

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2026.1.13>

УДК 550.8.05, 550.849, 550.4.01

Палеогеографические условия формирования осадочного чехла моря Лаптевых по результатам сейсмофациального анализа

Е.А. Лавренова^{1}, Г.А. Заварзина²*¹Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, Москва, Россия²ФГБУ «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург, Россия

Море Лаптевых является объектом активных поисково-разведочных работ на углеводороды, однако оценки углеводородного потенциала его недр значительно варьируют как в части общего количества углеводородов, так и в части их фазового состава, что обусловлено отсутствием единой геологической основы и, как следствие, использованием при расчётах различных бассейнов-аналогов. На основании комплексной интерпретации геолого-геофизических данных, результатов сейсмофациального анализа с целью создания надёжной геологической модели для оценки ресурсного потенциала моря Лаптевых, реконструированы палеогеографические условия формирования основных комплексов осадочного чехла: аптско-верхнемелового, палеоцен-эоценового, олигоценового и миоцен-четвертичного. Показано, что в пределах современного шельфа моря Лаптевых со второй половины мела существовал морской бассейн, границы которого устанавливаются по данным обнажений на сопредельной островной и континентальной суше, скважин и характерному рисунку сейсмической записи. Основными факторами, контролировавшими условия формирования осадочного чехла и смену палеогеографических условий в пределах современной Лаптевоморской континентальной окраины, являлись глобальные тектонические события: раскрытие котловины Макарова-Подводников, рифтогенез и пострифтовое погружение в Евразийском бассейне.

Ключевые слова: море Лаптевых, сейсмофациальный анализ, палеогеография, осадочные комплексы, обстановки осадконакопления

Для цитирования: Лавренова Е.А., Заварзина Г.А. (2026). Палеогеографические условия формирования осадочного чехла моря Лаптевых по результатам сейсмофациального анализа. *Георесурсы*, 28(1), с. 86–103. <https://doi.org/10.18599/grs.2026.1.13>

Введение

Море Лаптевых является объектом активных поисково-разведочных работ на углеводороды. В настоящее время ПАО «НК «Роснефть» ведет изучение его шельфа на пяти лицензионных участках: Хатангском, Усть-Ленском, Усть-Оленекском, Анисинско-Новосибирском и Притаймырском, охватывающих практически всю акваторию (рис. 1). Общий ресурсный потенциал моря Лаптевых, по предварительным оценкам ПАО Роснефть, может достигать 9.5 млрд тонн в нефтяном эквиваленте¹. По другим оценкам (Скворцов и др., 2020), начальные суммарные геологические ресурсы моря Лаптевых варьируют от 5.5 до 8.8 млрд т условного топлива (УТ).

Отличаются прогнозы и в части соотношения нефти и газа в общем количестве ресурсов от 14% до 64% (Скворцов и др., 2020). При проведении оценок углеводородного потенциала применялся метод геологических

аналогий, поэтому отмеченные отличия обусловлены использованием различных аналогов: бассейн Бофорта-Маккензи, Северное море, шельф острова Сахалин и др., а также количеством интервалов разреза, для которых выполнялась оценка. Сложившаяся ситуация является результатом отсутствия понимания особенностей развития осадочного чехла шельфа моря Лаптевых и надёжной геологической модели для оценки ресурсного потенциала акватории, включая обоснование аналогов.

Целенаправленные системные исследования, направленные на реконструкцию обстановок осадконакопления комплексов осадочного чехла моря Лаптевых, включая сейсмофациальный анализ, ранее не выполнялись. Мелкомасштабные палеогеографические карты на современной географической основе без учета плитной тектоники, охватывающие Северный Ледовитый океан, опубликованы в атласах (Атлас палеогеографических карт, 1992, Тектоностратиграфический атлас, 2022). В работе (Somme et al., 2018) приведены палеогеографические карты Циркумполярной Арктики с учетом плитотектонических реконструкций. В рамках работ по геологической

* Ответственный автор: Елена Александровна Лавренова
e-mail: lavrenovaelena@mail.ru

© 2026 Коллектив авторов

Статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией Creative Commons Attribution (CC BY) License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

¹ <https://www.rosneft.ru/press/releases/item/186075/>

съемке, био- и литостратиграфическому расчленению и фациальному районированию изучены обнажения на островной и континентальной суше (Никитенко и др., 2013, 2017; Косьюко и др., 2013).

С учетом изложенного целью настоящего исследования является реконструкция палеогеографических условий формирования плитного чехла основных осадочных комплексов Лаптевоморского шельфа.

Характеристика объекта исследования

Море Лаптевых принадлежит шельфовой области Северного Ледовитого океана. Северная часть акватории сопряжена с Евразийским бассейном, который представляет собой впадину с океанической корой и является продолжением атлантической рифтовой системы. На юге море Лаптевых граничит с Сибирской платформой, от которой оно отделено Верхояно-Колымской складчатой областью. Активный современный геодинамический режим акватории обусловлен его пограничным положением на стыке двух крупных литосферных плит: Евразийской и Северо-Американской, которые вращаются по часовой стрелке друг относительно друга. Одним из проявлений современных геодинамических процессов является высокая сейсмичность акватории и прилегающей островной и континентальной суши (рис. 1).

Основной проблемой при разработке геологических моделей моря Лаптевых является отсутствие скважин глубокого бурения, за исключением поисково-оценочной Центрально-Ольгинской, пробуренной ПАО «Роснефть» в Хатангском заливе с полуострова Хара-Тумус. Несмотря на полученные в последние годы результаты картировочного бурения (Петров и др., 2023; Малышев и др., 2024), вопросы возраста плитного чехла, консолидации фундамента, наличия переходного комплекса в разрезе, вариации этих характеристик по площади шельфа моря Лаптевых и др. остаются дискуссионными.

В настоящей работе принята модель, в соответствии с которой осадочный (плитный чехол) в пределах исследуемой территории включает четыре крупных осадочных комплекса: аптско-верхнемеловой, палеоцен-эоценовый, олигоценый и миоцен-четвертичный, разделенных поверхностями несогласия, соотносимыми с региональными тектоническими перестройками: коллизией Сибирской платформы и Аляскинско-Чукотского микроконтинента (предаптское несогласие), рифтогенезом в котловине Макарова-Подводников (на рубеже мела и палеогена), рифтогенезом (на рубеже эоцена и олигоцена) и началом пострифтового погружения (в начале миоцена) в Евразийском бассейне (Лавренова и др., 2024).

Отложения плитного чехла, изученные в обнажениях на островной и континентальной суше, а также в картировочных скважинах, представлены терригенными образованиями мелководно-морского и континентального генезиса.

Материалы и методы

Основу настоящего исследования составила подготовленная ранее (Лавренова и др., 2024) цифровая пространственно-временная модель формирования осадочного чехла Восточно-Арктических акваторий, включающая основные структурно-стратиграфические комплексы осадочного чехла: аптско-верхнемеловой, палеоцен-эоценовый, олигоценый и миоцен-четвертичный.

В качестве геологической основы для реконструкции обстановок осадконакопления использовались карты толщин основных осадочных комплексов (рис. 2–5), материалы геологической съемки на прилегающей островной и континентальной суше, результаты изучения вещественного и фаунистического состава отложений в скважинах и обнажениях, материалы сейсмического профилирования методом общей глубинной точки (МОГТ 2D), опубликованные и фондовые материалы, содержащие информацию о палеогеографических обстановках в пределах области исследований.



Рис. 1. Обзорная схема района работ. Условные обозначения: 1 – изучаемая территория, 2 – лицензионные участки НК «Роснефть», 3 – эпицентры землетрясений (2014–2020 гг.).

