаного материала. Транзитная зона.
Длина масштабной линейки – 5 см.*

Гравийно-песчаные наносы горизонтального и косослоистого строения формировались низкоплотными струйными течениями. Осадки откладывались в виде песчаных и гравийно-песчаных покровов, рассеченных мелкими широкими руслами, в пределах которых происходила миграция песчаных 2D и 3D подводных дюн, продольных и поперечных гравийных баров.

Накопление массивных песчаников и песчаников с обратной градационной слоистостью происходило с быстрым отложением осадков высокоплотными струйными течениями, проявляющими псевдопластичную реологию.

Преобладание песчаников в составе отложений литофации свидетельствует о наличии в этой зоне процессов эрозии и седиментации, связанных с активной транспортировкой и отложением осадков.

Литофация *дистальная часть аллювиального фена* представлена переслаиванием косослоистых песчаников с горизонтально- и мелко косослоистыми алевритами (рис. 3С).

Песчаники темно-бурые, полевошпат-кварцевые, крупнозернистые, плохосортированные, гравелитистые, крупно- и среднезернистые, крупно- и мелкокосослоистые, троговой и таблитчатого типов, с прослоями тонкозернистых пологокосослоистых алевритов.

Интерпретация: отложения различной размерности формировались на завершающей стадии образования пролювиального комплекса фаций. Осадки этого типа распространены локально.

Флювиальные

Литофация *флювиальный канал (речное русло)* представлена песчаниками от мелко- до среднезернистых, с примесью крупнозернистого и грубозернистого материала, с прослоями и включениями гравелитов и мелких литокластов алевритоглинистых пород. Слоистость в песчаниках - крупная и мелкая косая, участками массивная, отмечается уменьшение зернистости в пределах слоев снизу вверх (рис. 3D).

Интерпретация: существенно песчаный состав, незначительное присутствие алевритоглинистых разностей пород, косая однонаправленная слоистость, наличие растительного детрита, отсутствие следов биотурбации, резкая эрозионная подошва, подчеркнутая глинистыми алевритами, свидетельствуют о формировании осадков в пределах речных русел.

Литофация *флювиальный канал с приливным влиянием* представлена песчаниками с косой разнонаправленной слоистостью. Песчанки разнозернистые, преимущественно средне- и крупнозернистые, с примесью зерен мелкой гравийной размерности, с косой разнонаправленной слоистостью, с интракластами алевритов в подошве канала.

Интерпретация: Накопление песчаных осадков каналов происходило при взаимодействии двух разнонаправленных факторов: 1) однонаправленных флювиальных течений; 2) разнонаправленных приливно-отливных течений.

Переходные обстановки

Переходные обстановки представлены приливно-отливными, лагунными и дельтовыми макрофациями.

Приливно-отливные обстановки

Фации переходных обстановок осадконакопления сгруппированы в следующие фациальные комплексы.

Литофация *себха (береговая себха)* представлена желваковыми ангидритами с разнообразными реликтовыми включениями доломитов, мергелей, алевролитов, песчаников, глинистого материала, а также сульфатизированными песчаниками, алевропесчаниками и алевролитами с желваками ангидрита, сульфатизированными мергелями и доломитами. Ангидриты преимущественно мелкожелваковые и разножелваковые, реже крупножелваковые, разнокристаллические от почти белых до розовато-серых. Наблюдаются включения и волнистые невыдержанные по толщине прожилки, тонкие прослои доломитов, алевролитов, песчаников. В прослоях доломита иногда сохраняется первичная микрослоистая текстура микробияльного байндстоуна. Мергели глинистые, сульфатизированные, микро- и тонкокристаллические, тонко- и неясно-слоистые, с многочисленными желваками сульфатов, с включениями магнезита и сидерита, с мелкими включениями пирита. Песчаники разнозернистые с поровым и базальным ангидритовым и доломитовым цеменами, иногда глинистые, волнисто-слоистые, с многочисленными мелкими желваками ангидрита. Алевролиты глинистые серые и зеленовато-серые, микро- и тонкослоистые, с многочисленными включениями желваков голубовато-светло-серого ангидрита. В глинистых алевролитах себхи зафиксированы трещины усыхания (см. рис. 3Е).

Интерпретация: отложения береговой себхи формировались в условиях субаэральной равнины, при редких высоких приливах и штормах, затапливающих супралитораль. В результате интенсивного испарения поровых вод и повышения концентрации солей в подповерхностных слабо литифицированных осадках происходило образование и разрастание сульфатных желваков.

Литофация *литорали (карбонатной литораль)* представлена доломитами, доломитами известковистыми и доломиты глинистыми.

Породы разнокристаллические, преимущественно микрокристаллические, строматолитовые, со структурой байндстоун органогенно-слоистые с редкими прослоями литокластов, неравномерно трещиноватые и доломиты со структурой мадстоун; породы

неравномерно сульфатизированные. Сульфатизация представлена в виде мелких включений таблитчатых кристаллов ангидрита, до крупных включений розовато-серого ангидрита (рис. 4А).

Интерпретация: формирование осадков карбонатной литорали происходило в условиях крайнего мелководья, при периодических суточных колебаниях уровня моря при крайне низком поступлении терригенно-глинистого материала.

Литофация *приливно-отливного канала* представлена песчаниками разнозернистыми, с пологой и мелкой косой разнонаправленной слоистостью со сдвоенными глинистыми слойками и интракластами алевролитов. Песчаники коричневатые-серые и серые, разнозернистые от мелко- до крупнозернистых, алевритистые, кварцевые, с пологой косой разнонаправленной и мелкой косой разнонаправленной слоистостью, с рябью течений, с глинистыми сдвоенными слойками. В подошве русла песчаники с многочисленными глинистыми интракластами различной размерности (рис. 3F).

Интерпретация: в приливно-отливных каналах во время отлива наблюдаются условия очень схожие в речных руслах. Песчаники фации приливно-отливных каналов диагностируются по текстурным признакам (сдвоенные глинистые слойки, разнонаправленная косая слоистость).

Литофация *смешанная приливно-отливная отмель* представлена переслаиванием кварцевых тонкозернистых песчаников, алевропесчаников и глинистых алевролитов. Песчаники серые и темно-серые, тонкозернистые, кварцевые, с регенерационным цементом, неравномерно глинистые и алевритистые, с тонкой слабоволнистой и тонкой линзовидной слоистостью. Алевропесчаники серые и темно-серые, с примесью тонкозернистого песчаного материала, тонкослоистые. Алевролиты глинистые, темно-серые, разнозернистые, песчанистые, тонкослоистые, плотные, с извилистыми трещинками синерезиса. Для всех пород характерны парные глинистые слойки (рис. 3G).

Интерпретация: формирование алевритово-песчаных приливно-отливных отмелей происходило в условиях крайнего мелководья при умеренной гидродинамике приливно-отливных процессов.

Литофация *илистая приливно-отливная отмель* представлена тонкослоистыми неравномерно глинистыми алевролитами. Алевролиты зеленоватые-серые, крупнозернистые, с прослоями с примесью тонкозернистого песчаного материала, микрослоистые, иногда с деформационными текстурами, плотные, крепкие (рис. 3H).

Интерпретация: накопление алевролитов илистых приливно-отливных отмелей происходило в условиях крайнего мелководья при весьма слабой гидродинамике разнонаправленных приливно-отливных процессов.

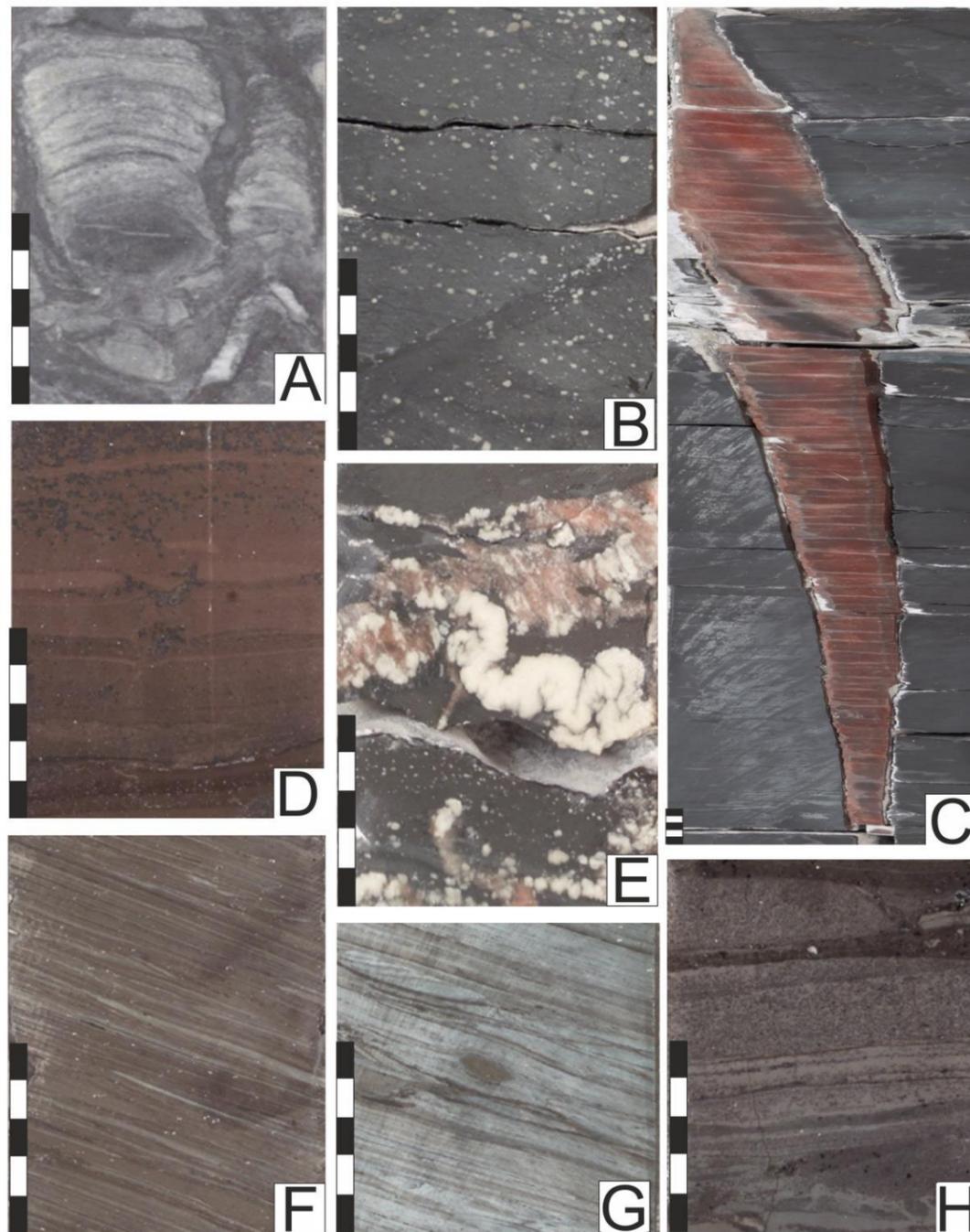


Рис. 4. Фотографии характерных текстур, выделенных лагунных, пляжевых и морских фаций

A - доломиты разнокристаллические, строматолитовые, со структурой байндстоун, с терригенно-литокластовым заполнением между столбиками, органогенно-слоистые. Литораль; B - аргиллиты алевритистые, неясно-слоистые, с многочисленными мелкими карбонатными и сульфатными стяжениями. Шельфовая лагуна; C - аргиллиты алевритистые, тонкослоистые, с клиновидной субвертикальной трещиной залеченной розовато-серым галитинизированным гипсом. Шельфовая лагуна; D – доломиты разнокристаллические, микрокристаллические, неравномерно сульфатизированные, со структурой мадстоун, массивные, с многочисленными мелкими включениями ангидрита. Шельфовая лагуна с повышенной соленостью; E - мергели доломитовые, тонкокристаллические, с глазковой текстурой, а также неправильными включениями розовато-серого ангидрита по трещинам. Шельфовая лагуна с повышенной соленостью с наложенной себхой; F – алевро-песчаники, микрокосмо-слоистые. Верхняя предфронтальная зона пляжа; G - алевролиты мелкозернистые, с единичными прослоями тонкозернистого песчаного материала, микрослоистые, участками с деформационными текстурами, полого-слоистые. Нижняя предфронтальная зона пляжа; H – доломит глинистый, тонкокристаллический, литокластово-террегенный, тонко-волнисто- и неправильно-слоистый. Мелководная сублитораль с активной придонной гидродинамикой.

Длина масштабной линейки – 5 см.

Литофация *транзитной зоны* представлена алевролитами, аргиллитами, реже песчаниками. Понятие транзитной зоны введено для характеристики широкой переходной фациальной зоны приливно-отливной области. Фация максимально удалена от берега и является переходной к шельфовым фациям (сублиторали и глубокой сублиторали). Алевролиты зеленовато-темно-серые, разномасштабные от алевролитов глинистых до алевролитов песчаных, микро-, тонко- и линзовидно-слоистые, с примесью тонкозернистого песчаного материала, с единичными прослоями с деформационной текстурой, плотные, крепкие. В алевролитах довольно обычны прослои тонко-, мелко-, крупно- и среднезернистых кварцевых песчаников проксимальных темпеститов с выраженной эрозионной подошвой и градационным распределением зерен. В прослоях песчаников развит глинистый, сидеритовый и доломитовый поровый цемент. Аргиллиты зеленовато-серые, алевритистые, микрослоистые, участками с деформационной текстурой, иногда с неравномерной глазковой текстурой. Песчаники серые, от тонко- до мелкозернистых, кварцевые, алевритистые, с глинистым цементом, микрослоистые, волнисто-слоистые, плотные, в подошве слой сульфатизированные, крепкие. Сульфатизация представлена в виде глазков ангидрита диаметром до 4 мм (рис. 3I).

Интерпретация: осадки транзитной зоны формировались в условиях спокойной придонной гидродинамики, нарушаемой периодическими воздействиями штормов (линзы и прослои песчаных темпеститов) при нормальной солености, сниженной температуре воды.

Лагунные обстановки

Литофация *шельфовой лагуны (лагуны)* представлена аргиллитами алевритистыми и алевролитами глинистыми. Аргиллиты темно-серые и зеленовато-темно-серые, алевритистые, микро- и тонкослоистые, сульфатизированные. Алевролиты глинистые, зеленовато-серого и зеленовато-темно-серого цвета, мелкозернистые, прослоями известковистые/доломитистые и песчаные (с примесью тонких и мелких кварцевых песчаных зерен), с тонкой горизонтальной слоистостью, неясно-слоистые, участками с текстурами пластовых деформаций, с трещинами залеченными сульфатами, с многочисленными мелкими карбонатными и сульфатными стяжениями, с мелкими желваками ангидрита. Иногда на поверхности наложения алевролитов присутствуют мелкие нитевидные (водорослевые?) органические остатки (рис. 4B, C).

Интерпретация: осадки лагун формировались в условиях спокойной и умеренной придонной гидродинамики при сниженной или увеличенной солености. Во время штормов в зоны лагун приносился биокластовый и песчаный материал из обстановок шельфа и морского терригенного мелководья.

Литофация *шельфовой лагуны с повышенной соленостью* представлена доломитами

неравномерно сульфатизированными, разнокристаллическими, преимущественно тонко-микроструктурными, со структурой мадстоун, массивными, с многочисленными мелкими включениями ангидрита, гипса и пирита (рис. 4D).

Интерпретация: накопление пород происходило в относительно спокойных гидродинамических условиях. Наличие пирита свидетельствует о возможной застойности придонных вод и восстановительных условиях в осадке.

Литофация *шельфовая лагуна с повышенной соленостью с наложенной себхой (лагуна эвапоритовая)* представлена мергелями и доломитами интенсивно сульфатизированными до ангидритов. Мергели доломитовые, сульфатизированные, тонкокристаллические, с глазковой текстурой. Доломиты сульфатизированные, серые, разнокристаллические, неяснослоистые, плотные, с глазками ангидрита диаметром до 0,4 см, а также с неправильными включениями розовато-серого ангидрита по трещинам. Ангидриты от белых с голубоватым оттенком до голубовато-светло-серых, разнокристаллические, от мелко-желваковых до крупно-желваковых и столбчатых, часто разножелваковые, с включениями и волнистыми прерывистыми прожилками серого и темно-серого глинисто-алевритового, алевритового, алевритово-песчаного материала и доломита. Размеры желваков в пределах пачек увеличиваются снизу вверх по мере сокращения содержания глинисто-терригенного и доломитового материалов (рис. 4E).

Интерпретация: осадки эвапоритовых лагун формировались в условиях спокойной гидродинамики и затрудненного водообмена с открытым морским бассейном при увеличенной солености и интенсивном испарении.

Дельтовые

Литофация *берегового вала/пляжа* представлена песчаниками от мелко- до крупнозернистых, с массивной текстурой, реже с пологой, субгоризонтальной и мелкой косой слоистостью. В основании элементарного циклита залегают крупно- и среднезернистые, иногда крупнозернистые, в кровле – мелкозернистые песчаники (рис. 5A).

Интерпретация: формирование осадков происходило вдоль береговой линии с активной волновой гидродинамикой и интенсивным поступлением песчаного материала.

Литофация *верхний фронт дельты* представлены песчаниками мелко- и среднезернистыми, с пятнистым доломитовым цементом, с косой пологонаклонной и волнистой слоистостью, с редкими прослоями алевролитов. Породы пористые. В подошве элементарного циклита залегают мелкозернистые песчаники, в кровле - до перехода в алевролиты (рис. 5B).

Интерпретация: формирование осадков происходило в условиях гравитационной нестабильности при неравномерном поступлении песчаного, алевритового и глинистого

материала, при направленном движении флювиальных течений.

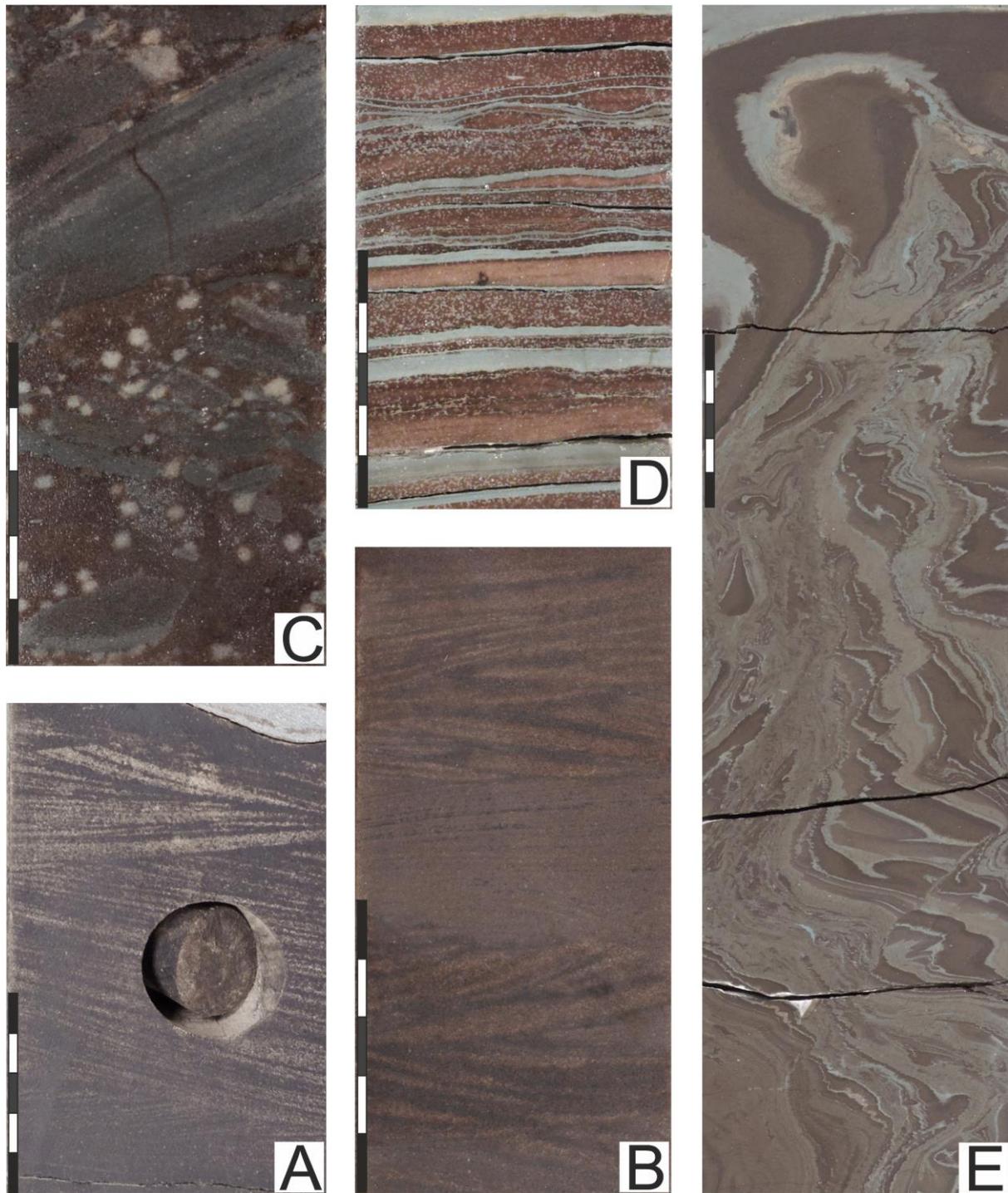


Рис. 5. Фотографии дельтовых фаций

A – песчаники средне-, мелкозернистые, с косой разнонаправленной слоистостью. Береговые валы; B – песчаники средне-, мелкозернистые, с мелкой косой полого наклонной слоистостью. Верхняя часть склона фронта дельты; C – песчаники средне-, крупнозернистые, с пятнистым сульфатно-карбонатным цементом, с крупной косой слоистостью, с угловато-окатанными интракластами алевролита. Распределительный канал; D – тонкое, неравномерное переслаивание алевролитов и песчаников, с мелким пятнистым карбонатным цементом. Нижняя часть склона фронта дельты; E – алевро-песчаники разномерные, с конволютной слоистостью. Продельта. Длина масштабной линейки - 5 см.

Литофация *распределительных каналов* представлена песчаниками мелко- и среднезернистыми, с косой однонаправленной слоистостью, с неравномерным пятнистым доломитовым цементом, пористыми, нефтенасыщенными. Появление разнонаправленной слоистости свидетельствует о приливном влиянии. В основании элементарного циклита залегают крупно- и среднезернистые песчаники, в кровле - мелкозернистые песчаники (рис. 5С).

Интерпретация: формирование осадков распределительных каналов происходило в условиях однонаправленного течения при периодических подмывах берегов и переотложении ранее накопленных осадков. Обилие детрита высших растений свидетельствует о влажном климате и широком распространении в пойме и дельте наземной растительности.

Литофация *устьевого бара* представлена песчаниками мелко- и среднезернистыми, преимущественно косослоистыми, реже пологокосослоистыми. Среди них отмечаются внутренние поверхности размыва и конволютная слоистость. Преобладают крупнокосослойчатые песчаники с наклонными глинистыми слойками. Мощность крупнокосослойчатых серий и гранулометрический состав песчаников постепенно увеличиваются к кровле.

Интерпретация: фация устьевых баров фронта дельты формируется в верхней части дельтового склона. Песчаный материал неравномерно поступает по распределительным каналам и разгружается в верхней части дельтового склона - сначала более крупные фракции, затем более мелкие. Фации устьевых баров парагенетически связаны с фациями нижней части склона фронта дельты и распределительных каналов.

Литофация *нижний фронт дельты* представлена полосчатыми алевролитами и алевро-песчаниками. В алевролитах и алевро-песчаниках присутствует конволютная слоистость, свидетельствующая о подводно-оползневых процессах. Песчаники с тонкой, слабоволнистой и косой слоистостью (толщиной до 0,25 см), пористые. Алевролиты и алевро-песчаники плотные. В основании элементарного циклита залегают алевролиты, в кровле - песчаники (рис. 5D).

Интерпретация: формирование осадков соответствует нижней части дельтового склона. В этих условиях довольно обычны процессы оползания нелитифицированных осадков, которые быстро накапливаются в верхней части склона и гравитационно нестабильны.

Литофация *продельты* представлена аргиллитами и алевролитами глинистыми, микро-, тонкослоистыми, с тонкими прослоями песчаников. Микрослоистые аргиллиты и глинистые мелкозернистые алевролиты преобладают в нижней и средней частях продельтового склона

и постепенно переходят в тонкослоистые разномерные алевриты верхней части продельтового склона. Встречаются следы биотурбации и органический шлам (рис. 5E).

Интерпретация: формирование осадков продельтового склона происходило в дистальной части дельтового склона при поступлении алевритового и глинистого материала в виде взвеси на глубинах ниже волнового базиса.

Мелководно-морская

Фаціальний комплекс пляжа и подводного берегового склона

Литофация *верхней предфронтальной зоны пляжа* представлена песчаниками мелко- и тонко-мелкозернистыми, а также алевропесчаниками с нечеткой разнонаправленной мелкой кривой слоистостью, хорошо сортированными (см. рис. 4F).

Интерпретация: активная гидродинамика, нормальная соленость, незначительные глубины (первые метры), поступление терригенного материала.

Литофация *нижняя предфронтальная зона пляжа* представлена глинистыми алевритами и песчанками алевритистыми. Алевриты мелкозернистые, с единичными прослоями тонкозернистого песчаного материала, микрослоистые, участками с деформационными текстурами, полого-слоистые, плотные, сульфатизированные. Сульфатизация представлена в виде округлых глазков ангидрита размерами до 0,3x0,3 см. Песчаники алевритистые разномерные, преимущественно крупно-мелкозернистые, кварцевые, с глинистым цементом, нечетко-слоистые, участками микрослоистые, с деформационной слоистостью, плотные, слабо послойно сульфатизированные с мелкими глазками ангидрита (см. рис. 4G).

Интерпретация: осадки формировались в условиях умеренной придонной волновой гидродинамики при нормальной и незначительно сниженной солености.

Шельфовые

Литофация *мелководная сублитораль с активной придонной гидродинамикой* представлена терригенно-карбонатными породами с волнистой, желваковой и неправильной слоистостью (рис. 4H).

Интерпретация: умеренная и активная придонная гидродинамика, небольшие глубины, нормальная соленость, умеренное поступление терригенного материала. Поступление терригенного материала в прибрежной зоне подавляет карбонатонакопление. В условиях подводного берегового склона (см. далее) накапливаются глинисто-терригенные породы.