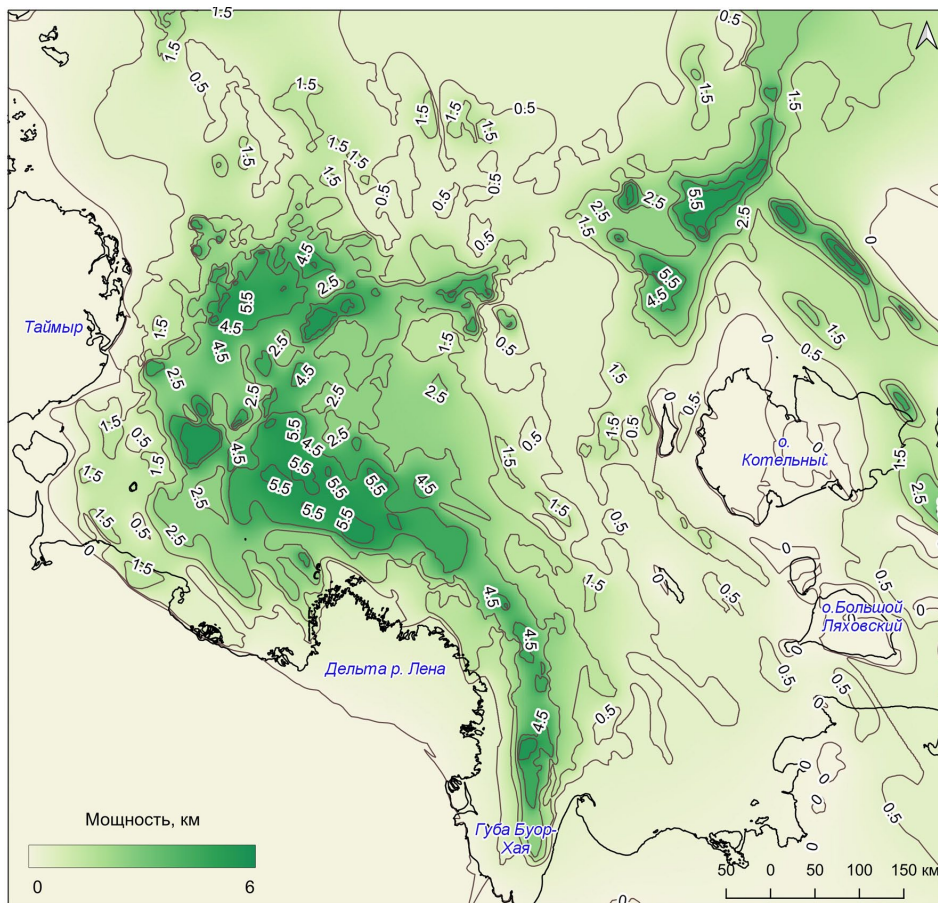


Рис. 2. Карта толщин аптско-верхнемелового стратиграфического комплекса

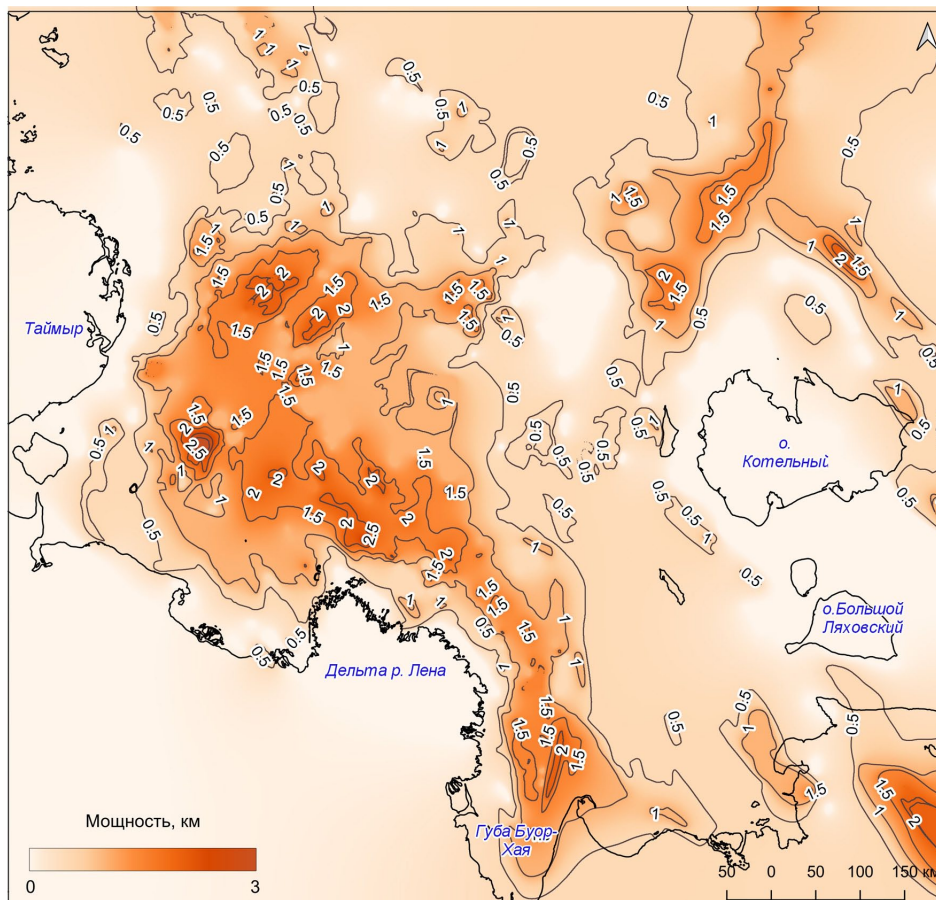


Рис. 3. Карта толщин палеоцен-эоценового стратиграфического комплекса

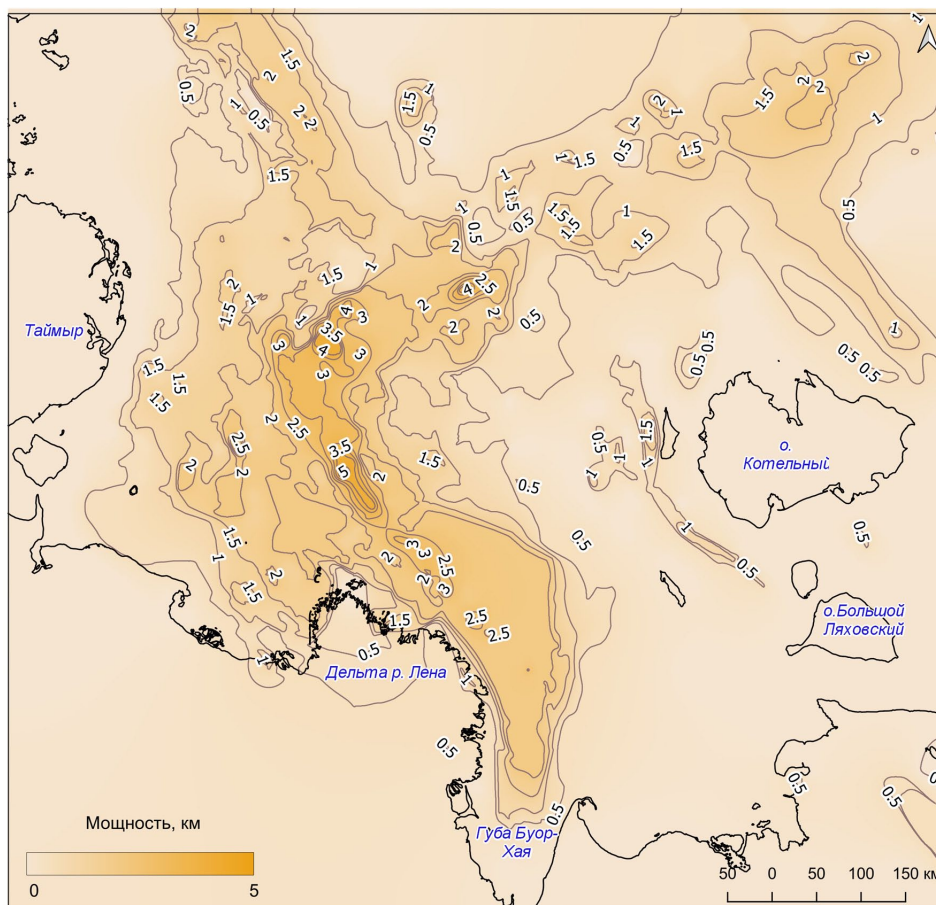


Рис. 4. Карта толщин олигоценового стратиграфического комплекса

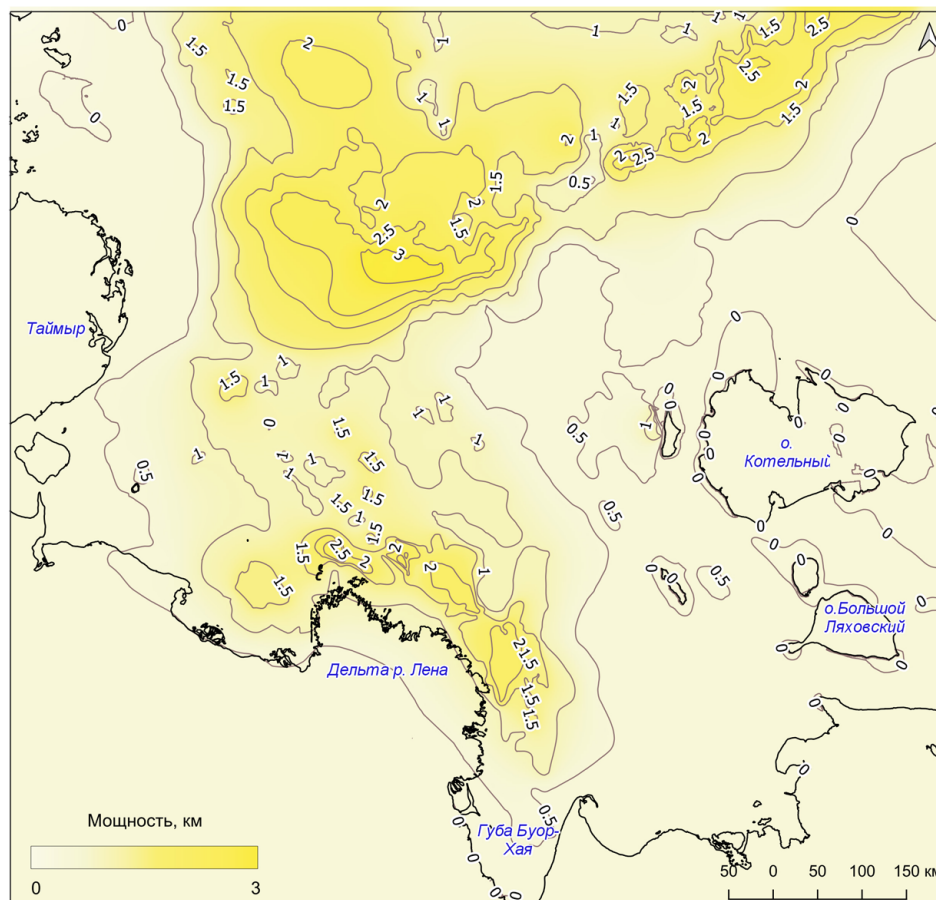


Рис. 5. Карта толщин миоцен-четвертичного стратиграфического комплекса

Использованная методика палеогеографических реконструкций предусматривает предварительное выделение палеогеографических доменов на основе анализа карт толщин отложений. Снижение неопределенности в части установления глубин палеобассейна, при таком подходе, достигается за счет привлечения дополнительной геологической информации: результатов прямого изучения пород соответствующего возраста в скважинах и обнажениях, включая гранулометрический, фациальный, микрофаунистический, палинологический, минералогический, геохимический и др. анализы. Положение пунктов изучения пород выносится на предварительную палеогеографическую схему, выполняется сопоставление установленной зональности с результатами изучения пород и последующая корректировка положения доменов.

В условиях ограниченности информации о свойствах пород, получаемой в результате их прямого изучения, возрастает роль сейсмических данных, которые привлекаются в качестве косвенной характеристики геологического строения осадочного разреза. При этом используются приемы классического сейсмофациального анализа (Митчем, 1977), согласно которому сейсмические фации представляют собой картируемые объекты, представленные группами отражений, параметры которых, включая конфигурацию рефлекторов, их непрерывность, амплитуду и частоту и интервальную скорость, отличаются от параметров соседних фациальных единиц. На временных разрезах внутри каждого сейсмокомплекса сейсмofации выделяются по группе отражений, характеризующихся схожими параметрами конфигурации: параллельные, субпараллельные, расходящиеся, прерывистые хаотические, проградационные, косослоистые и др. Параллельные, субпараллельные и волнистые отражения предполагают равномерную скорость осаднения в условиях шельфа или котловины. Расходящиеся рефлекторы указывают на латеральные вариации в скоростях осадконакопления или прогрессирующий наклон поверхности осадконакопления. Прерывистые рефлекторы, включая, лентиккулярные, хаотические и искривленные могут быть связаны с отложениями баров или «леви», бугристые – с присутствием в разрезе грубозернистых отложений, накапливающиеся во флювиальных обстановках и др.

Одним из наиболее информативных и хорошо идентифицируемых признаков осадконакопления, наблюдаемых на сейсмических разрезах, являются клиноформы, которые представляют собой проградирующий в сторону бассейна клин осадков. В рамках проведенного сейсмофациального анализа клиноформное строение на отдельных участках изучаемых комплексов рассматривалось в качестве признака, указывающего на аквальные обстановки осадконакопления. Высота, а также особенности строения клиноформ (сигмовидная, черепицеобразная, косослоистая тангенциальная, косослоистая параллельная, наличие или отсутствия ундаформной части и др.) использовались для прогноза глубины палеобассейна, его гидродинамического режима, положения источников

сноса осадочного материала и вертикальных тектонических движений.

По характерным особенностям волнового поля на временных разрезах Восточной Арктики выделяются четыре основных сейсмокомплекса (СК): аптско-верхнемеловой, палеоцен-эоценовый, олигоценый и миоцен-четвертичный, которые ограничены хорошо выраженными поверхностями несогласий: «А» (в подошве осадочного чехла), «mBU» (в кровле меловых отложений), «UB» (в подошве олигоценых отложений), «RU» (в подошве миоценовых отложений).

На временных разрезах **аптско-верхнемеловой** сеймостратиграфический комплекс («А – mBU») по особенностям волнового поля представляет собой толщу от динамически выраженных до слабоамплитудных отражений различной конфигурации. Нижняя часть комплекса характеризуется изменчивостью амплитудно-частотных параметров: в одних блоках это почти «немая» толща, в других отражения прерывистые субпараллельные, холмообразные, широкого частотного спектра. По структуре и характеру отражений этот интервал разреза может быть сопоставлен с континентальными сейсмofациями, представленными грубообломочными терригенными и угленосными фациями (Шкарубо, Заварзина, 2011). Верхний интервал аптско-верхнемелового комплекса представляет собой толщу с подошвенным налеганием косослоистых отражений: от прерывистых до протяженных с изменчивой, в основном низкой, частотой. Толща насыщена высокоамплитудными выдержанными отражениями. Конфигурация отражений сопоставима с прибрежными и мелководно-морскими фациями. Относительно глубоководные (дистальные) фации аптско-верхнемелового комплекса характеризуются в основном высокоамплитудными субгоризонтальными, субпараллельными ровными и слабоволнистыми прерывистыми до хаотичными отражениями (табл. 1).

Палеоцен-эоценовый сеймостратиграфический комплекс («mBU – UB») на временных разрезах выглядит акустически прозрачной толщей с редкими яркими отражениями. Континентальные фации комплекса представлены хаотичными холмистыми высокоамплитудными отражениями, что позволяет предполагать низкоэнергетические обстановки осадконакопления. Мелководно-морские обстановки представлены косонаклонными параллельными, прерывистыми, местами хаотичными отражениями (табл. 2).

Олигоценый сеймостратиграфический комплекс («UB – RU») характеризуется чередованием низкочастотных интенсивных отражений с высокочастотными. Характерной особенностью комплекса является наличие косослоистых и хаотичных отражений, связанных с прибрежными мелководно-морскими фациями. Параллельные ровные низкочастотные отражения определяют глубоководные обстановки осадконакопления (табл. 3).

Миоцен-четвертичный сеймостратиграфический комплекс («RU – дно моря») представлен интенсивными низко- и высокоамплитудными прерывистыми отражениями различной конфигурации (табл. 4).