Литофация *мелководная сублитораль со спокойной придонной гидродинамикой* представлена алевритами глинистыми, разномерными, преимущественно мелкозернистыми, с редкими линзами мелкозернистого песчаного материала, с

субгоризонтальной и волнистой слоистостью, участками с оползневыми деформационными текстурами, плотными, с редкими зеркалами уплотнения, преимущественно хрупкими, с редкими включениями и прослоями черного органического вещества.

Интерпретация: осадки формировались в условиях нормальной солености, умеренной освещенности, слабой придонной волной гидродинамики.

Литофация *относительно глубокой сублиторали* представлена микрослоистыми известковистыми и доломитистыми аргиллитами, микрокристаллическими доломитами (доломадстоунами) с прослоями аргиллитов, глинистыми алевролитами.

Интерпретация: осадки откладывались при слабой и весьма слабой гидродинамике, на относительно больших глубинах (более 30 м), с привносом глинистого материала, иногда с придонной аноксией.

Результаты

Выделено 28 литофаций/фаций. Фации сгруппированы по 7 макрофациям.

Представлены детальные описания литофаций и наблюдения, полученные в процессе изучения кернового материала.

Выяснено, что осадки изученного разреза накапливались в условиях пассивной континентальной окраины в широком диапазоне от пролювиальных и аллювиальных до лагунных и мелководно-морских обстановок.

Полученные результаты стали основой для проведения региональных секвенс-стратиграфических построений.

Секвенс-стратиграфическое расчленение разреза

Породы фундамента с резким стратиграфическим перерывом перекрываются обломочной талахской пачкой курсовской свиты. К этому уровню приурочена секвентная граница Sb1 (рис. 6А). В разрезе курсовской свиты выделено два секвенса - SQ1 и SQ2. Они разделяются секвентной границей Sb2 (рис. 6В). Ниже рассмотрено их строение.

Характеристика секвентной границы Sb1

Граница установлена на глубине 2121,37 м. Глубина указана по керну, увязанному с ГИС. Она представляет собой резкий контакт пород фундамента и отложений аллювиального фэна, формирующих в SQ1 системный тракт низкого стояния (LST). Подошва LST является секвентной границей Sb1, отчетливо выделяемая по керну и ГИС (рост ГК и НК). Древние породы фундамента несут следы стратиграфического перерыва и эрозии (см. рис. 6А). Пакеты парасеквенций имеют проградационное строение (рис. 7.1, 7.2).

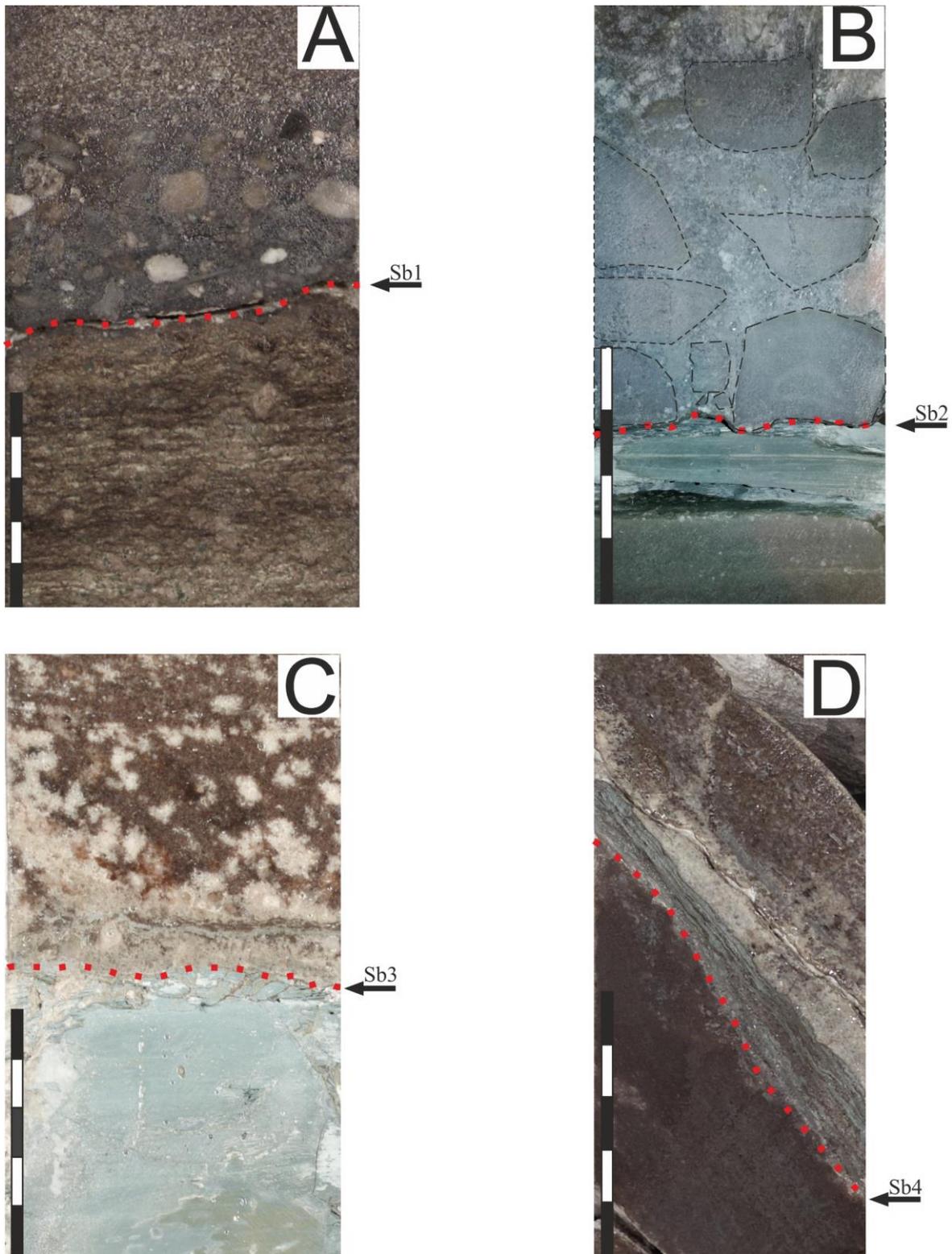
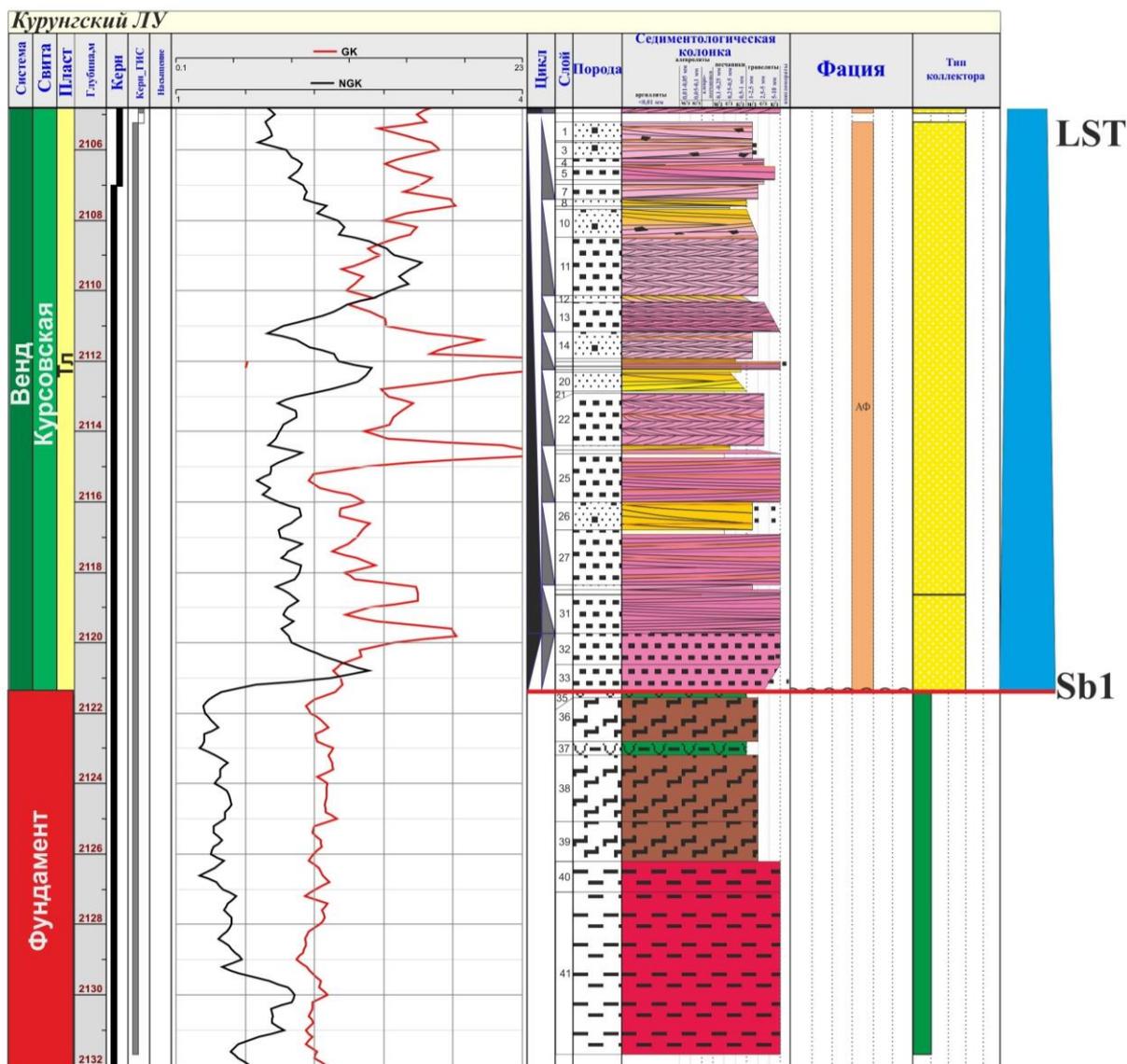
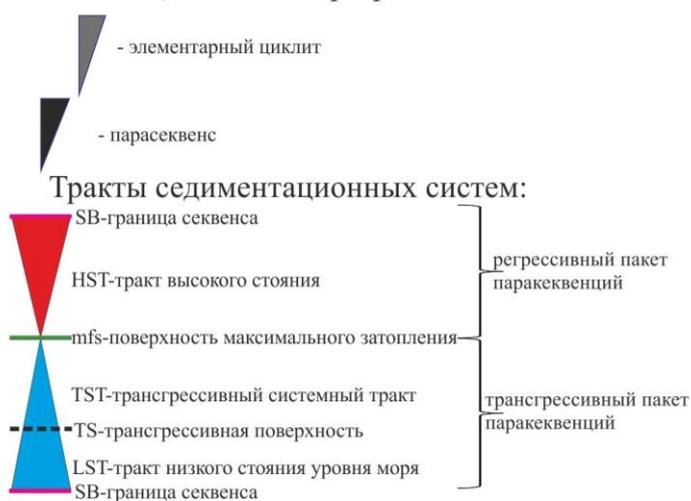


Рис. 6. Фотографии кернa скв. 1X с выделенными секвенс-стратиграфическими поверхностями
A - секвенс-стратиграфическая поверхность Sb1. Эрозионный контакт гравелитов пачки Тл курсовской свиты (вверху) с породами кристаллического фундамента (внизу); B - секвенс-стратиграфическая поверхность Sb2. Резкий эрозионный контакт карбонатной брекчии (вверху) и сульфатизированных доломитов шельфовой лагуны (внизу). Курсовская свита; C - секвенс-стратиграфическая поверхность Sb3. Резкий эрозионный контакт песчаных отложений пачки Хм (вверху) и аргиллитов сублиторали (внизу). Бюкская свита; D - секвенс-стратиграфическая поверхность Sb4. Резкая пологая граница сульфатизированных доломитов литорали (вверху) и дельтовых песчаников (внизу). Бюкская свита.
Длина масштабной линейки – 5 см.