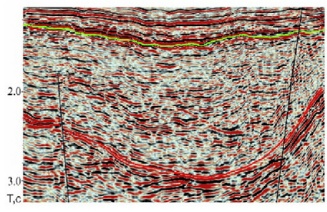
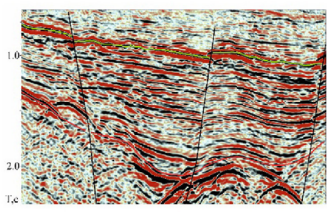
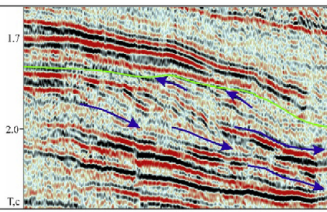
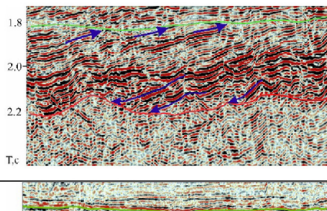
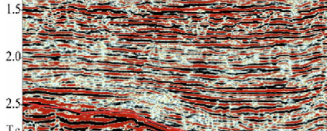
Палеогеографическая зона	Характеристика сейсмофации	Рисунок сейсмической записи	Прогноз литологии	Номер сейсмического профиля, номер точки на карте
Наземные области аккумуляции	Прерывистые субпараллельные, холмообразные отражения, широкого частотного спектра		Пески, глины, суглинки, торф	TS182D13 1
	Субпараллельные слабо наклонные и холмообразные, прерывистые, низкочастотные отражения		Пески, песчаники с подчиненными прослоями алевролитов, глин, галечников с пластами углей	LS0915 2
Морские: литораль (0-50 м)	Малоамплитудные косо-слоистые прерывистые низкочастотные отражения		Песчаники, алевролиты, глины, ракушечники	NWL1409 3
	Высокоамплитудные, косо-слоистые, холмовидные низкочастотные прерывистые отражения		Песчаники, алевролиты, глины	OML_192D49 4
Морские: сублитораль (50-200 м)	Высокоамплитудные, прерывистые, субгоризонтальные отражения		Песчаники, алевролиты, глины	5 L200615

Табл. 1. Характерные сейсмофации верхнемелового сейсмокомплекса. Примечание к таблицам 1–4: положение сейсмических профилей с примерами сейсмофаций показано на палеогеографических картах (рис. 6, 11, 12, 14) в соответствии с нумерацией, приведенной в последних столбцах таблиц 1–4

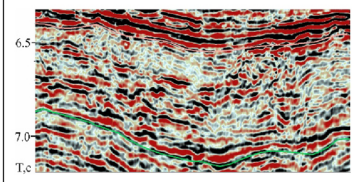
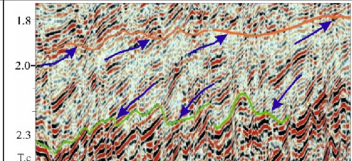
Палеогеографическая зона	Характеристика сейсмофации	Рисунок сейсмической записи	Прогноз литологии	Номер сейсмического профиля, номер точки на карте
Наземные области аккумуляции	Хаотичные, холмистые высокоамплитудные отражения с зонами малоамплитудных		Пески, песчаники с подчиненными прослоями алевролитов, глин, галечников	TS182D07 1
Морские: литораль (0-50 м)	Косонаклонные параллельные, прерывистые, местами хаотичные отражения		Песчаники, алевролиты, глины	192D49 2

Табл. 2. Характерные сейсмофации палеоцен-эоценового сейсмокомплекса

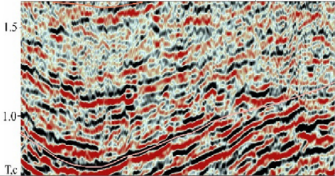
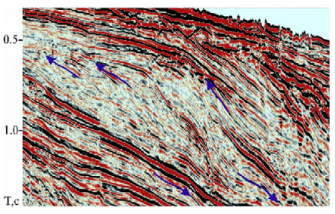
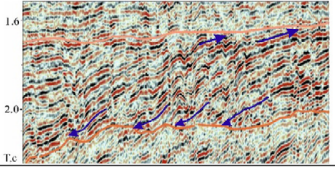
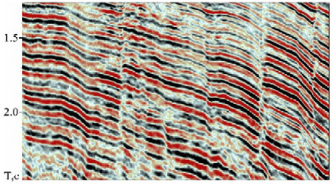
Палеогеографическая зона	Характеристика сейсмофации	Рисунок сейсмической записи	Прогноз литологии	Номер сейсмического профиля, номер точки на карте
Наземные области аккумуляции	Прерывистые, хаотичные высокоамплитудные отражения		Глины, аргиллиты с пластами бурых углей, прослои алевролитов, песчаников линзы галечников	94BGR004 1
Морские: сублитораль (50-200 м)	Косослоистые сигмовидной формы отражения, оси синфазности прерывистые, высокочастотные		Песчаники, алевролиты, глины	TS182D13 2
	Косые волнистые, высокоамплитудные отражения широкого частотного спектра		Песчаники, алевролиты, глины	192D49 3
Морские: верхняя батиналь (200-500 м)	Параллельные, ровные низкочастотные отражения		Глины, алевролиты, песчаники	LS0924 4

Табл. 3. Характерные сейсмофации олигоценового сейсмокомплекса

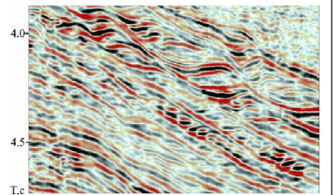
Палеогеографическая зона	Характеристика сейсмофации	Рисунок сейсмической записи	Прогноз литологии	Номер сейсмического профиля, номер точки на карте
Верхняя батиналь (2000-500 м)	Косые параллельные и сложно сигмоидальные, в виде «сейсмической волны» отражения		Песчаники, алевролиты, глины	SL182D01 1

Табл. 4. Характерные сейсмофации миоцен-четвертичного сейсмокомплекса

Результаты

Ряд последовательных крупных тектонических событий, происходивших в Арктике в конце юры и первой половине мела (Dore et al., 2016; Somme et al., 2018; Васильев и др., 2019; Павловская и др., 2022; Парфенов и др., 2003), обусловили кардинальную перестройку геодинамического режима Восточной Арктики, которая выразилась в смене структурных планов, заложении и развитии крупных седиментационных бассейнов с мощным осадочным чехлом. **Во второй половине мела** после закрытия Южно-Анюйского океана и присоединения Аляскинско-Чукотского микроконтинента к Сибирской

платформе, на значительной части современной акватории моря Лаптевых были развиты континентальные условия осадконакопления (рис. 6). Крупные области денудации, включающие сформированные к этому времени горноскладчатые сооружения – Таймырско-Североземельскую и Верхояно-Колымскую складчатые области, а также поднятия – Котельническое и Де-Лонга, по-видимому, являлись основными источниками сноса осадков для бассейнов, расположенных в пределах шельфа моря Лаптевых. Наиболее крупный из них с глубинами, не превышающими 200 м, располагался в центральной части современной акватории. Другой, включающий небольшие впадины,

с сублиторальными обстановками осадконакопления, находился к северо-западу от острова Котельный и поднятия Де-Лонга (рис. 6).

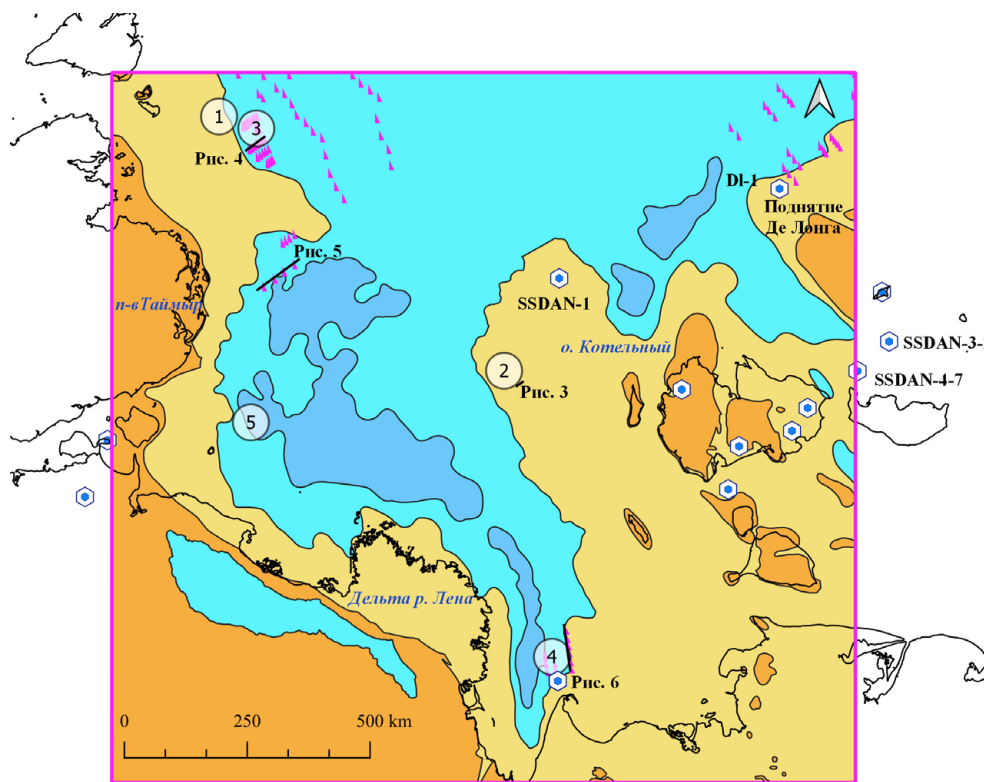
Меловые отложения континентального генезиса изучены в обнажениях на полуострове Таймыр, в Енисей-Хатангском прогибе, на архипелаге Новосибирские острова, где они со стратиграфическим несогласием залегают на верхнеюрско-нижнемеловых (доаптетских) часто нерасчлененных отложениях. В обнажении мыса Цветкова полуострова Таймыр породы нижнего мела представлены континентальными песками и песчаниками, алевролитами и глинами с прослоями угля и обильным детритом (Ванин и др., 2001). В Енисей-Хатангском прогибе верхнемеловая часть разреза сложена континентальными угленосными отложениями. В составе верхнемеловых пород, обнажающихся на Новосибирских островах, выделены бунгинская и деревянногорская свиты, сложенные вулканогенно-терригенными угленосными отложениями общей мощностью около 280 м (Костылева и др., 2019).

Помимо туффитов и менее распространенных туфогенных отложений, в деревянногорской свите присутствуют слои тонкозернистых кристалло-витрокластических и витрокластических вулканических пеплов. Это указывает на то, что терригенная седиментация сопровождалась эксплозивной вулканической деятельностью и накоплением в осадках продуктов кислого вулканизма

(Костылева, 2019). По данным Косьюко (Косьюко и др., 2013), аптско-альбские угленосные отложения Новосибирских островов накапливались на озерно-аллювиальной равнине. Угленосная толща перекрыта кислыми туфами, игнимбритами и лавами. Изотопный возраст эффузивов составляет 110–107 ± 2.5 млн лет (Непомилуев и др., 1979; Кузьмичев и др., 2009).

Породы верхнего мела (сеноман-турон) мощностью 350–400 м вскрыты картировочными скважинами на острове Котельный, Земле Бунге, в проливе Санникова, заливе Геденштрома, а также на острове Фаддеевском, где они залегают на коре выветривания нижнемелового риолита (Kos'ko, Trufanov, 2002) и представлены глинисто-алевритовой толщей пород с пластами песка, песчаника, галечника и бурого угля. Встречаются также туфогенные пески и песчаники. В гальке преобладают кислые эффузивы и кварц; песчаники и основные вулканиты редки (Косьюко и др., 2013).

В центре свода поднятия Де-Лонга верхнемеловые отложения отсутствуют, что подтверждается данными керна картировочной скважины DL-1, расположенной непосредственно на сейсмическом профиле DL11-01 (Петров и др., 2023). На крыльях поднятия Де-Лонга у границы с периклиналью появляется верхнемеловый сейсмокомплекс, перекрытый кайнозойскими отложениями. Вещественный состав пород верхнего мела прогнозируется по аналогии



Условные обозначения:

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Область исследования Пункты изучения пород Сейсмофации в таблице 1 Сейсмические разрезы на рисунках ┆ Признаки проградации на сейсмических разрезах | <p>Палеогеографические обстановки:</p> <ul style="list-style-type: none"> Наземные: области денудации Наземные: области аккумуляции Морские: Литораль (0-50 м) Морские: Сублитораль (50-200 м) |
|---|--|

Рис. 6. Палеогеографические обстановки аптско-позднемелового этапа формирования плитного чехла

с верхнемеловыми отложениями бунгинской и деревянгорской свиты, выделяемых на островах Земля Бунге, Фаддеевский и Новая Сибирь. Это угленосные отложения с корой выветривания в основании, состоящие из чередующихся пачек глин, часто аргиллитоподобных, алевролитов, песков, редко алевролитов и песчаников, иногда с линзами галечников, и пластов бурых углей. Мощность пород верхнего мела составляет от 200–300 м, в отдельных горстах до 2000 м в грабенах (Пяткова и др., 2015).

Волновая картина, характеризующая наземные области аккумуляции, представлена аллювиальными сейсмофациями, которые различаются по своим фаціальным признакам. Так на участках, расположенных в северной притаймырской части шельфа моря Лаптевых (табл. 1, т. 1) континентальные фации представлены прерывистыми субпараллельными, холмообразными, широкого частотного спектра отражениями, сложно заполняющими впадину. По своим признакам они похожи на озерные отложения – глины, суглинки, торф, часто представленные в форме линз среди русловых фаций. Характер волновой картины указывает на аллювиальные условия осадконакопления. Аккумуляция мощных, преимущественно аллювиальных косослоистых толщ происходила за счет размыва и интенсивного сноса обломочного материала с приподнятых областей Таймыра.