- Фашии:**
- Сх Сх - себховая равнина
 - Сл Сл - солеродная лагуна
 - ФК ФК - флювиальный канал
 - ФКп ФКп - флювиальный канал с приливным влиянием
 - ФДв ФДв - верхний склон фронта дельты
 - ФДн ФДн - нижний склон фронта дельты
 - ОФД ОФД - оползни фронта дельты
 - ПрД ПрД - продельта
 - БВ БВ - береговой вал
 - ПОР/Л ПОР/Л - приливо-отливная равнина/литораль
 - ШЛ ШЛ - шельфовая лагуна
 - ШЛс ШЛс - шельфовая лагуна с повышенной солен.
 - МСар МСар - мелководная сублитораль с активной гидродинамикой
 - МСср МСср - мелководная сублитораль со спокойной гидродинамикой
 - ОП ОП - органогенная постройка
 - ПООп ПООп - песчаная приливо-отливная отмель
 - ПООс ПООс - смешанная приливо-отливная отмель
 - ПООи ПООи - илестая приливо-отливная отмель
 - ПОК ПОК - приливо-отливный канал
 - МТМв МТМв - верхняя предфронтальная зона пляжа
 - ТЗ ТЗ - транзитная зона
 - АФ АФ - аллювиальный фен

Цикличность разреза:



Петротипы:

- 1 - плотные породы
- 2 - плотные, но проницаемые породы
- 3 - поровый коллектор

Рис. 7.1. Разрез первого секвенса

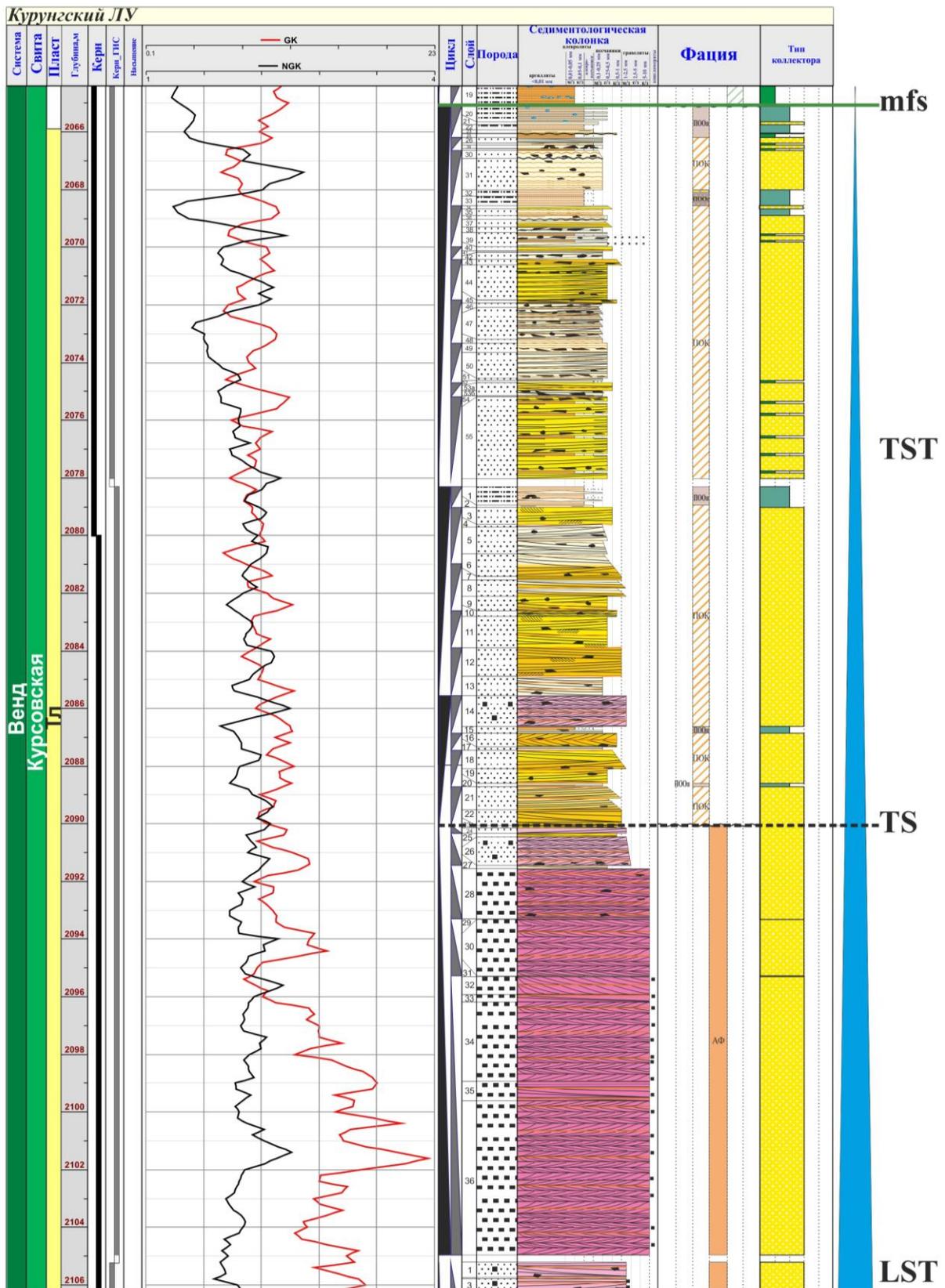


Рис. 7.2. Разрез первого секвенса

Усл. обозначения см. рис. 7.1.

Характеристика SQ1 (нижняя часть курсовской свиты)

LST представлен отложениями аллювиального фэна. В начале курсовского времени на денудационную сушу с расчлененным рельефом происходил привнос грубообломочного материала с прилегающих возвышенностей.

Выше LST следует *трансгрессивный тракт* (TST). В подошве TST проведена трансгрессивная поверхность (TS) на глубине 2090,05 м, которая фиксирует начало трансгрессии, выражающейся в смещении береговой линии в сторону суши. Трансгрессия привела к формированию побережья с преобладающей приливно-отливной терригенной седиментацией. По TS происходит смена пакетов парасеквенций с проградационного на ретроградационный (см. рис. 7.2). TST сложен комплексом приливно-отливных фаций.

Приливно-отливная терригенная равнина включает несколько фаций, тесно связанных между собой по латерали. Это фации песчаной приливно-отливной отмели, смешанной приливно-отливной отмели и приливно-отливного канала. В парасеквенциях происходит увеличение зернистости вверх.

Приливно-отливные терригенные равнины рассечены сетью приливно-отливных каналов. Накопление песчаников приливно-отливных каналов происходило в изменчивых гидродинамических условиях при ритмичной смене направления потока во время периодических приливно-отливных колебаний уровня моря. Перемещение обломочного материала по приливно-отливным каналам обусловило сортировку песчаников и их максимальную зрелость.

Глинистый материал встречается в виде интракластов, представляющих собой фрагменты глинисто-алевритистых корочек илистого и илисто-песчаного мелководья.

Тракт *высокого стояния уровня моря* (HST) представлен прибрежно-морскими осадками. В подошве HST проведена поверхность максимального затопления (mfs) на глубине 2065,11 м. Она отчетливо выделяется по ГИС (резкий рост ГК и падение НГК) и фиксируется в разрезе резкой сменой ретроградационного пакета парасеквенции на агградационный пакет (рис. 7.3).

В разрезе наблюдается неравномерное чередование осадков приливно-отливной отмели и транзитной зоны, в верхней части комплекса - неравномерное чередование осадков предфронтальной зоны пляжа, иногда с шельфовой лагуной и наложенной себховой равниной.

Приливно-отливные отмели образуют обширные пространства побережья в районах с низкой энергией волн. Различают отложения надлиторальных и литоральных отмелей. Надлиторальные отмели расположены выше верхнего уровня среднего прилива. В аридном климате к ним приурочены себхи.

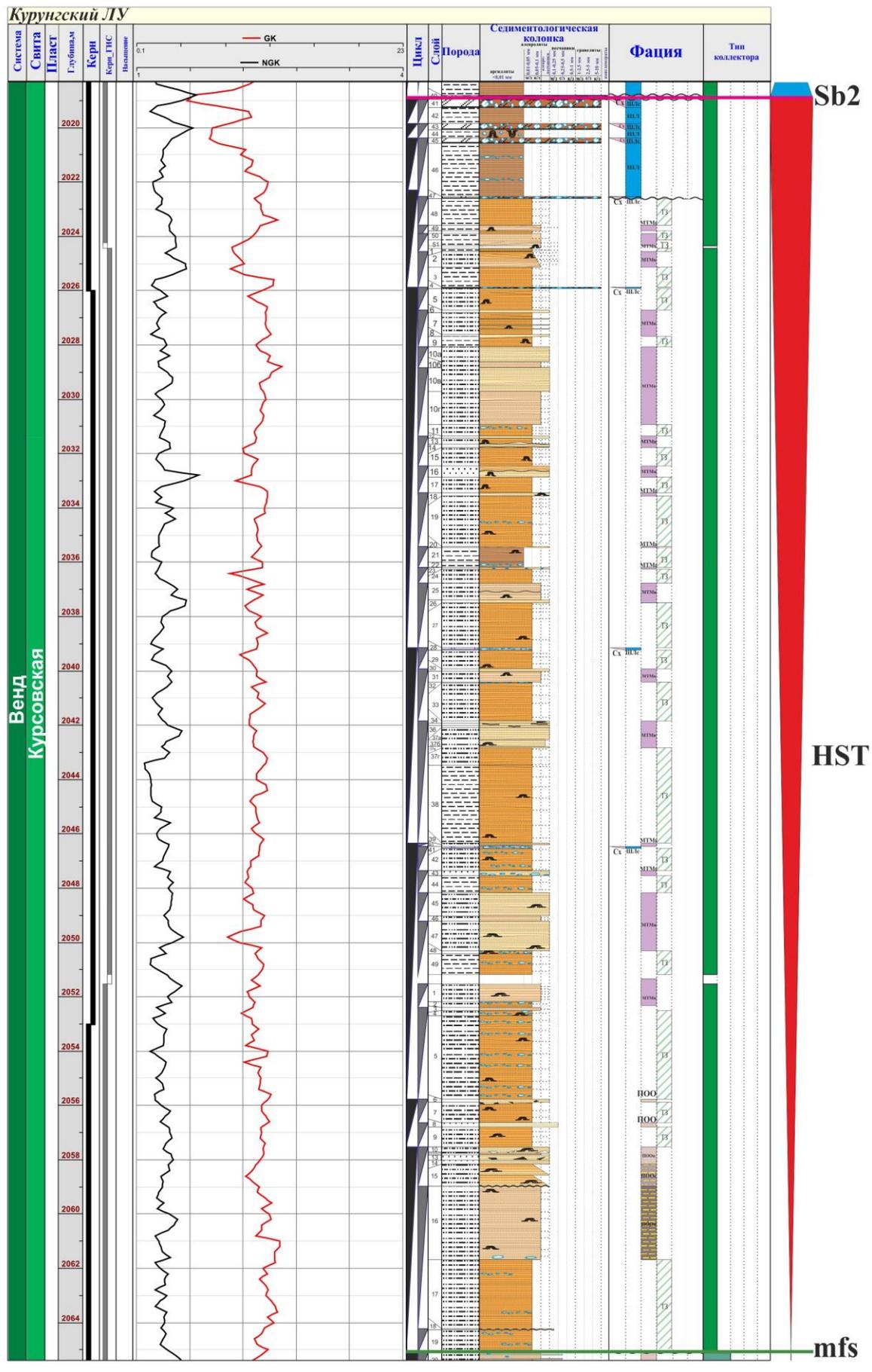


Рис. 7.3. Разрез первого секвенса

Усл. обозначения см. рис. 7.1.

Литоральные отмели представляют собой ровную, полого погружающуюся в сторону моря прибрежную область, пересеченную крупными и мелкими приливно-отливными каналами. Отмели сложены двумя типами осадков, между которыми имеется непрерывный переход: илистыми, переходными отложениями в обстановке более высокого уровня воды, и песчаными, расположенными ближе к берегу на участках низкой воды. Неоднократное приливно-отливное воздействие на литоральную отмель приводило к формированию толщи переслаивания глин, алевролитов и песков с отчетливой полосчатой, волнистой и линзовидной слоистостью.

При трансгрессии приливно-отливных отмелей отложения с уменьшающейся вверх по разрезу зернистостью отражают переход от литоральной песчаной отмели к надлиторальной себхе.

Таким образом, нижний секвенс курсовской свиты (SQ1) формирует следующий фациальный ряд: аллювиальный фэн → приливно-отливная терригенная равнина → прибрежно-морские отложения → лагуна → себха. Трансгрессивный пакет парасеквенций от подошвы к кровле представлен переходом от гравелитов аллювиального фэна до песчаников приливно-отливной терригенной равнины. К нему приурочена пачка Тл. Регрессивный пакет парасеквенций, сформированный прибрежно-морскими отложениями, представлен сульфатно-карбонатными и песчано-глинистыми породами. Для элементарных циклитов нижней части НСТ характерно увеличение зернистости вверх, от алевролитов до алевропесчаников и песчаников. Для верхней части НСТ характерно уменьшение зернистости вверх, что отражает постепенный переход от литоральной песчаной отмели к надлиторальной себхе.

Характеристика секвентной границы Sb2

Граница установлена на глубине 2018,96 м. В керне наблюдается резкое эрозионное налегание карбонатной брекчии на сульфатизированные доломиты шельфовой лагуны (см. рис. 6В). Граница соответствует внутринепскому стратиграфическому перерыву, является и границей секвенций, и трансгрессивной поверхностью. Она выделяется по керну и отчетливо прослеживается по ГИС (ГК) – увеличение естественной радиоактивности и аградационное строение пакетов парасеквенций (рис. 8).

Характеристика SQ2 (верхняя часть курсовской свиты)

LST в разрезе скв. 1X не представлен. TST формируют отложения мелководно-морского шельфа, включающие в себя следующие фации: шельфовой лагуны, шельфовой лагуны с повышенной соленостью, литорали и себховой равнины. Выше по разрезу TST переходит в НСТ. В подошве НСТ проведена поверхность максимального затопления (mfs) на глубине 2016,65 м, по которой происходит постепенное падение ГК, рост НГК и смена

агградационного на проградационный пакет парасеквенций.

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.

Второй секвенс (SQ2) представлен постепенным переходом от мелководно-морских шельфовых отложений к мелководно-морским шельфовым с наложенной себховой равниной. В основании элементарных циклов залегают глинистые отложения шельфовой лагуны, сменяющиеся шельфовой лагуной с повышенной солёностью, выше по разрезу переходящие в отложения себховой равнины и строматолиты литорали. К трещиноватым карбонатным породам приурочена пачка Ар, из которой получены притоки углеводородов в ряде скважин Мирнинского выступа.