В восточной части шельфа моря Лаптевых (табл. 1, т. 2, рис. 7) континентальные фации характеризуются

субпараллельными наклонными, холмообразными, прерывистыми, низкочастотными отражениями, свидетельствующими о высокоэнергетической обстановке осадконакопления. Вероятно, в это время здесь отлагались мощные, преимущественно аллювиальные косослоистые отложения, перемежающиеся с аллювиально-озерными угленосными горизонтально-слоистыми породами. Обломочный материал сносился с поднятий архипелага Новосибирские острова (рис. 7).

На севере Сибирской платформы альбско-сеноманские отложения, сохранившиеся в ядре Лено-Анабарского прогиба, включают в себе признаки транзитных обстановок осадконакопления: малые мощности (первые десятки, чаще в пределах первых сотен метров), при преобладании грубозернистого материала в составе пород и при наличии линз брекчий (лукумайская свита), галек и валунов перетолженных пород. Большое количество границ размыва и перерывов в осадконакоплении (укинская и менгюряхская свиты) также указывает на «транзитное» происхождение этих отложений (Ванин и др., 2001). На островах Большой Бегичев и Преображения, расположенных в Хатангском заливе моря Лаптевых, верхнемеловые породы отсутствуют.

Результаты проведенных исследований показали, что в пределах центральной и северной частей современной Лаптевоморской акватории верхнемеловые отложения формировались в морских условиях, вероятно,

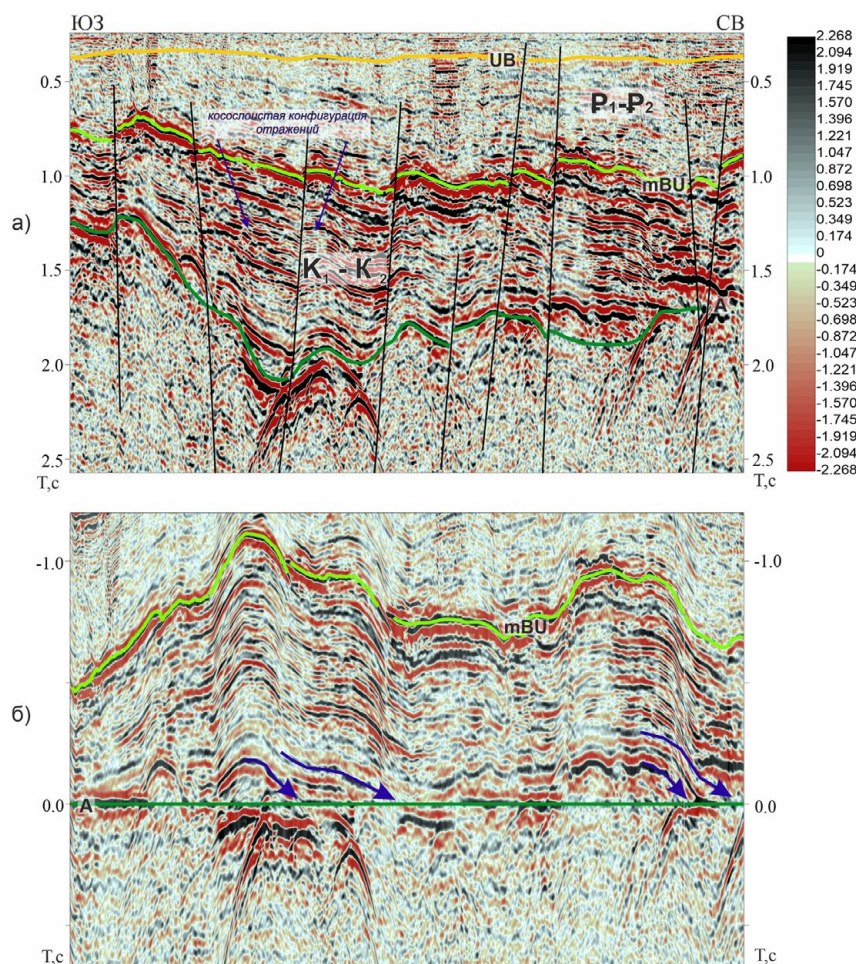


Рис. 7. Пример волновой картины аптско-верхнемелового сейсмокомплекса «А – mBU», характеризующегося косослоистым рисунком отражений (а). Редуцированный разрез, показывающий налегание отражений на ОГ А (б). Фрагмент временного разреза по профилю LS0915. Возраст сейсмокомплексов: K_1-K_2 – аптско-позднемеловой, P_1-P_2 – палеоцен-эоценовый.

в обстановках литорали и сублиторали. На разрезах мелководно-морские фации этих зон различаются между собой по рисунку сейсмической записи в зависимости от рельефа, удаленности от источников сноса обломочного материала и гравитационного фактора. В северо-западной притаймырской части шельфа моря Лаптевых выделяется последовательность клиноформных поверхностей, ограничивающих сейсмофациальные единицы с расходящимся, косоугольным и сигмовидным рисунком сейсмических отражений (табл. 1, т. 3, рис. 8). Отражения характеризуются небольшими углами наклона, отсутствием признаков размыва в ундаформной части клиноформы, что указывает на устойчивые относительно мелководные обстановки осадконакопления в условиях преимущественно компенсированного погружения. Мощность клиноформ в среднем составляет около 100 мс. Проградация осадочного клина в северо-восточном направлении чередуется с аградацией. Осадочный материал поступал с юго-запада – со стороны Таймыра. Состав пород прогнозируется по аналогии с меловыми отложениями, вскрытыми скважиной M0004A ACEX (The Arctic Coring Expedition) на хребте Ломоносова, которые характеризуют обстановки осадконакопления Таймырско-Новоземельской континентальной окраины в конце мелового периода (Morgan et al., 2006). Верхнемеловой интервал разреза в скважине представлен черными глинами с алевритистыми мелководными песчанистыми разностями в подошве (Backman et al., 2009).

В юго-западной притаймырской части шельфа моря Лаптевых на временных разрезах в волновом поле различаются малоамплитудные косоугольные прерывистые, слаборасходящиеся высокочастотные с небольшими углами наклона отражения, параллельные, достаточно протяженные. Они характеризуют ундаформные части клиноформных сейсмофациальных единиц (рис. 9). В отличие от описанных выше, эти клиноформные тела выражены менее отчетливо. Их мощность не превышает 50 мс, и они характеризуют мелководно-морские условия, компенсированное осадконакопление на фоне низких скоростей погружения дна бассейна.

Мелководно-морские (возможно дельтовые) сейсмофации аптско-верхнемелового возраста наблюдаются в юго-восточной части шельфа моря Лаптевых (табл. 1,

т. 4, рис. 10), где они представлены динамически выраженными высокоамплитудными косоугольными и холмовидными, низкочастотными прерывистыми с большими углами наклона отражениями, погружающимися в северном направлении. Контрастный рисунок сейсмической записи, возможно, обусловлен присутствием пластов песчаника, залегающего среди глинистых пород.

Максимальная мощность (4.5–5.5 км) аптско-верхнемелового комплекса соответствует наиболее глубоководной части поздне мелового полузамкнутого палеобассейна, занимавшего центральную и южную области современной акватории моря Лаптевых. На сейсмической записи фации сублиторали представлены высокоамплитудными, прерывистыми, субгоризонтальными отражениями, а в тектонически активных зонах – прерывистыми косоугольными, субпараллельными иногда хаотичными низкочастотными отражениями (табл. 1, т. 5).

К началу палеоцена скорость нисходящих тектонических движений в целом снизилась, что привело к общему обмелению бассейнов и сокращению площади относительно глубоководных областей (рис. 11).

Основными источниками осадочного материала в палеоцене-эоцене, так же как и на предыдущем этапе развития, являлись Таймырско-Североземельская и Верхояно-Колымская складчатые области, островная суша архипелага Новосибирские острова и поднятия Де-Лонга.

Палеогеновые отложения обнажаются на правом берегу реки Лены, а также вскрыты картировочными скважинами на Новосибирских островах, острове Большой Ляховский, где они залегают несогласно на эрозионной поверхности дислоцированных палеозойских и (или) мезозойских пород. Разрез наиболее древних палеогеновых отложений изучен во впадинах Северного Верхоянья, которые заполнялись не только продуктами разрушения кор выветривания, но и грубообломочными галечниковыми толщами, свидетельствующими о значительной подвижности и расчлененности отдельных блоков Верхоянской горно-складчатой системы в этот период (Ванин и др., 2001). К палеоценовым образованиям отнесена кора выветривания, сохранившаяся во впадинах Верхояно-Колымской складчатой области, а также на островах Котельный, Большой Ляховский, на Земле Бунге.

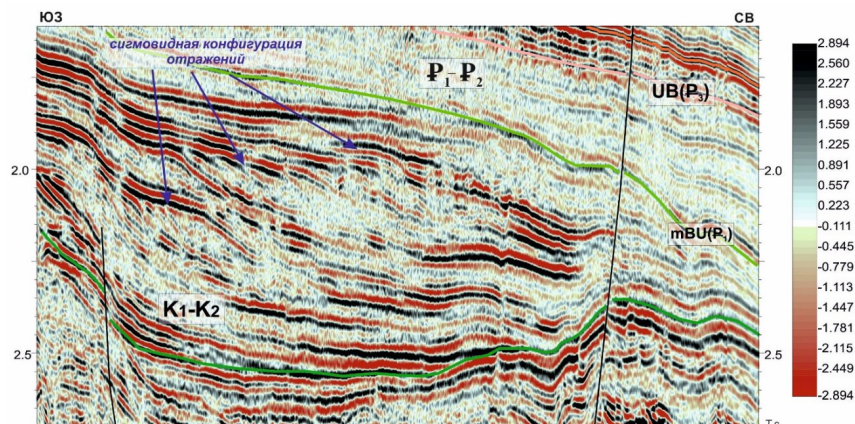


Рис. 8. Пример волновой картины аптско-верхнемелового сейсмокомплекса «А – mBU», характеризующегося клиноформным строением в северо-западной притаймырской части шельфа моря Лаптевых. Фрагмент временного разреза по профилю NML1408. Возраст сейсмокомплексов: K₁-K₂ – аптско-поздне меловой, P₁-P₂ – палеоцен-эоценовый.

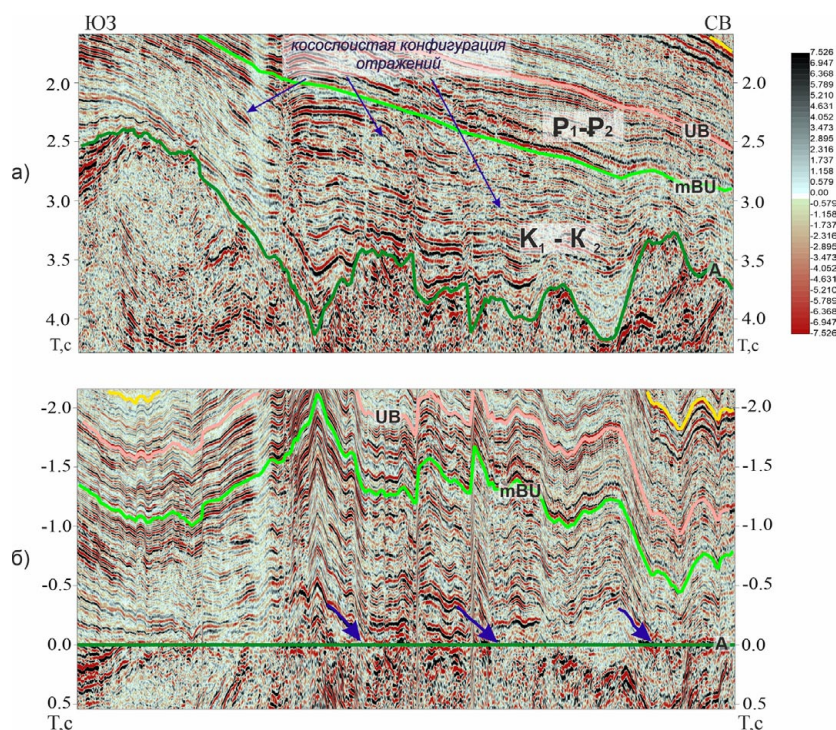


Рис. 9. Пример волновой картины аптско-верхнемеловой сейсмокомплекса «А – mBU», характеризующегося клиноформным строением в юго-западной притаймырской части шельфа моря Лаптевых (а). Редуцированный разрез, показывающий налегание отражений на ОГ А (б). Фрагмент временного разреза по профилю РТ1130. Возраст сейсмокомплексов: K_1-K_2 – аптско-поздне меловой, P_1-P_2 – палеоцен-эоценовый.