Характеристика секвентной границы Sb3

Границы Sb3 установлена на глубине 1988,98 м. В керне наблюдается резкое эрозионное налегание песчаников флювиального канала на глинистые мелководно-морские отложения (см. рис. 6С). Поверхность размыва представляет собой типичную границу секвенса первого типа, образование которой связано с понижением относительного уровня моря (регрессией).

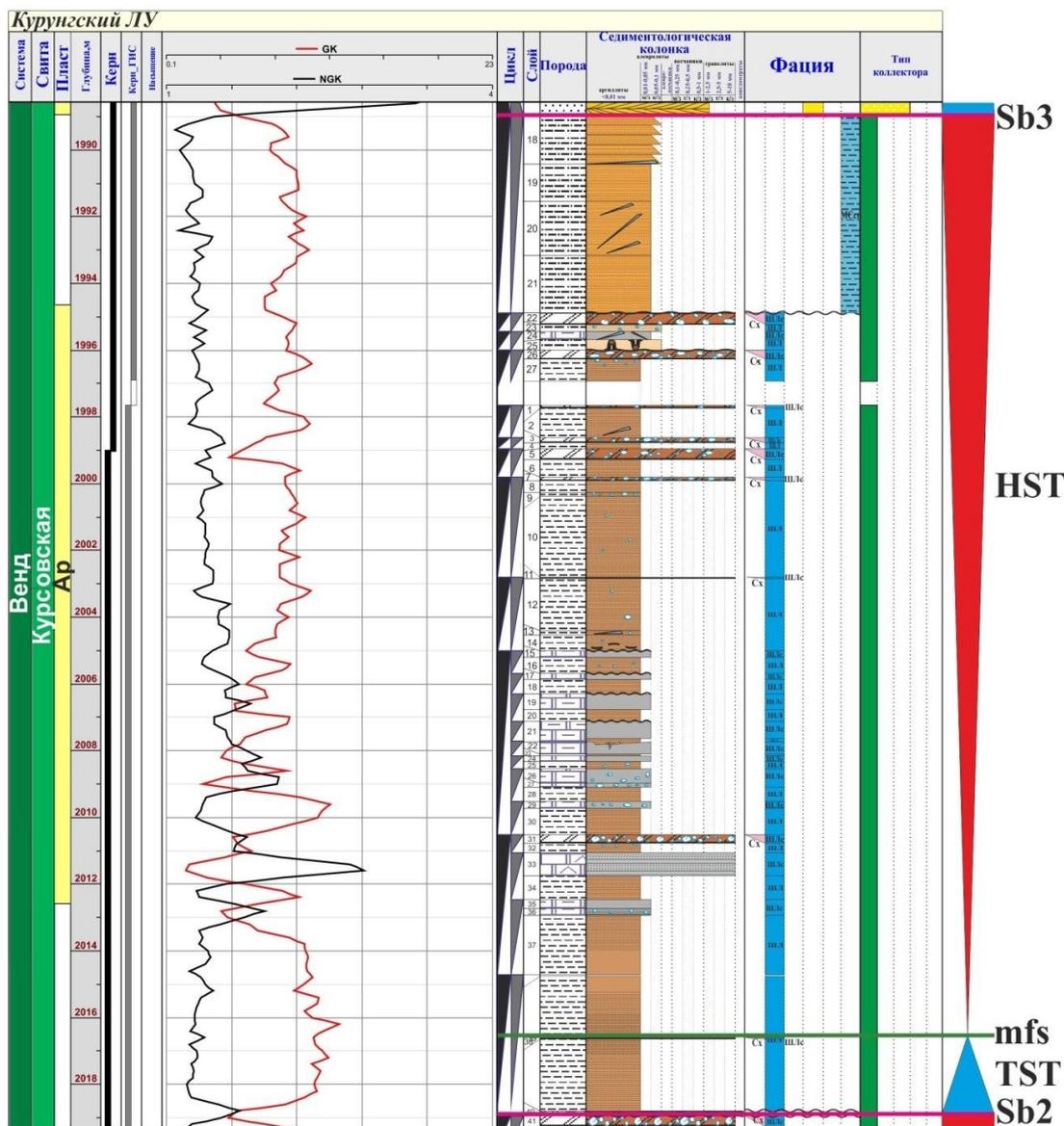
Вызванное этим снижение базиса эрозии привело к началу выработки реками нового профиля равновесия, что спровоцировало врезание речных русел и формирование дельтового конуса выноса на подстилающие морские аргиллиты и алевриты. Это хорошо выделяется по керну и прослеживается по данным ГИС (резкое падение ГК и рост НГК). Данная поверхность включает в себе стратиграфический перерыв на границе курсовского и бюкского времен [Мельников, Якшин, Шишкин, 2005]. По мнению автора, именно по ней следует проводить границу курсовской и бюкской свит, так как она имеет резкий эрозионный контакт, отчетливо выделяется на керне, прослеживается по ГИС и отделяет мелководно-морские сульфатно-карбонатно-глинистые отложения от флювиальных глинисто-терригенных.

Характеристика третьего секвенса (SQ3)

(переходной между верхней частью курсовской свиты и нижнебюкской подсвиты)

Разрез нижнебюкской свиты формирует третий секвенс (SQ3) (рис. 9). LST слагают отложения *флювиальных каналов*. Пакеты парасеквенции имеют проградационно-ретроградационное строение, представлены песчаниками разнозернистыми, преимущественно средне-, крупнозернистыми, с примесью зерен мелкой гравийной

размерности, неравномерно окварцованными, с косою разнонаправленной слоистостью, с неравномерным базально-поровым карбонатно-сульфатным цементом, с интракластами алевролитов в подошве канала; пористыми (см. рис. 9).



Литогенетические типы пород:

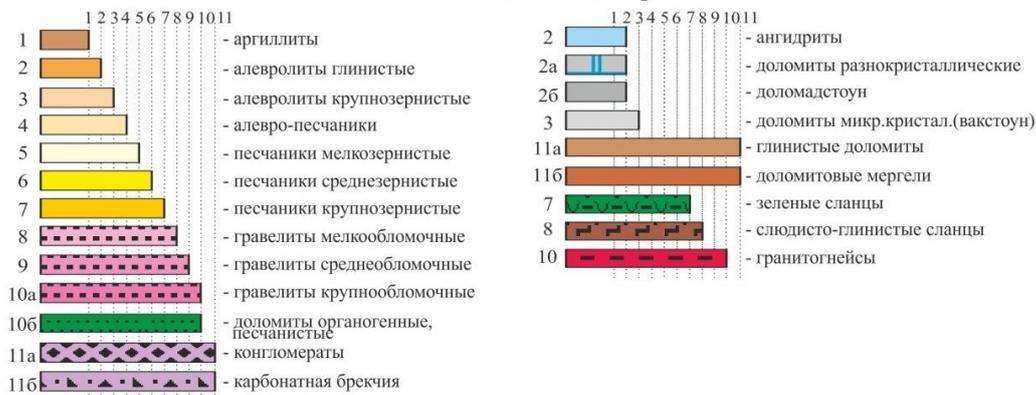


Рис. 8. Разрез второго секвенса

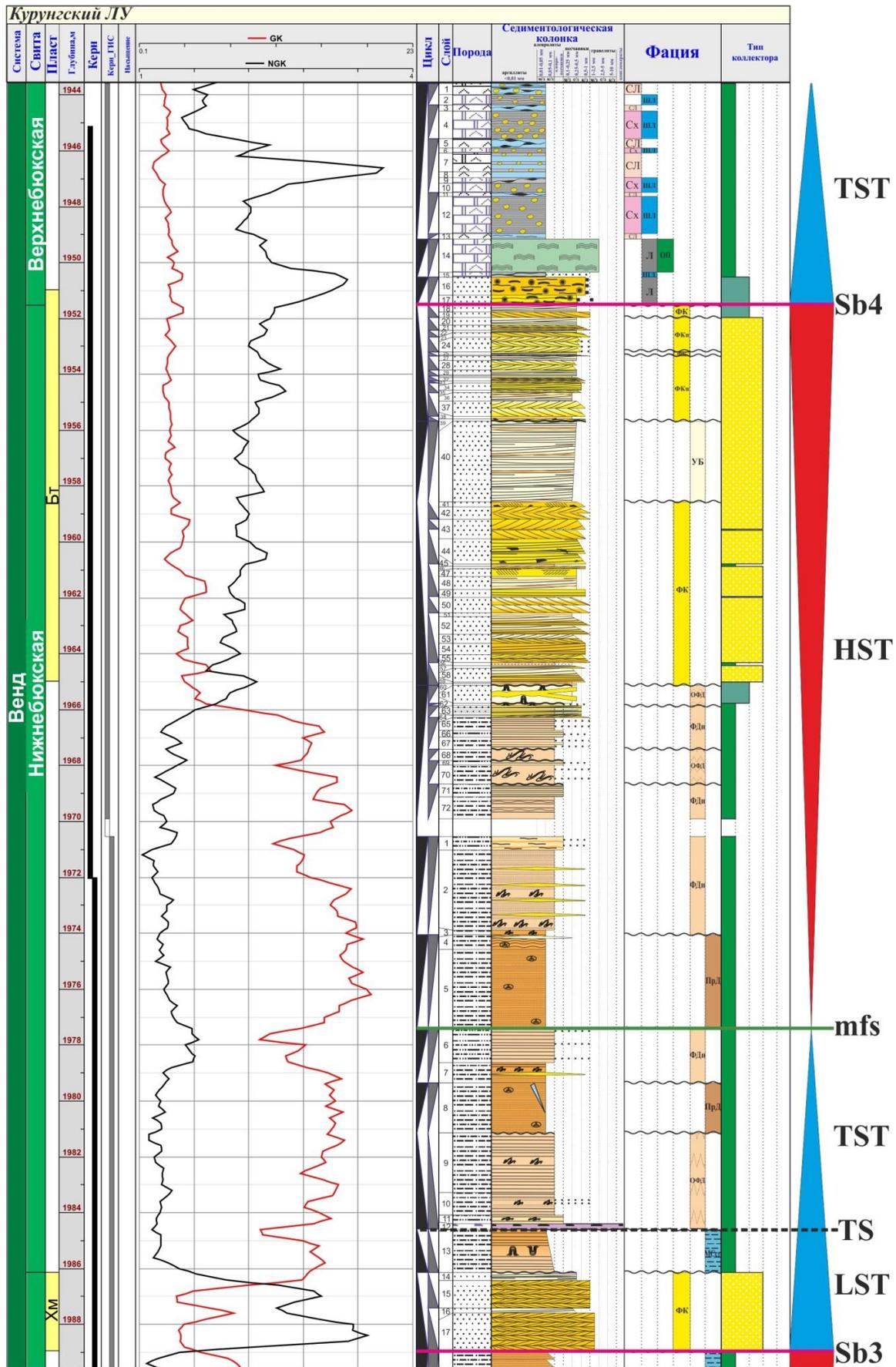


Рис. 9. Разрез третьего секвенса

Усл. обозначения см. рис. 7.1.

Выше по разрезу LST переходит в TST. В подошве TST на глубине 1984,69 м проведена TS, свидетельствующая о повышении относительного уровня моря. По ней происходит смена проградационно-ретроградационного пакета парасеквенций на агградационный (см. рис. 9). TS приурочена к подошве оползня фронта дельты, в основании которого залегает терригенная грубообломочная брекчия с глинистым и песчаным заполнением.

Трансгрессивный тракт представлен глинистыми осадками мелководно-морского шельфа и продельты.

Дельта флювиально-волнового типа формируется на этапе HST, что и образует проградационный комплекс тракта. В подошве HST проведена поверхность максимального затопления (msf) на глубине 1977,41 м. По ней происходит резкое падение ГК, рост НГК и смена агградационного на проградационный пакет парасеквенций (см. рис. 9).

Снизу вверх наблюдается следующая последовательность фаций: продельта; нижняя часть склона фронта дельты; верхняя часть склона фронта дельты, включая устьевые бары; распределительный канал.

Таким образом, третий секвенс (SQ3) со стратиграфическим перерывом и фаціальным несогласием перекрывает мелководно-морские отложения HST SQ2. Секвенция представлена следующими отложениями снизу вверх: песчаниками врезанных каналов, глинистыми осадками мелководно-морского шельфа и продельты и глинисто-песчаными отложениями дельты флювиально-волнового типа. К песчаникам LST приурочена пачка Хм, а к песчаникам HST - пачка Бт.

Характеристика секвентной границы Sb4

Верхняя граница HST является секвентной границей (Sb4) и TS, проведена на глубине 1951,55 м и характеризуется контактом песчаных дельтовых и вышележащих карбонатных мелководно-морских фаций (см. рис. 6D). На границе фаций наблюдается эрозионный контакт (поверхность трансгрессивного морского размыва). Данная поверхность отчетливо выделяется по керну и прослеживается по данным ГИС (резкий рост НГК) (см. рис. 9).

Характеристика четвертого секвенса (SQ4) (верхнебюкской подсвиты)

Перед следующим этапом осадконакопления, по мнению автора, существовал незначительный «стратиграфический» перерыв. В это время объем поступающего материала в бассейн осадконакопления резко сокращается. Активной волновой деятельностью нелитифицированный песчаный материал размывался и многократно переоткладывался в условиях литоральной отмели. В разрезе фиксируются кварцевые песчаники с оолитами и литокластами. По мере повышения уровня моря (трансгрессии) на них поселялись бентосные микробиальные сообщества, формирующие строматолитовые доломиты с терригенно-карбонатным межскелетным заполнением, что говорит нам об активной волновой

деятельности и, возможно, продолжавшемся умеренном поступлении терригенного материала в бассейн. Описанный выше комплекс выделен в TST четвертого секвенса (SQ4).

Результаты

В интервале курсовской и бюкской свиты впервые выделено 4 секвенции 3-го порядка - SQ1, SQ2, SQ3 и SQ4, а также по керну обоснованы системные тракты и опорные поверхности – границы секвенций, трансгрессивные границы, уровни максимального затопления.

Автором предложено по выделенной между секвенциями SQ2 и SQ3 границе Sb2 проводить раздел между курсовским и бюкским этапами формирования бассейна. Граница имеет выраженные признаки перерыва, разделяет различные осадочные системы двух секвенций и контрастные фации.

Восстановление истории осадконакопления северо-восточной части

Непско-Ботубинской антеклизы

В результате литолого-седиментологических и секвенс-стратиграфических исследований керна скважин 3X, пробуренной в центральной части Непкого свода [Плюснин и др., 2019], и 1X, пробуренной в центральной части Мирнинского выступа, выполнены сравнение и корреляция выделенных секвенций.

Следует отметить, что длительный и масштабный предвендский перерыв сыграл решающую роль в пенепленизации. На большей части НБА породы венда ложатся со стратиграфическим перерывом на практически выравненную поверхность фундамента.

Обобщённый SQ1 (ранненепский)

В начале непского времени на этапе LST территория северо-восточной части НБА представляла собой денудационную сушу с расчлененным рельефом, пологим уклоном в юго-восточном направлении, куда происходил снос грубообломочного материала с прилегающих возвышенностей и выступов фундамента. По результатам минералогических исследований определено, что источником материала служили магматические кислые и основные породы (табл. 2).

На большей части изучаемой территории на породах фундамента ложатся пролювиальные осадки, представленные устьевым конусом выноса эрозионных долин – аллювиальными фэнами. Такую седиментацию могли спровоцировать вертикальные положительные тектонические движения. Пролувиальные осадки характерны для гумидного климата.

На следующем этапе развития происходит трансгрессия (TST), выражающаяся в смещении береговой линии в сторону суши. Трансгрессия привела к формированию на большей части НБА побережья с преобладающей приливно-отливной терригенной

седиментацией. Приливно-отливные терригенные равнины рассечены сетью приливно-отливных каналов.

Таблица 2

Схема соотношения фациальных комплексов, системных трактов и стратиграфических единиц по результатам изучения опорных скважин

Горизонт	Свита	SQ	Системный тракт	Фациальные комплексы		Системный тракт	SQ	Свита	Обобщенные SQ	
Непский свод скв. 3X				Мирнинский выступ скв. 1X						
Тирский	Тирская	4	HST	субралитораль, карбонатная литораль, мелководный шельф	Нет ядерных данных. По ГИС разрез тирского горизонта полный		4	Бюкская	5	
			TST	мелководный шельф с терригенно-глинистой седиментацией	мелководный шельф	TST				
		3	HST	супралитораль, карбонатная литораль, мелководный шельф	дельтовые	HST	3		4	
			TST	мелководный шельф с терригенно-глинистой седиментацией	мелководного шельфа и продельты	TST				
		стратиграфический перерыв				флювиальные	LST			
		Непская	Верхнепелская	2	HST	себха, терригенная литораль	стратиграфический перерыв			
TST	литораль, флювиальные с приливным влиянием									
LST	флювиальные									
внутринепский стратиграфический перерыв				мелководно-морские	HST	2	2			
					TST					
Нижнепелская	1	1	HST	терригенная литораль, прибрежно-морские	прибрежно-морские	HST	1	Курсовская	1	
			TST	терригенная литораль		TST				
			LST	пролювий	пролювий	LST				
преднепский стратиграфический перерыв										

Накопление песчаников приливо-отливных каналов происходило в изменчивых гидродинамических условиях при ритмичной смене направления потока во время периодических приливо-отливных колебаний уровня моря. Перемещение обломочного материала по приливо-отливным каналам обусловило сортировку песчаников и их максимальную зрелость. В это время происходил переыв ранее накопленных терригенных отложений, что выразилось в их максимальной зрелости.

Максимум трансгрессии пришелся на следующий этап HST. В разрезе наблюдается неравномерное чередование осадков приливо-отливной отмели и транзитной зоны. В верхней части комплекса наблюдается неравномерное чередование осадков предфронтальной зоны пляжа, иногда с шельфовой лагуной и наложенной себховой равниной. Для ранненепского времени построен концептуальный седиментологический профиль (рис. 12А).

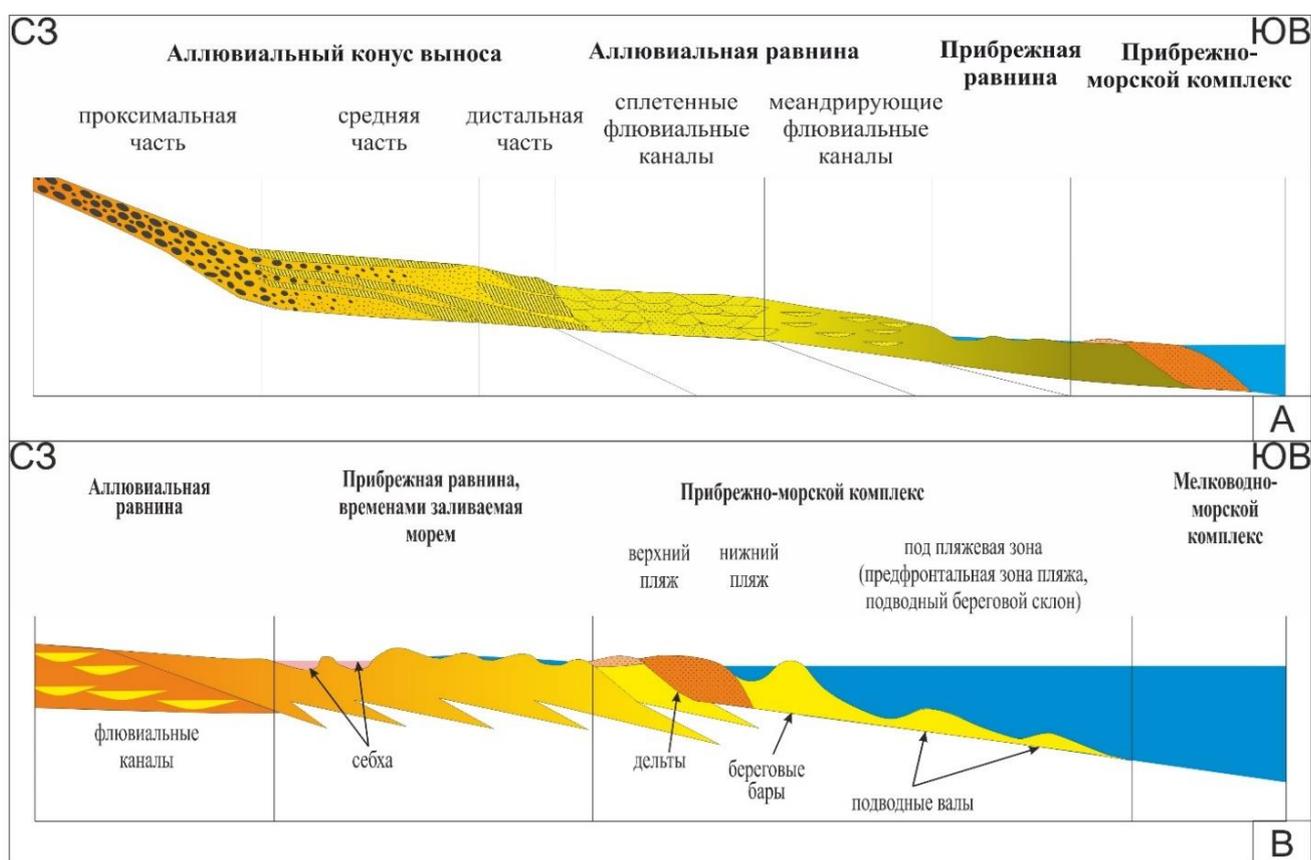


Рис. 12. Концептуальные седиментологические модели-профили для северо-востока Непско-Ботубинской антеклизы

А - ранненепское время; В - поздненепское время.

SQ2 (средненепский)

В средней части курсовкой свиты выделена SQ2, распространение которой контролируется внутринепским стратиграфическим перерывом, выделяемым на Непском

своде [Шемин, 2007]. Поэтому SQ2 распространен только на Мирнинском выступе. Из детального описания системных трактов следует, что на данном этапе только самый северо-восток НБА частично покрыт мелководным морем, большая его часть представляла собой лагуну, где происходило карбонатно-сульфатно-глинистое осадконакопление. На этапе LST происходило формирование песчаных конусов выноса на шельфе. TST на большей части Мирнинского выступа представлен глинистыми лагунными отложениями, HST – глинистыми, карбонатно-глинистыми отложениями лагуны и мелководного шельфа.

По мнению автора, в это время происходили небольшие отрицательные тектонические движения северо-востока НБА, Мирнинского выступа и части прилегающей территории, что отразилось в превышении абсолютных высот Непского свода над Мирнинским выступом. В это время территория Непского свода могла быть относительно гипсометрически выше, из-за чего здесь происходило выветривание и транспортировка глинистого материала в мелководно-морской бассейн, покрывающий Мирнинский выступ.

Обобщённый SQ3 (поздненепский)

Следующий секвенс отражает поздненепский этап развития территории, когда положительные тектонические движения смогли привести к формированию на этапе LST врезанной русловой системы прибрежной равнины, далее на северо-восток переходящей в прибрежно-морские отложения. В результате трансгрессии на этапах TST и HST береговая линия сместилась в сторону континента, где формировались смешанные, преимущественно песчано-глинистые прибрежно-морские отложения. К позднему этапу развития при аридизации климата в разрезе появляются отложения себх, повышается доля сульфатов.

Положение третьей и четвертой обобщенных секвенций представлено на субширотном профиле (рис. 13). Во время формирования третьей секвенции, по мнению автора, на территории Мирнинского выступа и прилегающей территории осадконакопление не отмечено. Основной снос терригенного материала происходил на Непском своде, поэтому третья секвенция на Мирнинском отсутствовала, зафиксирован фациальный перерыв.

Для поздненепского времени построена седиментологическая модель (см. рис. 5.16B).

Обобщённый SQ4 (поздненепский-раннетирский¹)

LST SQ4 присутствует в центральной части Мирнинского выступа и в краевых зонах Непского свода и представлен русловыми врезанными каналами и песчаными конусами выноса на шельфе.

¹ раннетирский по мнению автора.

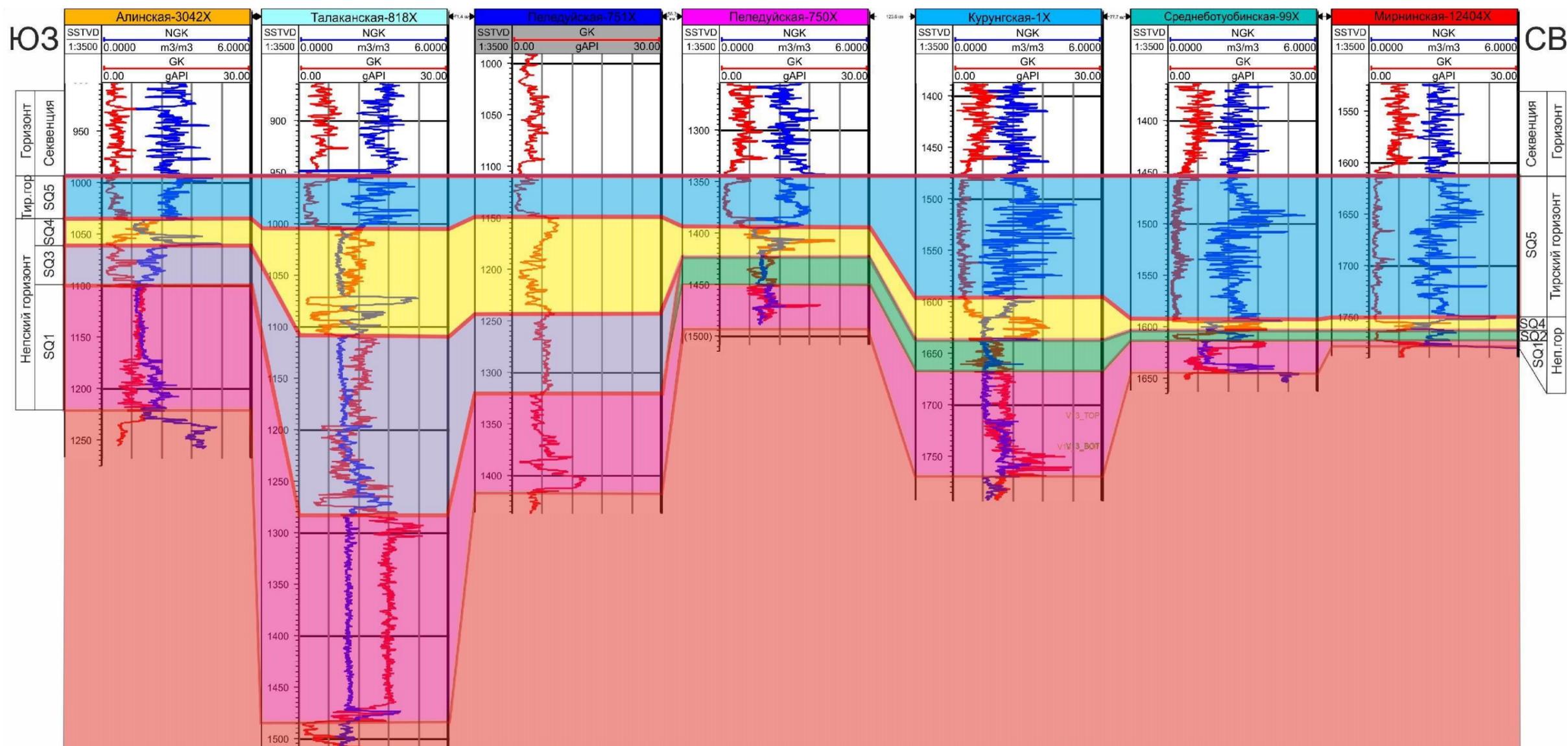


Рис. 13. Секвенс-стратиграфический профиль Непского свода и Мирнинского выступа

На этапе TST весь северо-восток НБА оказался затопленным мелководно-морским бассейном, где накапливались глинистые и мелководные карбонатные осадки. В это время реки из северо-западных районов несли песчаный материал в мелководный морской бассейн. На этапе HST происходила проградация песчаных конусов выноса в глубь бассейна, формируя дельты, бары и заливы на прибрежном мелководье.