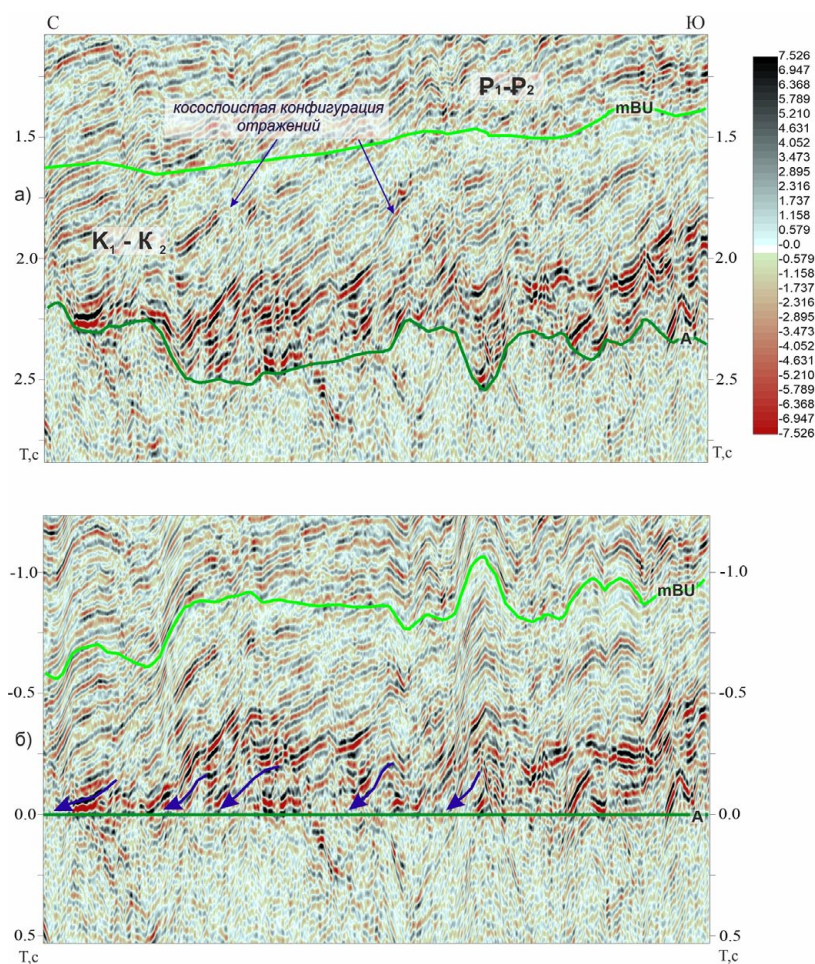


Рис. 10. Пример волновой картины верхнемеловой сейсмокомплекса «А – mBU», характеризующегося косослоистыми и холмовидными отражениями (а). Фрагмент временного разреза по профилю 192D49. Редуцированный разрез, показывающий налегание отражений на ОГ А (б). Возраст сейсмокомплексов: K_1-K_2 – аптско-поздне меловой, P_1-P_2 – палеоцен-эоценовый.

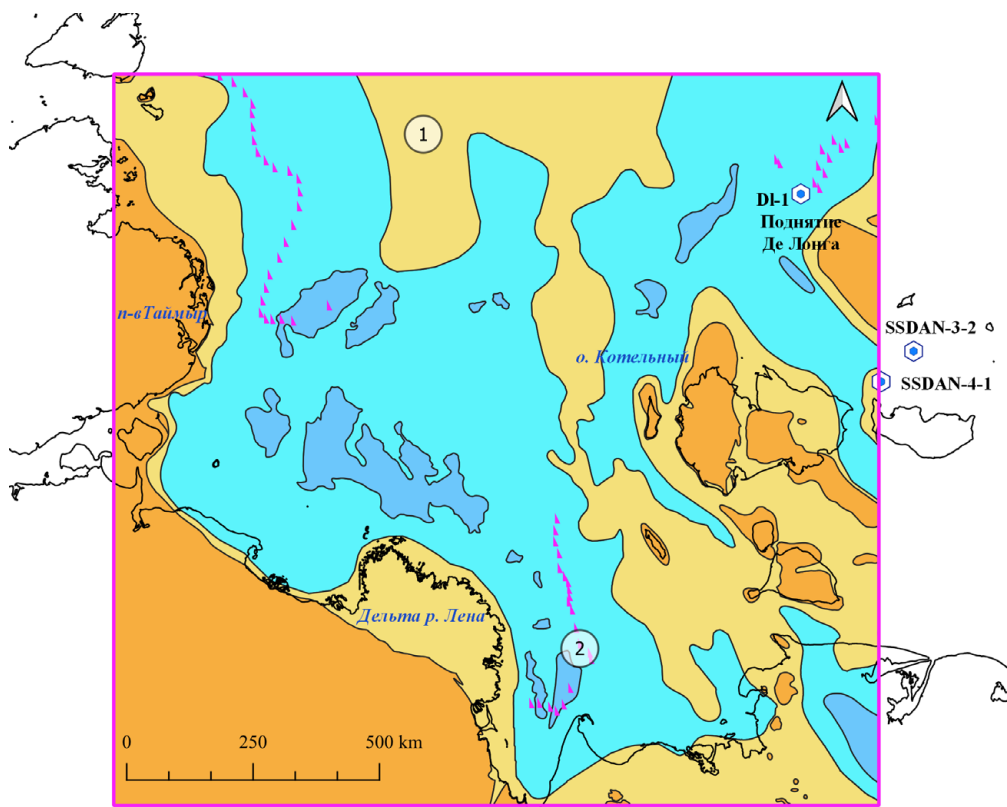


Рис. 11. Палеогеографические обстановки к началу палеоцен-эоценового этапа формирования плитного чехла. Условные обозначения см. рис. 6.

Терригенные углесодержащие палеоценовые отложения саканинского горизонта нижнего палеоцена и тимкинского горизонта верхнего палеоцена вскрыты скважинами стратиграфического бурения в северной части шельфа моря Лаптевых (Малышев и др., 2024).

Эоценовые отложения в дельте реки Лена видимой мощностью около 400 м представлены толщей песчаников, глин, включающих пласты алевролитов и бурого угля мощностью от 0.3 до 1.2 м, и углисто-глинистых сланцев. Они представлены преимущественно континентальными образованиями кенгдейской свиты (мощностью от 600 до 1300 м) – каолиновыми глинами с редкими пластами песчаников мощностью от 0.5 до 2.5 м и многочисленными пластами бурого угля мощностью до 1.5 м. (Лопатин, 1999). По данным Государственной Геологической карты (ГГК) (Большаинов и др., 2014) в южной части Лаптевоморского шельфа эоценовые отложения представлены преимущественно континентальными – озерными, озерно-болотными, озерно-аллювиальными, аллювиальными и, вероятно, лагунными отложениями. Континентальные ниже-среднеэоценовые отложения, мощностью более 55 м, представленные алевролитами, глинами, песками с пластами бурых углей, обнаружены также на острове Новая Сибирь. В северной части шельфа моря Лаптевых отложения кенгдейского горизонта нижней части нижнего эоцена, вскрытые картировочными скважинами (Малышев и др., 2024), представлены мелководно-морскими терригенными образованиями. Мелководные прибрежные фации нижнего-среднего эоцена, представленные темно-серым слоистым и косослоистым диатомовым илом с линзами пирита и редкими включениями

галки, изучены в скв. M0004A (инт. 265–313.61 м) и скважине M0002A (инт. 220.24–267.71) на хребте Ломоносова (Backman et al., 2009).

На основании приведенных данных о распространения и фациальной характеристике палеоцен-эоценовых отложений на островной и континентальной суше, результатов анализа карты толщин и сейсмофациального анализа в пределах исследуемой территории в палеоцене-эоцене прогнозируются наземные области аккумуляции, а также морские литоральные и сублиторальные палеогеографические зоны. На временных разрезах в северной части шельфа моря Лаптевых наземные области аккумуляции, представленные континентальными фациями, характеризуются хаотичными холмистыми высокоамплитудными и низкоамплитудными отражениями (табл. 2, т. 1). По особенностям сейсмической записи это могут быть русловые фации, сложенные песками, песчаниками с подчиненными прослоями алевролитов, глин и галечников. Области литорали и сублиторали, представленные прибрежными мелководно-морскими фациями, отмечены на сейсмических разрезах на северо-западе и северо-востоке шельфа моря Лаптевых, а также в юго-восточной его части. В притаймырской части шельфа моря Лаптевых фации литорали на временных разрезах характеризуется клиноформным строением с сигмовидной конфигурацией осей синфазностей. Клиноформные поверхности внутри комплекса более пологие и протяженные с признаками эрозии ундаформной части, что свидетельствует о внутрiformационных размывах. Клиноформные тела погружаются под малыми углами падения в северо-восточном направлении. Мощность отдельных тел варьирует

от 50–100 мс до 150–200 мс. В южной части шельфа моря Лаптевых клиноформные тела (табл. 2, т. 2) отличаются более крутыми углами наклона косослоистых параллельных, прерывистых, местами хаотичных высокоамплитудных отражений, свидетельствующих об акустической дифференциации разреза, обусловленной разнообразием литологического состава отложений, накапливавшихся в обстановке интенсивного поступления осадочного материала.

Палеогеографические обстановки изучаемой территории в **олигоцене** тесно связаны с раскрытием Евразийского бассейна, которое началось около 56 млн лет назад, – на рубеже палеоцена и эоцена, незадолго до термического события РЕТМ (Paleocene–Eocene thermal maximum). Этот вывод основывается на результатах интерпретации записи геомагнитных аномалий морского дна в котловине Амундсена, прилегающей к хребту Ломоносова (Brozina et al., 2003). Раскрытие Евразийского бассейна происходило постепенно таким образом, что участки хребта Ломоносова, расположенные южнее скважин АСЕХ, в эоцене все еще сохраняли связь с Евразией. Опираясь на результаты комплексных палинологических, микрофаунистических, геохимических исследований образцов скважин АСЕХ, авторы (Brozina et al., 2003) предполагают, что часть хребта в районе скважин находилась в прибрежно-морских мелководных условиях как минимум до раннего эоцена. При этом, в соответствии с плитотектоническими реконструкциями (O'Regan et al., 2008) эта часть хребта Ломоносова до начала рифтинга располагалась существенно западнее архипелага Северная Земля. В этой связи, можно предположить, что существенное влияние на развитие бассейна моря

Лаптевых это тектоническое событие могло оказывать во второй половине эоцена и олигоцене, что согласуется с результатами выполненных нами палеогеографических реконструкций. Сравнительный анализ карт толщин показал, что олигоценый этап развития характеризуется увеличением скоростей осадконакопления и углублением бассейна по сравнению с предыдущим этапом (рис. 12).

По результатам сейсмофациального анализа в центральной части шельфа моря Лаптевых выделяется область морских глубоководных фаций, представленных параллельными ровными низкочастотными отражениями (табл. 3, т. 5), которые, вероятно, представлены глинисто-алевролитовыми породами, обусловившими акустически контрастный характер волновой картины с высокоамплитудными отражениями.

На временных разрезах в северной притаймырской части шельфа моря Лаптевых мелководно-морские фации олигоценового комплекса представлены пологонаклонными, косослоистыми и сигмовидными телами, которые характеризуются субпараллельными, расходящимися, холмовидными отражениями, вероятно, связанными с фациями латерального наращивания палеосклона (табл. 3, т. 2, рис. 13). На разрезах выделяется серия клиноформных тел мощностью 50–100 мс, в ряде случаев характеризующихся эрозией ундаформной части, что указывает на мелководные условия их формирования и активную гидродинамику среды (рис. 9). Строение клиноформных тел, указывает на Таймырский источник сноса осадочного материала.