Одна из таких дельт изучена автором в центральной части Мирнинского выступа (Среднеботуобинская дельта), которая имеет сложное строение и развивалась в два этапа. На первом конструктивном этапе, в раннебюкское время, вынос материала в бассейн осуществляли две флювиальные системы, формирующие отдельные дельты, что подтверждается бимодальностью распределения гранулометрического состава песчаников береговых валов. Во второй части раннебюкского времени, на деструктивном этапе, преобладают волновые процессы. Формируются береговые валы, состоящие из хорошо окатанных и отсортированных песков. Распределительные каналы разрезают береговые валы, вынося терригенный материал в зону верхнего склона фронта дельты, образуя устьевые бары. В позднебюкское время происходит смена условий осадконакопления на мелководную литораль с бентосными микробиальными сообществами, формирующими строматолиты [Плюснин, 2019].

При построении седиментологической модели нижнебюкской подсветы автором взята за основу ранее разработанная модель [Allen, 1968] (рис. 14А).

Обобщённый SQ5 (тирский)

На Непском своде в связи со стратиграфическими перерывами толщина тирского горизонта минимальна, поэтому видна только его самая верхняя часть.

По результатам изучения нижней части верхнебюкской подсветы тирского горизонта Мирнинского выступа в разрезе наблюдается постепенный переход от дельтовых песчаников HST SQ4, через карбонатно-песчаные приливно-отливные породы, к строматолитам литорали TST SQ5. При этом в разрезе постепенно уменьшается примесь терригенного материала до полного его исчезновения. Для тирского бассейна седиментологическая построена модель (см. рис. 14В).

Результаты

С помощью секвенс-стратиграфического анализа Непского свода и Мирнинского выступа показано строение и этапы формирования отложений непского и тирского горизонтов. Впервые выделено пять трансгрессивно-регрессивных секвенций третьего порядка продолжительностью порядка 3-5 млн. лет, соответствующие непско-тирскому этапу формирования осадочного чехла НБА Сибирской платформы.

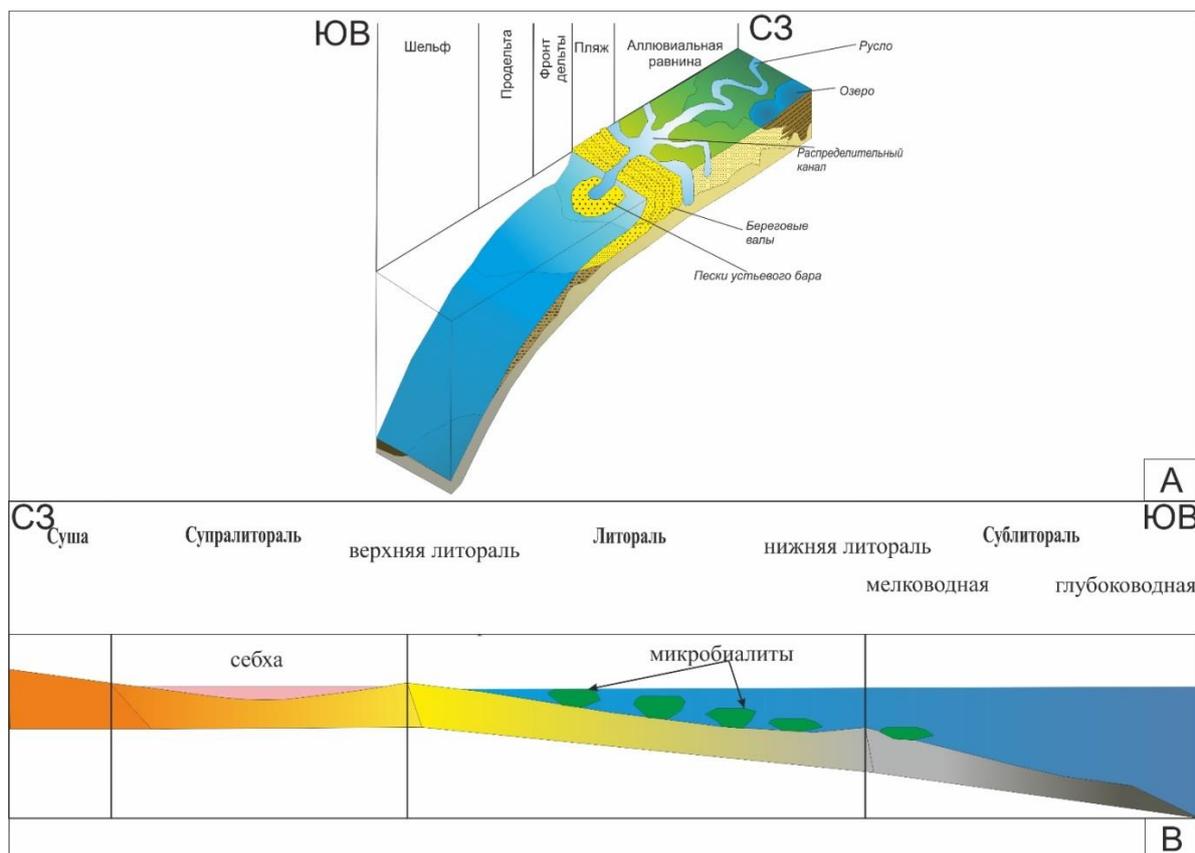


Рис. 14. Седиментологические модели-профили северо-востока Непско-Ботубинской антеклизы

*A - раннебюкское/тирское время. Модель построена для центральной части Мирнинского выступа.
B - позднебюкское/тирское время.*

Автором предложена корреляция двух фациальных зон, основанная на секвенс-стратиграфическом расчленении разреза. Выделены и обоснованы стратиграфические перерывы.

По результатам седиментологических исследований построены модели-профили.

Построенная карта фациальной зональности для непского и тирского горизонтов представлена на рис. 15. Для непского времени показано увеличение толщин в северо-восточном направлении. Выделены четыре крупные фациальные зоны: пролювиальная, аллювиальная, переходная, морская (см. рис. 15А). Для тирского времени с запада на восток наблюдается изменение зональностей: зона крайнего мелководья, тирская карбонатная платформа, мелководно-морская/морская (см. рис. 15В).

Заключение

Выполненные седиментологические и секвенс-стратиграфические исследования керн с учетом региональных материалов позволили выделить в интервале курсовской и бюкской свит Ботубинской фациальной зоны 4 секвенции 3-го порядка - SQ1, SQ2, SQ3 и SQ4. По керну обоснованы системные тракты и опорные поверхности – границы секвенций, трансгрессивные границы, уровни максимального затопления. Автором предложено по

выделенной между секвенциями SQ2 и SQ3 границе Sb2 проводить раздел между курсовским и бюкским этапами формирования бассейна. Данная граница проходит между средней и верхней пачками курсовской свиты и является фациальной границей.

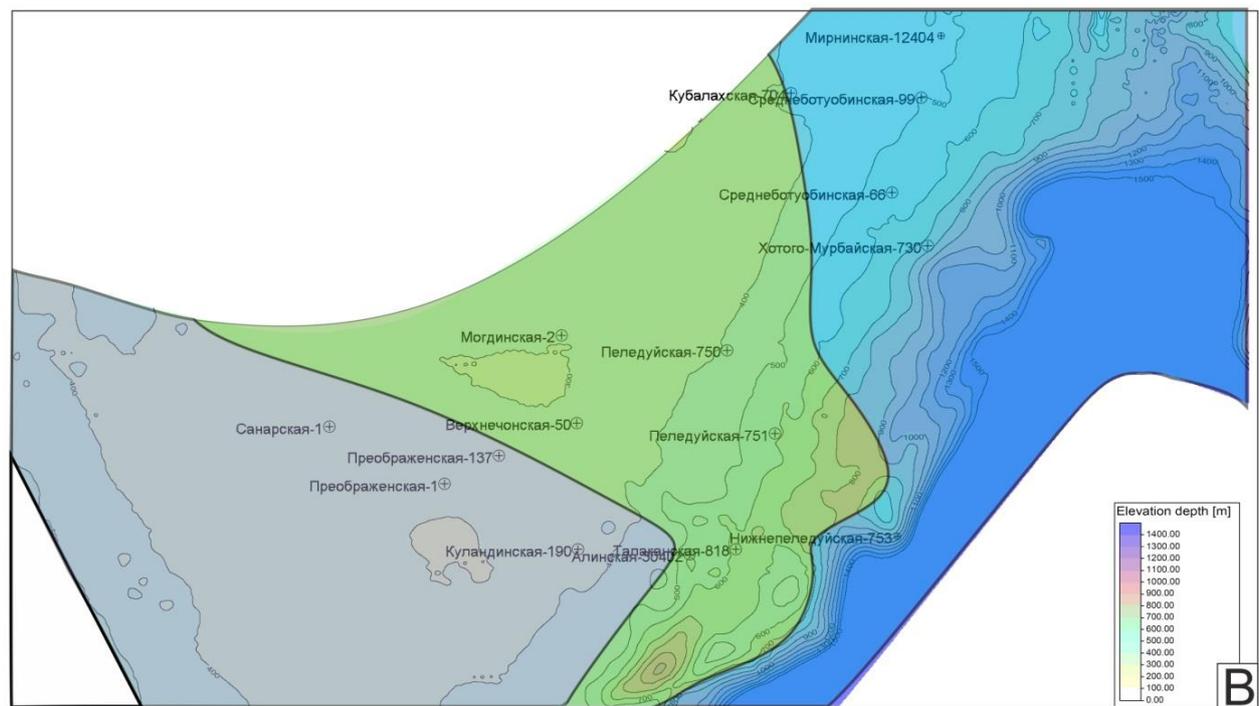
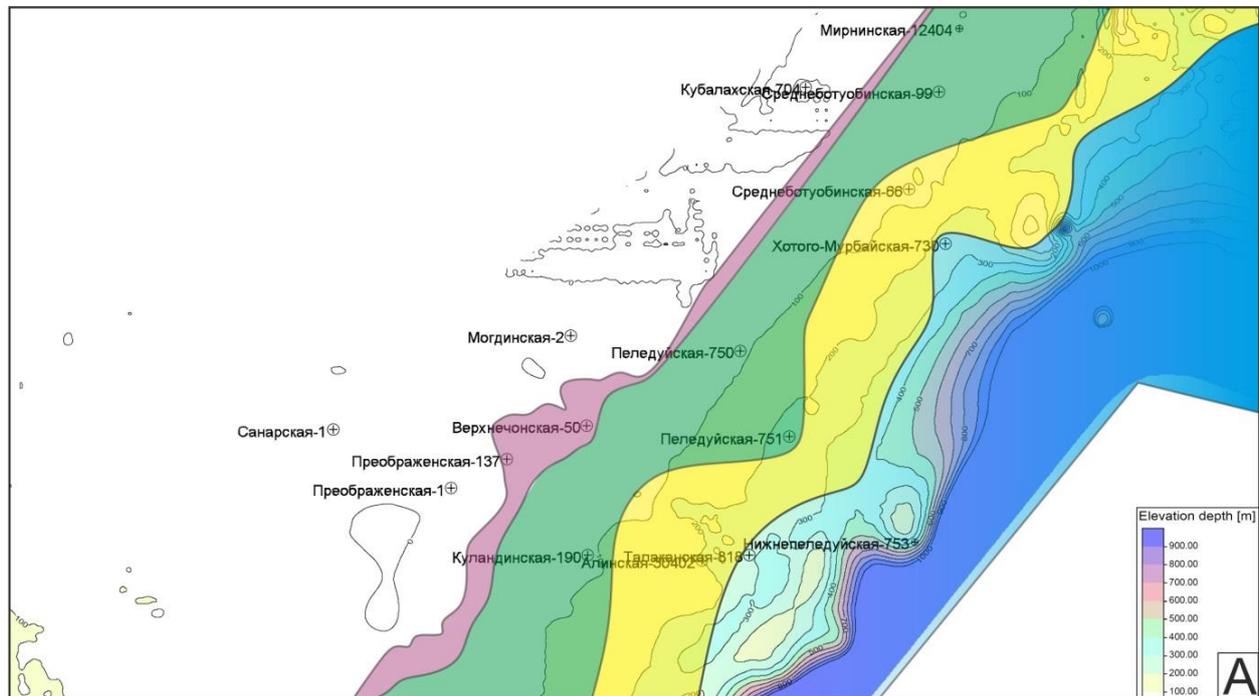


Рис. 15. Карта фациальной зональности непского (А) и тирского (В) времен

A - пролювиальная зона; B - аллювиальная зона; C - переходная зона; D - зона крайнего мелководья; E - Тирская карбонатная платформа; F – морская зона.