На фоне погружения и углубления олигоценового морского бассейна в центральной части современного шельфа моря Лаптевых, в его восточной части происходит подъем и регрессия. Это событие зафиксировано в некоторых

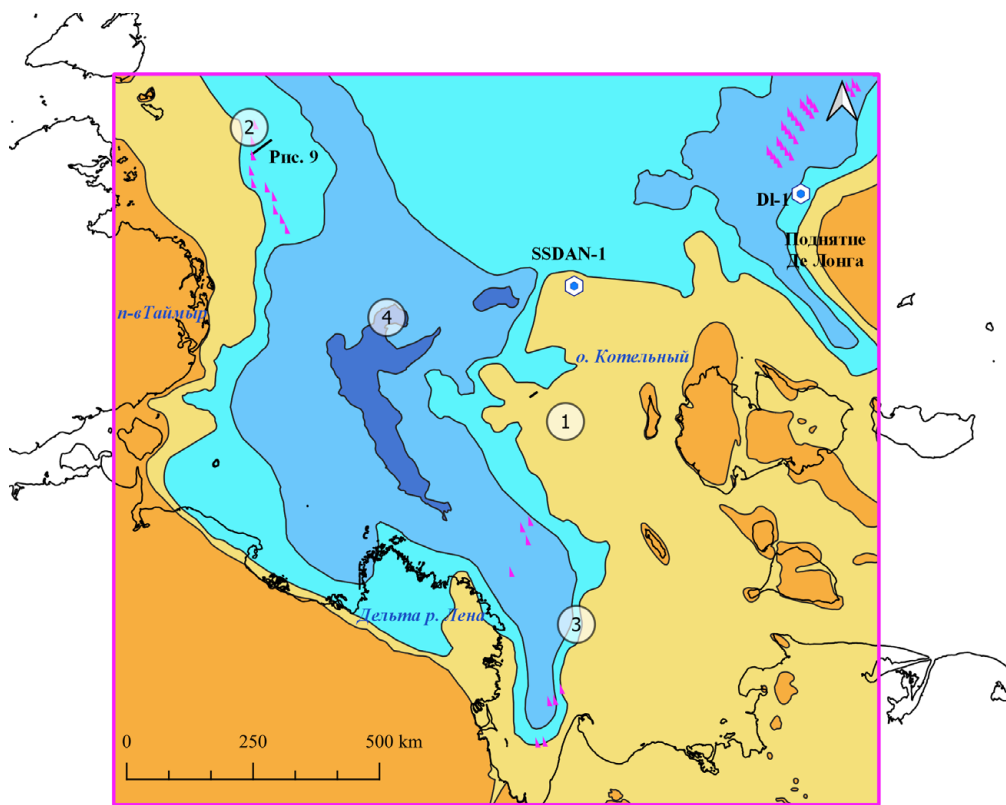


Рис. 12. Палеогеографические обстановки к началу олигоценового этапа формирования плитного чехла. Условные обозначения см. рис.6.

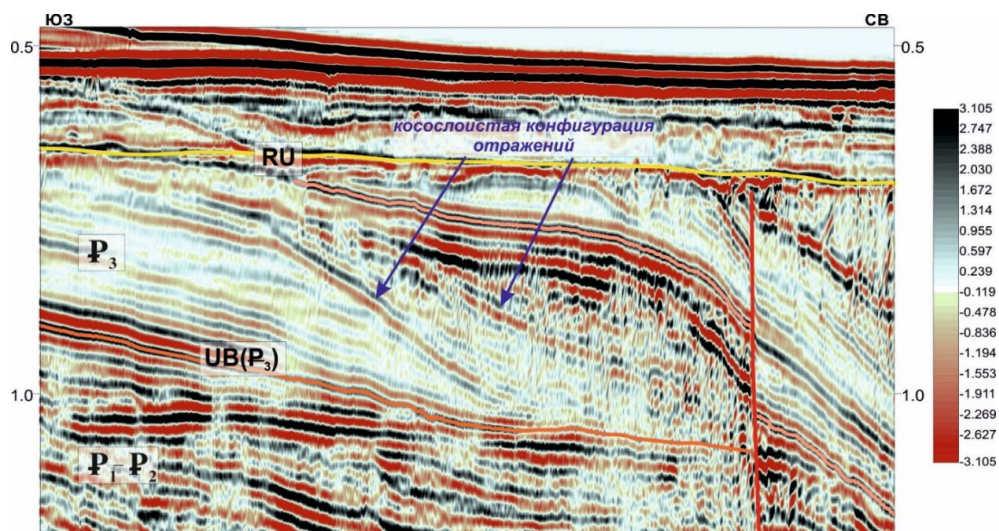


Рис. 13. Пример волновой картины олигоценового комплекса. Фрагмент временного разреза по профилю NW 1407. Возраст сейсмокомплексов: P_1 - P_2 – палеоцен-эоценовый, P_3 – олигоценовый. Поверхности несогласия: $UB(P_3)$ – в подошве олигоценовых отложений, RU – в подошве миоценовых отложений.

районах на Новосибирских островах (Ванин и др., 2001), где олигоцен-нижнемиоценовые отложения преимущественно континентального генезиса широко распространены и несогласно залегают на разновозрастных породах от девона до эоцена. На островах Анжу в разрезе преобладают пески с галькой с прослоями алевритов и глин, включениями бурых углей. На Земле Бунге, в проливах Санникова и Дмитрия Лаптева разрез преимущественно глинистый, на острове Большой Ляховский – разнофациальный. Мощность отложений в основном изменяется в пределах от 8 до 46 м и на востоке острова Котельный достигает 200 м. В скважине SSDAN-1 олигоценовые отложения представлены песками с прослоями лигнита и линзами гальки. В скважине SSDAN 3-2 отложения олигоцена отсутствуют, и неоген-четвертичные осадки несогласно перекрывают среднеэоценовые образования.

Как показали проведенные нами исследования, регрессия происходила в северном направлении, в результате чего Новосибирские острова и поднятие Де-Лонга в олигоцене входили в состав континента (рис. 8). При этом горно-складчатые сооружения Таймыра, севера Сибирской платформы, Новосибирские острова и поднятие Де-Лонга оставались крупными областями сноса осадочного материала.

На сейсмических разрезах в восточной части шельфа моря Лаптевых континентальные фации характеризуются прерывистыми, хаотичными высокоамплитудными отражениями (табл. 3, т. 1). По аналогии с сопредельными областями палеосуши они могут быть представлены глинами, аргиллитами с пластами бурых углей, прослоями алевритов, песчаников с линзами галечников. На юге изучаемой территории олигоцен-нижнемиоценовые отложения установлены восточнее дельты реки Лена и Омолойском грабене. Они представлены аллювиально-озерными и болотными фациями, включающими пески, конгломераты, глины, лигниты общей мощностью до 300 м. Породы этого комплекса с размывом перекрывают эоценовые отложения, палеоэоценовую кору выветривания, а также и более древние образования (Большаинов и др., 2014). На сейсмических разрезах

мелководно-морские отложения южной части шельфа моря Лаптевых представлены косослоистыми, иногда черепитчатыми высокоамплитудными отражениями широкого частотного спектра (табл. 3, т. 3). Мощность клиноформных тел, которые характеризуются в ряде случаев отсутствием ундаформной части, варьирует от 50 до 200 мс.

В раннем миоцене начинается быстрое пострифтовое погружение Евразийского бассейна, в которое вовлекается и северная часть шельфа моря Лаптевых. Это приводит к смещению основного депоцентра осадконакопления в северном направлении. Скорости осадконакопления в нем превышают 100 м/млн лет, что соответствует лавинной седиментации.

В миоцен-четвертичное время континентальные условия и денудационные процессы существовали на территории Таймыра, Сибирской платформы, на островах Котельный, поднятии Де-Лонга и Новосибирско-Чукотской складчатой области (рис. 14). На поднятии Де-Лонга в этот период активизировалась вулканическая деятельность, продолжавшаяся вплоть до современного этапа, и в результате которой сформировались вулканы островов Жохова и Вилькицкого, а также четвертичные вулканические постройки, описанные на лавовом плато острова Беннетта.

В северо-западной притаймырской части шельфа миоцен-четвертичный комплекс имеет четко выраженное клиноформное строение. На временных разрезах выделены косослоистые сигмовидные тела мощностью 300–500 мс с размытой ундаформной частью. Сочетание значительной мощности клиноформных образований с размывом ундаформы указывает на ступенчатое погружение, на каждом этапе которого происходило резкое существенное углубление бассейна и последующая его компенсация. В северной части шельфа моря Лаптевых (Евразийский бассейн) на временных разрезах в миоцен-четвертичном комплексе наблюдаются косослоистые отражения, параллельные сложной сигмоидальной формы. Оси синфазности протяженные широкого частотного спектра (табл. 4, т. 1). Отражения в виде «сейсмической

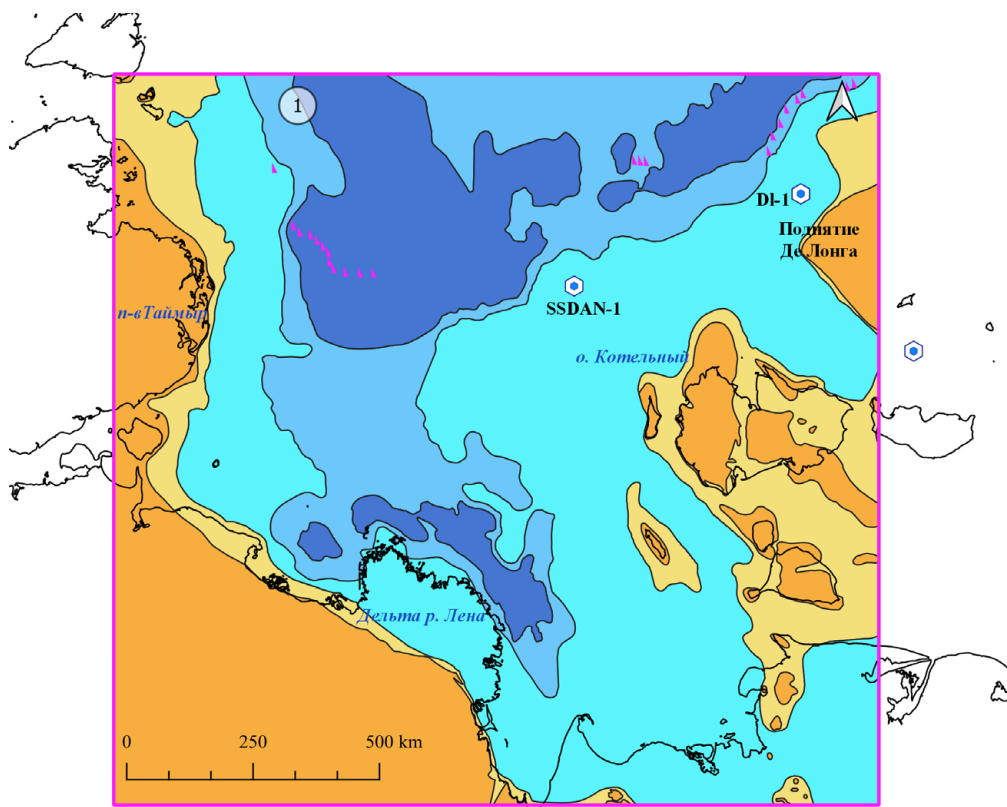


Рис. 14. Палеогеографические обстановки миоцен-четвертичного этапа формирования плитного чехла. Условные обозначения см. рис.6.

волны» последовательно смещаются по склону и, возможно, представляют собой складки гравитационного скольжения.

Фации литорали на западном и восточном обрамлении Лаптевоморского бассейна на сейсмической записи представлены «полупрозрачным» рисунком. Отражения характеризуются прерывистыми, реже – непрерывно-прерывистыми отражениями с субпараллельным до бугристым и хаотичным рисунком сейсмической записи. Учитывая результаты картировочного бурения (скважины SSDAN-1 и DL-1), миоцен-четвертичная часть осадочного разреза сложена глинисто-алевролитовыми осадками.

Фации сублиторали в южной и северной и северо-западной зонах шельфа образованы отражениями различной протяженности с косослоистым, бугристым до субпараллельного рисунком сейсмической записи, свидетельствующими о высокоэнергетических обстановках седиментации. При этом в центральной части шельфа моря Лаптевых преобладают слабоамплитудные отражения с «белесым» рисунком, указывающие на однородный глинистый состав отложений, накопившихся в спокойных условиях шельфа.

На континентальном обрамлении южной части моря Лаптевых, а также на архипелаге Новосибирские острова неогеновые отложения представлены континентальными образованиями. Они обнажены фрагментарно на островах дельты Лены, на северной окраине Верхоянья, вскрыты картировочными скважинами на северном обрамлении кряжа Прончищева, в Омолойском грабене, на побережье Хатангского и Анабарского заливов, на острове Большой Бегичев. Верхнемиоценовые и плиоценовые

интервалы разреза острова Новая Сибирь мощностью 32 м сложены песками, галечниками, алевролитами, глинами, углефицированными растительными остатками, линзами угольной крошки. На Земле Бунге завершающие неогеновый разрез нерасчлененные ниже-среднемиоценовые отложения мощностью до 36 м сложены песками, сменяющимися вверх по разрезу глинами и алевритами (Бургуто и др., 2016).

Выводы

В пределах современного шельфа моря Лаптевых со второй половины мела существовал морской бассейн, границы которого устанавливаются по данным обнажений на сопредельной островной и континентальной суше, скважин и характерному рисунку сейсмической записи.

Глобальные тектонические события: раскрытие котловины Макарова-Подводников, рифтогенез и пострифтовое погружение в Евразийском бассейне определили основные этапы формирования осадочного чехла и обусловили смену палеогеографических условий в пределах бассейнов на каждом из них.

На протяжении позднемезозойско-кайнозойской истории развития в изученных осадочных бассейнах преобладали мелководные и прибрежно-морские обстановки литорали и сублиторали.

Относительно глубоководные условия верхней батиали установлены в депоцентрах олигоценевого и миоцен-четвертичного бассейнов. При этом, восточная часть современной акватории все время находилась в относительно приподнятом положении в условиях смены континентальных и литоральных обстановок.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации №АААА-А20-120092590017-4.

Литература

- Атлас палеогеографических карт. Шельфы Евразии в мезозое и кайнозое. (1992). Том 2. Карты. Масштаб: 1:7500000 и 1:5000000. Главный редактор: М.Н. Алексеев. Консультанты: Ю.М. Пушаровский, И.С. Грамберг. Ред. коллегия: Басов В.А., Берсенева И.И., Блажичин А.И., Гейл Н., Друшиц В.А., Дундо О.П., Дюксбури Н., Зархидзе В.С., Забелина Э.К., Зорина Ю.К., Ким Б.И., Лазуркин Д.В., Морозова Л.Н., Павлидис Ю.А., Патык-Кара Н.Г., Полькин Я.И., Ронкина З.З., Ушко К.А., Федоров П.В., Хведчук И.И., Холден А.Р., Чисяков А.А., Чумаков И.С., Щербаков Ф.А. Геологический институт Академии Наук СССР, Робертсон Групп Великобритания, 104 с., 129 карт.
- Большаинов Д.Ю., Васильев Б.С., Виноградова Н.П., Гавриш А.В., Заварзина Г.А., Зинченко А. Г., Зуйкова О. Н., Кямря В. В., Мохов В. В., Нагайцева Н.Н., Нелюбин В.В., Радченко М.С., Саванин В.В., Проскурнин В.Ф., Рекант П.В., Солонина С.Ф., Шкарубо С.И., Шманяк А.В. (2014). Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1 000 000. Лист S-51 - Оленекский зал., S-52 - дельта р. Лены. Объяснительная записка. СПб: ВСЕГЕИ, 208 с.
- Бургуто А.Г., Дорофеев В.К., Рекант П.В., Шкарубо С.И. (2016). Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000. Лист S-53 – о. Столбовой, S-54 – Ляховские о-ва. Объяснительная записка. СПб: ВСЕГЕИ, 300 с.
- Ванин А.В., Галабала, Крутий Г.В., Набатова Л.Н., Трещалов А.В. (2001). Государственная геологическая карта Российской Р.О. Федерации. Масштаб 1:1 000 000. Лист S-50-52 – Быковский. Объяснительная записка. СПб: ВСЕГЕИ, 189 с.
- Васильев Д.А., Прокопьев А.В., Худолей А.К., Ершова В.Б., Казакова Г.Г., Ветров Е.В. (2019). Термохронология северной части Верхоянского складчато-надвигового пояса по данным трекового датирования апатита. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*, 24(4), с. 49–66. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-4-4>
- Костылева, В.В., Щепетова, Е.В., Котельников, А.Е. (2019). Верхнемеловые риолитовые пеплы Деревянных Гор (остров Новая Сибирь, Новосибирские острова). *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования*, 20(1), с. 37–47. DOI: 10.22363/2312-8143-2019-20-1-37-47
- Косью М.К., Соболев Н.Н., Кораго Е.А., Проскурнин В.Ф., Столбов Н.М. (2013). Геология Новосибирских островов – основа интерпретации геофизических данных по Восточно-Арктическому шельфу России. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, 8(2), с. 1–35. http://www.ngpr.ru/rub/5/17_2013.pdf
- Кузьмичев А.Б., Александрова Г.Н., Герман А.Б. (2009). Аптальбские отложения на о. Котельный (Новосибирские острова): Новые данные о строении разреза и игнимбристом вулканизме. *Стратиграфия и геологическая корреляция*, 17(5), с. 69–94.
- Лавренова Е.А., Керимов В.Ю., Горбунов А.А. (2024). Геодинамическое районирование и структурно-формационные комплексы осадочного чехла восточно-арктических морей России. *Горный журнал*, 10, с. 31–40.
- Никитенко Б.Л., Шурыгин Б.Н., Князев В.Г., Меледина С.В., Дзюба О.С., Лебедева Н.К., Пешевичка Е.Б., Глинских Л.А., Горячева А.А., Хафаева С.Н. (2013) Стратиграфия юры и мела Анабарского района (Арктическая Сибирь, побережье моря Лаптевых) и бореальный зональный стандарт. *Геология и геофизика*, 54(8), с. 1047–1082.
- Никитенко Б.Л., Девятов В.П., Лебедева Н.К., Басов В.А., Горячева А.А., Пешевичка Е.Б., Глинских Л.А. (2017) Стратиграфия юры и мела архипелага Новосибирские острова (море Лаптевых и Восточно-Сибирское). Фацциальное районирование и литостратиграфия. *Геология и геофизика*, 58(12), с. 1867–1885.
- Лопатин Б.Г. (1999). Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1 000 000. Лист S-53-55 – Новосибирские острова. Объяснительная записка. СПб: ВСЕГЕИ, 208 с.
- Малышев Н.А., Вержбицкий В.Е., Данилкин С.М., Колобакин А.А., Ершова В.Б., Бородулин А.А., Обметко В.В., Комиссаров Д.К., Пашали А.А., Боддырв М.Л., Васильева И.С., Рогов МА, Попова А.Б., Васильев В.Е., Новиков СС, Гатовский Ю.А., Александрова Г.Н., Лидская А.В., Симакова А.Н., Лопатина Д.А., Бордунов С.И., Ступакова А.В., Сусллова А.А., Никишин А.М., Лакеев В.Г., Лукашев Р.В. (2024). Первые результаты стратиграфического бурения на Северо-Востоке Моря Лаптевых. *Доклады Российской академии наук. Науки о Земле*, 515(1), с. 26–35.
- Малышев Н.А., Вержбицкий В.Е., Колобакин А.А., Комиссаров Д.К., Бородулин А.А., Обметко В.В., Попова А.Б., Данилкин С.М., Васильева И.С., Тимошенко Т.А., Александрова Г.Н., Гатовский Ю.А., Сусллова А.А., Никишин А.М. (2024). Технологические аспекты и опыт стратиграфического бурения в морях российской Арктики. *Геология нефти и газа*, (3), с. 19–30. DOI: 10.47148/0016-7894-2024-3-19-30
- Непомилуев В.Ф., Преображенская Э.Н., Труфанов Г.В., Василевская Н.Д., Павлов В.В. (1979). Нижнемеловые отложения о. Котельного. *Советская Геология*, 3, с. 104–109.
- Павловская Е.А., Худолей А.К., Рух Й.Б., Москаленко А.Н., Гийон М., Малышев С.В. (2022). Тектоническая эволюция северной части Верхоянского складчато-надвигового пояса по данным анализа палеонапряжений и U-Pb датировок кальцита. *Тектоника и геодинамика Земной коры и мантии: фундаментальные проблемы-2022. Материалы XIII Тектонического совещания*. М.: ГЕОС, 2, с. 71–75.
- Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И., Бадарч Г., Беличенко В.Г., Булгатов А.Н., Дриль С.И., Кириллова Г.Л., Кузьмин М.И., Ноклеберг У., Прокопьев А.В., Тимофеев В.Ф., Томуртоого О., Янь Х. (2003). Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии. *Тихоокеанская геология. Тектоника и геодинамика*, 22(6), с. 7–41.
- Петров О.В., Никишин А.М., Петров Е.И., Татаринцев В.Ю., Кашубин С.Н., Прищепенко Д.В., Малышев Н.А., Данилкин С.М., Вержбицкий В.Е., Колобакин А.А., Комиссаров Д.К., Ставицкая В.Н., Шуарекова О.В., Разумкова Е.С., Толмачева Т.Ю., Леонтьев Д.И., Токарев М.Ю., Понимаскин А.И., Замотина З.С. (2023). Результаты стратиграфического бурения в Восточно-Сибирском море с целью геологического изучения зоны сочленения структур континентального шельфа и глубоководных акваторий Северного Ледовитого океана. *Доклады Российской академии наук. Науки о Земле*, 512(2), с.100–110.
- Проскурнин В.Ф., Шкарубо, С.И., Заварзина, Г.А., Нагайцева Н. Н., Алексеев М.А., Багаева А.А., Большаинов Д.Ю., Васильев Б.С., Гавриш А.В., Горбачев Н.Р., Зинченко А.Г., Зуйкова О.Н., Кямря В.В., Мохов В.В., Нелюбин В.В., Папин М.Г., Парамонова М.С., Петрушков Б.С., Рекант П.В., Салимянова И.Р., Солонина С.Ф., Шманяк А.В. (2017). Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1 000 000. Лист S-50, Усть-Оленёк. Объяснительная записка. СПб: ВСЕГЕИ, 264 с.
- Пяткова М.Н., Виноградов В.А., Трухалев А.И., Погребницкий Ю.Е., Бондаренко С.А., Горячев Ю.В., Гусев Е.А., Зинченко А.Г., Зыков Е.А., Медведова М.А., Супруненко О.И., Черных А.А., Шустова Н.В. (2015) Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000. Лист Т-57–60 – о. Генриетты. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 68 с.
- Скворцов М.Б., Дзюбло А.Д., Грушевская О.В., Кравченко М.Н., Уварова И.В. (2020). Качественная и количественная оценка перспектив нефтегазоносности шельфа моря Лаптевых. *Геология Нефти и газа*, 1, с. 5–19. DOI: 10.31087/0016-7894-2020-1-5-19
- Тектоностратиграфический атлас Восточной Арктики (2022). Ответственные редакторы: Петров О.В., Смерлор М. СПб: ВСЕГЕИ, 152 с.
- Шкарубо С.И., Заварзина Г.А. (2011). Стратиграфия и характеристика сейсмических комплексов осадочного чехла западной части шельфа моря Лаптевых. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, 6(2), с. 1–21. http://www.ngpr.ru/rub/2/14_2011.pdf
- Backman J., Moran K. (2009). Expanding the Cenozoic paleoceanographic record in the Central Arctic Ocean: IODP Expedition 302 Synthesis. *Central European Journal of Geosciences*, 1(2), pp. 157–175. DOI: 10.2478/v10085-009-0015-6
- Brozna J.M., Childers V.A., Lawver L.A., Gahagan L.M., Forsberg R., Faleide J.L. (2003). New aerogeophysical study of the Eurasia Basin and Lomonosov Ridge: Implications for basin development. *Geology*, 31, pp. 825–828.
- Dore A., Lundin E., Gibbons A., Sømme T., Tøruddbakken B. (2016). Transform margins of the Arctic: a synthesis and re-evaluation. *Geological Society London Special Publications*, 431, pp. 63–94. DOI: 10.1144/sp431.8
- Kos'ko, M.K., Trufanov, G.V. (2002) Middle Cretaceous to Eocene sequences on the New Siberian Islands: an approach to interpret offshore seismic. *Marine and Petroleum Geology*, 19, pp. 901–919.

Moran K., Backman J., Brinkhuis H., Clemens S., Cronin T., Dickens G., Eynaud F., Gattacceca J., Jakobsson M., Jordan R., Kaminski M., King J., Koc N., Krylov A., Martinez N., McInroy D., Moore T., Onodera J., Kristoffersen Y. (2006). The Cenozoic palaeoenvironment of the Arctic Ocean. *Nature*, 441, pp. 601–605. DOI: 10.1038/nature04800

O'Regan M., Moran K., Backman J., Jakobsson M., Sangiorgi F., Brinkhuis H. (2008). Mid-Cenozoic tectonic and paleoenvironmental setting of the central Arctic Ocean. *Paleoceanography*, 23, pp. 1–15, PA1S20. DOI: 10.1029/2007PA001559

Somme T.O., Dore A.G., Lundin E.R., Torudbakken B.O. (2018). Triassic paleogeography of the Arctic: Implications for sediment routing and basin fill. *AAPG Bulletin*, 102(12), pp. 2481–2517. <https://doi.org/10.1306/05111817254>

Статья поступила в редакцию 26.02.2025;

Принята к публикации 12.09.2025; Опубликована 30.03.2026

Сведения об авторах

Елена Александровна Лавренова – кандидат геол.-минерал. наук, доцент кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе

Россия, 117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23
e-mail: lavrenovaelena@mail.ru

Галина Александровна Заварзина – кандидат геол.-минерал. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБУ «ВНИИОкеангеология»

190121, Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, 124
e-mail: zavarzina459@gmail.com

IN ENGLISH

ORIGINAL ARTICLE

Paleogeographic Conditions for the Evolution of Sedimentary Cover in the Laptev Sea Based on Seismic Facies Analysis

E.A. Lavrenova^{1*}, *G.A. Zavarzina*²

¹Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russian Federation

²VNIIOkeangeologia, Saint-Petersburg, Russian Federation

*Corresponding author: Elena A. Lavrenova, e-mail: lavrenovaelena@mail.ru

Abstract. The Laptev Sea is an area of active exploration for hydrocarbons; however, estimations of its hydrocarbon potential vary significantly, both in terms of total hydrocarbon quantities and their phase composition. This variability is due to the absence of a unified geological framework and, consequently, the use of different analogous basins in calculations. Based on a comprehensive interpretation of geological and geophysical data, as well as seismic facies analysis, a reliable geological model was created. Paleogeographic conditions for the formation of major sedimentary cover complexes were reconstructed, including the Aptian-Upper Cretaceous, Paleocene-Eocene, Oligocene, and Miocene-Quaternary periods. It was shown that, within the modern shelf of the Laptev Sea, a marine basin existed since the second half of the Cretaceous, the boundaries of which are determined based on outcrop data from adjacent islands and onshore, wells, and seismic patterns. The main factors controlling the formation of the sedimentary cover and the change of paleogeographic conditions along the modern Laptev Sea continental margin were global tectonic events, including the opening of the Makarov-Podvodnikov Basin, rifting, and post-rift subsidence in the Eurasian Basin.