Изучаемый разрез венда состоит из 5 секвенций третьего порядка и осложнен перерывами в осадконакоплении. Восстановить общую стратиграфическую последовательность формирования Приленско-Непской и Ботубинской фациальных зон стало возможным с помощью методики секвенс-стратиграфического моделирования для территории Непского свода и Мирнинского выступа.

Выделены пять обобщенных секвенций. Выявлено, что на Непском своде в результате стратиграфических перерывов, связанных с положительными тектоническими движениями, из разреза выпадает мелководно-морской комплекс SQ2, выделенный на Мирнинском выступе. По тем же причинам на Мирнинском выступе в разрез не входит SQ2, выявленный на Непском своде. Из-за отсутствия детальных секвенс-стратиграфических исследований базальные отложения верхненепской подсвиты пласт ВЧ2 (LST SQ2 Непский свод) и песчаники хамакинского пласта (LST SQ3 Мирнинского выступа) считались одновозрастными. Секвенс-стратиграфические исследования на Мирнинском выступе показали, что песчаники пласта Хм являются LST, а песчаники пласта Бт HST SQ3 - составными частями единой секвенции.

Основные выводы исследования:

1. Осадки вендского палеобассейна накапливались в условиях пассивной континентальной окраины в широком диапазоне с зональностью с северо-запада на юго-восток в современном плане: от пролювиальных и аллювиальных до лагунных и мелководно-морских обстановок. Уточнены фациальные модели непского и тирского горизонтов Непского свода и Мирнинского выступа.

2. В северо-восточной части Непско-Ботубинской антеклизы в интервале непского и тирского горизонтов выделено пять секвенций третьего порядка, отождествленных с карбонатно-глинисто-терригенными осадками, заполняющими бассейн с северо-запада на юго-восток в современном плане. Воссоздана стратиграфическая полнота разреза при сравнении Непского свода и Мирнинского выступа.

3. Скорректировано положение ранее выявленных перерывов и выделены перерывы в подошве верхней пачки курсовской свиты и верхней части верхненепской подсвиты, что помогло уточнить границы между непским и тирским горизонтами.

4. По результатам секвенс-стратиграфического площадного моделирования выделены и уточнены фациальные зоны с наилучшими коллекторами, выявлена приуроченность продуктивных пластов к системным трактам.

Автор выражает благодарность д. г.-м. н., профессору МГУ Л.Ф. Копаевич, к. г.-м. н., эксперту по литологии и седиментологии ООО «ТННЦ» А.П. Вилесову за проявленный

интерес к работе, плодотворные дискуссии и ценные советы.

Литература

Жемчугова В.А. Практическое применение резервуарной седиментологии при моделировании углеводородных систем. - Москва: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2014. – 342 с.

Ковалевский О.П., Маргулис Л.С. Дополнение 1. Секвенс-стратиграфические подразделения // Дополнения к стратиграфическому кодексу России. – Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, 2000. – С. 59–66.

Кокоулин М.Л., Ковтун А.С., Рудаевская В.А. Корреляция нефтегазоносных отложений позднего докембрия и раннего кембрия северо-восточной части Непско-Ботуобинской антеклизы // Корреляция доусольских отложений центральных районов Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции: тезисы III семинара. – Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1982. – С.18–20.

Конторович А.Э., Сурков В.С., Трофимук А.А. Непско-Ботуобинская антеклиза – новая перспективная область добычи нефти и газа на востоке СССР. – Новосибирск: Наука, 1986. – 246 с.

Конторович А.Э., Беляев С.Ю., Конторович А.А., Красавчиков В.О., Мандельбаум М.М., Моисеев С.А., Сафронов А.Ф., Ситников В.С., Хоменко А.В. Тектоника венд-силурийско структурного яруса осадочного чехла Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции (Сибирская платформа) // Геология и геофизика. – 2004. – № 45(1). – С. 100–109.

Лебедев М.В., Моисеев С.А. Результаты детальной корреляции терригенных отложений венда северо-востока Непско-Ботуобинской антеклизы // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2012. – № 8. – С. 4-13.

Мельников Н.В., Ефимов А.О., Килина Л.И. Детальная корреляция разрезов венда и кембрия юга Сибирской платформы. // Геология и нефтегазоносность Восточной Сибири. – Новосибирск, 1978. – С. 3–26.

Мельников Н.В., Якишин М.С., Шмикин Б.Б. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления. - Новосибирск: Академия издательство «Гео», 2005. – 428 с.

Мельников Н.В. Венд-кембрийский солеродный бассейн Сибирской платформы (Стратиграфия, история развития). – Новосибирск: СО РАН, 2009. – 148 с.

Плюснин А.В., Неделько О.В., Вилесов А.П., Черепкова А.А., Максимова Е.Н. Секвенс-стратиграфическая модель непской и тирской свит венда центральной части Непского свода (Непско-Ботуобинская антеклиза, Сибирская платформа) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2019. - Т.14. - №2. - http://www.ngtp.ru/rub/2019/13_2019.html. DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/13_2019

Плюснин А.В. Концептуальная седиментологическая модель ботуобинского продуктивного горизонта Среднеботуобинского нефтегазоконденсатного месторождения // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. - 2019. - № 2. – С. 61–69.

Решения четвертого Межведомственного регионального стратиграфического совещания по уточнению и дополнению стратиграфических схем венда и кембрия внутренних районов Сибирской платформы. - Новосибирск: СНИИГГиМС, 1989. – 64 с.

Allen J.R.L. Current Ripples. North Holland, Comp. Amsterdam. - 1968. - 433 p.

Posamentier H.W., Allen G.P. Siliciclastic sequence stratigraphy: concepts and applications. SEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology. - 1999. - № 7. - P. 210.

Plyusnin A.V.

Tyumen Oil Research Center (TNNC), Tyumen, Russia, avplyusnin@tnc.rosneft.ru

STRUCTURAL MODEL OF THE VENDIAN SECTION BELONGING TO THE NORTH-EASTERN PART OF THE NEPA-BOTUOBA ANTECLISE, BASED ON THE STRUCTURAL CROSS-SECTIONS AND SEQUENCE-STRATIGRAPHIC MODELING CONCERNING NEPA ARCH AND MIRNY RIDGE AREAS

The author's studies on the north-eastern part of the Nepa-Botuoba anteklise are considered and summarized, which are based on sedimentological, stratigraphical, geological and geophysical data. The author distinguished in the Mirny Ridge 4 transgressive-regressive sequences of the 3rd order in the interval of the Kursov and Buk Formations of the Botuoba area. The system paths and supporting surfaces are determined - the boundaries of sequences, transgressive boundaries, and the levels of maximum flooding too. When regionally examining the study area, the Vendian section it was possible to divide this zone into 5 third-order sequences and breaks in sedimentation. The geological history of the territory during the Nepa and Tyra development is examined in detail.

Keywords: *sequence-stratigraphic modeling, Vendian, Buk Formation, Kursov Formation, Nepa Formation, Tyra Formation, Nepa Arch, Mirny Ridge, Nepa-Botuoba Anteklise, Siberian platform.*

References

Allen J.R.L. Current Ripples. North Holland, Comp. Amsterdam, 1968, 433 p.

Kokoulin M.L., Kovtun A.S., Rudavskaya V.A. *Korrelyatsiya neftegazonosnykh otlozheniy pozdnego dokembriya i rannego kembriya severo-vostochnoy chasti Nepsko-Botuobinskoy anteklizy* [Correlation of petroleum accumulations of the Late Precambrian and Early Cambrian of northeastern part of the Nepa-Botuoba Anteklise]. *Korrelyatsiya dousol'skikh otlozheniy tsentral'nykh rayonov Leno-Tungusskoy neftegazonosnoy provintsii: tezisy III seminaru.* Yakutsk: YaF CO AN SSSR, 1982, pp.18–20.

Kontorovich A.E., Belyaev S.Yu., Kontorovich A.A., Krasavchikov V.O., Mandel'baum M.M., Moiseev S.A., Safronov A.F., Sitnikov V.S., Khomenko A.V. *Tektonika vend-siluriysko strukturnogo yarusa osadochnogo chekhla Leno-Tungusskoy neftegazonosnoy provintsii (Sibirskaya platforma)* [Vendian-Silurian tectonics of the Lena-Tunguska petroleum province sedimentary cover (Siberian platform)]. *Geologiya i geofizika*, 2004, no. 45(1), pp. 100–109.

Kontorovich A.E., Surkov V.S., Trofimuk A.A. *Nepsko-Botuobinskaya antekliza – novaya perspektivnaya oblast' dobychi nefti i gaza na vostokey SSSR* [Nepa-Botuoba Anteklise – the new perspective area for oil and gas production in the eastern of the USSR]. Novosibirsk: Nauka, 1986, 246 p.

Kovalevskiy O.P., Margulis L.S. *Dopolnenie 1. Sekvens-stratigraficheskie podrazdeleniya* [Addition 1. Sequence-stratigraphy divisions]. *Dopolneniya k stratigraficheskomu kodeksu Rossii.* St. Peterburg: VSEGEI, 2000, pp. 59–66.

Lebedev M.V., Moiseev S.A. *Rezultaty detal'noy korrelyatsii terrigennykh otlozheniy venda severo-vostoka Nepsko-Botuobinskoy anteklizy* [Results of detailed correlation of terrigenous section of Vendian belonging to the northeastern part of the Nepa-Botuoba Anteklise]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*, 2012, no. 8, pp. 4-13.

Mel'nikov N.V., Yakshin M.S., Shishkin B.B. *Stratigrafiya neftegazonosnykh basseynov Sibiri. Rifey i vend Sibirskoy platformy i ee skladchatogo obramleniya* [Stratigraphy of oil and gas bearing basins of Siberia. Rifean and Vendian Siberian platform and its folded frame]. Novosibirsk: Akademiya izdatel'stvo «Geo», 2005, 428 p.

Mel'nikov N.V. *Vend-kembriyskiy solerodnyy basseyn Sibirskoy platformy (Stratigrafiya, istoriya razvitiya)* [Vendian-Cambrian salt basin of the Siberian platform (Stratigraphy, development, history)]. Novosibirsk: SO RAN, 2009, 148 p.

Mel'nikov N.V., Efimov A.O., Kilina L.I. *Detal'naya korrelyatsiya razrezov venda i kembriya*

yuga Sibirskoy platformy [Detailed correlation of Vendian and Cambrian cross-sections of the South of the Siberian platform]. *Geologiya i neftegazonosnost' Vostochnoy Sibiri*. Novosibirsk, 1978, pp. 3–26.

Plyusnin A.V. *Kontseptual'naya sedimentologicheskaya model' botuobinskogo produktivnogo gorizonta Srednebotuobinskogo neftegazokondensatnogo mestorozhdeniya* [Conceptual sedimentological model Botuoba productive unit of Srednebotuoba oil and gas condensate field]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya*, 2019, no. 2, pp. 61–69.

Plyusnin A.V., Nedelko O.V., Vilesov A.P., Cherepkova A.A., Maksimova E.N. *Sekvens-stratigraficheskaya model' nepskoy i tirskey svit venda tsentral'noy chasti Nepskogo svoda (Nepko-Botuobinskaya antekliza, Sibirskaya platforma)* [Sequence stratigraphic model of Nepa and Tira Vendian Formations located in the central part of the Nepa Arch (the Nepa-Botuoba antecline, Sibeian Platform)]. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika*, 2019, vol. 14, no. 2, available at: http://www.ngtp.ru/rub/2019/13_2019.html. DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/13_2019

Posamentier H.W., Allen G.P. *Siliciclastic sequence stratigraphy: concepts and applications*. *SEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology*, 1999, no. 7, p. 210.

Resheniya chetvertogo Mezhvedomstvennogo regional'nogo stratigraficheskogo soveshchaniya po utochneniyu i dopolneniyu stratigraficheskikh skhem venda i kembriya vnutrennikh rayonov Sibirskoy platformy [Decisions of the fourth Interdepartmental regional stratigraphical meeting on specification and addition stratigraphical of schemes of Vendian and Cambrian of internal regions of the Siberian platform]. Novosibirsk: CNIIGGiMS, 1989, 64 p.

Zhemchugova V.A. *Prakticheskoe primeneniye rezervuarnoy sedimentologii pri modelirovanii uglevodorodnykh system* [Practical application of reservoir sedimentology when modeling hydrocarbon systems]. Moscow: RGU nefti i gaza imeni I.M. Gubkina, 2014, 342 p.