Keywords: Laptev Sea, seismic facies analysis, paleogeography, sedimentary units, depositional environments

Recommended citation: Lavrenova E.A., Zavarzina G.A. (2026). Paleogeographic Conditions for the Evolution of Sedimentary Cover in the Laptev Sea Based on Seismic Facies Analysis. *Georesursy = Georesources*, 28(1), pp. 86–103. <https://doi.org/10.18599/grs.2026.1.13>

Acknowledgements

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. AAAA-A20-120092590017-4

References

Atlas of Paleogeographic Maps. Shelves of Eurasia in the Mesozoic and Cenozoic (1992). Volume 2. Maps. Scale: 1:7,500,000 and 1:5,000,000. Chief Editor: M.N. Alekseev. Consultants: Yu.M. Pushcharovsky, I.S. Gramberg. Editorial Board: V.A. Basov, I.I. Beresenev, A.I. Blazhchishin, N. Gale, V.A. Drushits, O.P. Dundo, N. Duxbury, V.S. Zarkhidze, E.K. Zabelina, Yu.K. Zorina, B.I. Kim, D.V. Lazurkin, L.N. Morozova, Yu.A. Pavlidis, N.G. Patyk-Kara, Y.I. Polkin, Z.Z. Ronkina, K.A. Ushko, P.V. Fedorov, I.I. Khvedchuk, A.R. Holden, A.A. Chisyakov, I.S. Chumakov, F.A. Shcherbakov. Geological Institute of the Academy of Sciences of the USSR, Robertson Group, United Kingdom, 104 p., 129 maps. (In Russ.)

Backman J., Moran K. (2009). Expanding the Cenozoic paleoceanographic record in the Central Arctic Ocean: IODP Expedition 302 Synthesis. *Central European Journal of Geosciences*, 1(2), pp. 157–175. DOI: 10.2478/v10085-009-0015-6

Bolshiyakov D.Yu., Vasilyev B.S., Vinogradova N.P., Gavrish A.V., Zavarzina G.A., Zinchenko A.G., Zuykova O.N., Kyamarya V.V., Mokhov V.V., Nagaitseva N.N., Nelyubin V. V., Radchenko M.S., Savanin V.V., Proskurnin V.F., Rekant P.V., Solonina S.F., Shkarubo S.I., Shmanyak A.V. (2014). State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1 000 000. Sheet S-51 - Oleneksky Zone, S-52 - Lena River Delta. *Explanatory Note*. St. Petersburg: VSEGEI, 208 p. (In Russ.)

Brozena J.M., Childers V.A., Lawver L.A., Gahagan L.M., Forsberg R., Faleide J.L. (2003). New aerogeophysical study of the Eurasia Basin and Lomonosov Ridge: Implications for basin development. *Geology*, 31, pp. 825–828. <https://doi.org/10.1130/G19528.1>

Burguto A.G., Dorofeyev V.K., Rekant P.V., Shkarubo S.I. (2016). State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1 000 000. Sheet S-53 - Stolbovoy Island, S-54 - Lyakhovsky Islands. *Explanatory Note*. St. Petersburg: VSEGEI, 300 p. (In Russ.)

- Dore A., Lundin E., Gibbons A., Sømme T., Tørudbakken B. (2016). Transform margins of the Arctic: a synthesis and re-evaluation. *Geological Society London Special Publications*, 431, pp. 63–94. DOI: 10.1144/sp431.8
- Kos'ko M.K., Sobolev N.N., Korego E.A., Proskurnin V.F., Stolbov N.M. (2013). Geology of the Novosibirsk Islands is the basis for the interpretation of geophysical data on the East Arctic Shelf of Russia. *Neftegasovaa' geologii. Teoriia i praktika*, 8(2), pp. 1–36. (In Russ.) https://doi.org/10.17353/2070-5379/17_2013
- Kos'ko, M.K., Trufanov, G.V. (2002) Middle Cretaceous to Eocene sequences on the New Siberian Islands: an approach to interpret offshore seismic. *Marine and Petroleum Geology*, 19, pp. 901–919. [https://doi.org/10.1016/S0264-8172\(02\)00057-0](https://doi.org/10.1016/S0264-8172(02)00057-0)
- Kostyleva V. V., Shchepetova E. V., Kotelnikov A. E. (2019). Upper Cretaceous rhyolitic tephra from Derevyanny Gory (Novaya Sibir Island, Severnye Islands). *RUDN Journal of Engineering Research*, 20(1), pp. 37–47. (In Russ.) DOI 10.22363/2312-8143-2019-20-1-37-47
- Kuzmichev A.B., Alexandrov A.N., German A.B. (2009). Aptian-Albian deposits on Kotelnaya Island (Novosibirsk Islands): New data on the stratigraphic profile and ignimbrite volcanism. *Stratigraphy and Geological Correlation*, 17(5), pp. 69–94. (In Russ) <https://doi.org/10.1134/S0869593809050050>
- Lavrenova E.A., Kerimov V.Yu., Gorbunov A.A. (2024). Geodynamic zoning and structural-formational complexes of the sedimentary cover of the eastern Arctic seas of Russia. *Gornyy zhurnal*, 10, pp. 31–40. (In Russ) <https://doi.org/10.17580/gzh.2024.10.04>
- Lopatin B.G. (1999). State Geological Map of the Russian Federation, scale 1:1,000,000. Sheet S-53-55 – Novosibirsk Islands. *Explanatory Note*. St. Petersburg: VSEGEI, 208 p. (In Russ)
- Malyshev N.A., Verzhbitsky V.E., Danilkin S.M., Kolyubakin A.A., Ershova V.B., Borodulin A.A., Obmetko V.V., Komissarov D. K., Pashalia A. A., Boldyrev M.L., Vasilyeva, I.S., Rogovb, M.A., Popova A.B., Vasilyev V.E., Novikov S.S., Gatovsky Yu. A., Aleksandrova G.N., Lidskaya A.V., Simakova A.N., Lopatina D.A., Bordunov S.I., Stupakova A.V., Suslova, A.A., Nikishin A.M., Lakeev V.G., and Lukashev R.V. (2024). Stratigraphic Drilling in the Northeastern Part of Laptev Sea: First Results. *Doklady Earth Sciences. Stratigraphy*, 515, pp. 1–10. DOI: 10.1134/S1028334X23603310
- Malyshev N.A., Verzhbitsky V.E., Kolubakin A.A., Komissarov D.K., Borodulin A.A., Obmetko V.V., Popova A.B., Danilkin S.M., Vasilyeva I.S., Timoshenko T.A., Alexandrov A.N., Gatovsky Yu.A., Suslova A.A., Nikishin A.M. (2024). Technological aspects and experience of stratigraphic drilling in the seas of the Russian Arctic. *Geologiya nefi i gaza = Geology of Oil and Gas*, (3), pp. 19–30. (In Russ) DOI: 10.47148/0016-7894-2024-3-19-30
- Moran K., Backman J., Brinkhuis H., Clemens S., Cronin T., Dickens G., Eynaud F., Gattacceca J., Jakobsson M., Jordan R., Kaminski M., King J., Koc N., Krylov A., Martinez N., McInroy D., Moore T., Onodera J., Kristoffersen Y. (2006). The Cenozoic palaeoenvironment of the Arctic Ocean. *Nature*, 441, pp. 601–605. DOI: 10.1038/nature04800
- Nepomiluev V.F., Preobrazhenskaya E.N., Trufanov G.V., Vasilevskaya N.D., Pavlov V.V. (1979). Lower Cretaceous deposits of Kotelnaya Island. *Soviet Geology*, 3, pp. 104–109. (In Russ)
- Nikitinko B.L., Devyatov V.P., Lebedeva N.K., Basov V.A., Goryacheva A.A., Peshevitskaya E.B., Glinskykh L.A. (2017). Jurassic and Cretaceous stratigraphy of the New Siberian Archipelago (Laptev and East Siberian Seas): facies zoning and lithostratigraphy. *Russ. Geol. Geophys.*, 58(12), pp. 1478–1493. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2017.11.012>
- Nikitinko B.L., Shurygin B.N., Knyazev V.G., Meledina S.V., Dzyuba O.S., Lebedeva N.K., Peshevitskaya E.B., Glinskykh L.A., Goryacheva A.A., Khafaeva S.N. (2013). Jurassic and Cretaceous stratigraphy of the Anabar area (Arctic Siberia, Laptev Sea coast) and the Boreal zonal standard. *Russ. Geol. Geophys.*, 54(8), pp. 808–837. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2013.07.005>
- O'Regan M., Moran K., Backman J., Jakobsson M., Sangiorgi F., Brinkhuis H. (2008). Mid-Cenozoic tectonic and paleoenvironmental setting of the central Arctic Ocean. *Paleoceanography*, 23, pp. 1–15, PA1S20. DOI: 10.1029/2007PA001559
- Parfenov L.M., Berzin N.A., Khanchuk A.I., Badarch G., Belichenko V.G., Bulgato A.N., Dril S.I., Kirillova G.L., Kuzmin M.I., Nockleberg U., Prokopyev A.V., Timofeev V.F., Tomurtogoo O., Yan X. (2003). A model of orogenic belt formation in Central and Northeast Asia. *Pacific Geology. Tectonics and Geodynamics*, 22(6), pp. 7–41. (In Russ.)
- Pavlovskaya E.A., Khudoley A.K., Rukh Y.B., Moskalenko A.N., Giyon M., Malyshev S.V. (2022). Tectonic evolution of the northern part of the Verkhoyansk Fold-Thrust Belt based on paleostress analysis and U-Pb dating of calcite. *Tectonics and Geodynamics of the Earth's Crust and Mantle: Fundamental Problems-2022. Pros. of the LIII Tectonic Meeting*. Moscow: GEOS, 2, pp. 71–75. (In Russ.) <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-1823>
- Petrov O.V., Nikishin A.M., Petrov E.I., Tatarinov V.Yu., Kashubin S.N., Prishchenko D.V., Malyshev N.A., Danilkin S.M., Verzhbitsky V.E., Kolubakin A.A., Komissarov D.K., Stavitskaya V.N., Shurekova O.V., Razumkova E.S., Tolmacheva T.Yu., Leontyev D.I., Tokarev M.Yu., Ponimaskin A.I., Zamotina Z.S. (2023). First Results of Stratigraphic Drilling in the East Siberian Sea Focused on Geological Studies of the Suture Zone of the Continental Shelf's Marginal Structures and Deep-Water Areas of the Arctic Ocean. *Dokl. Earth Sc.*, 512, pp. 1014–1023. <https://doi.org/10.1134/S1028334X23601256>
- Proskurnin V.F., Shkarubo S.I., Zavarzina G.A., Nagaitseva N.N., Alekseev M.A., Bagaeva A.A., Bolshiyarov D.Yu., Vasilyev B.S., Gavrilov A.V., Gorbachevich N.R., Zinchenko A.G., Zuykova O.N., Kyamarya V.V., Mokhov V.V., Nelyubin V.V., Papin M.G., Paramonova M.S., Petrushkov B.S., Rekant P.V., Salimyanova I.R., Solonina S.F., Shmanyak A.V. (2017). State Geological Map of the Russian Federation, scale 1:1,000,000. Sheet S-50, Ust-Olenek. Explanatory Note. St. Petersburg: VSEGEI, 264 p. (In Russ.)
- Pyatkova M.N., Vinogradov V.A., Trukhalyev A.I., Pogrebitsky Yu.E., Bondarenko S.A., Goryachev Yu.V., Gusev E.A., Zinchenko A.G., Zykov E.A., Medvedeva M.A., Suprunenko O.I., Chernykh A.A., Shustova N.V. (2015). State Geological Map of the Russian Federation, scale 1:1,000,000. Sheet T-57-60 – Henrietta Island. *Explanatory Note*. St. Petersburg: VSEGEI, 68 p. (In Russ.)
- Shkarubo S.I., Zavarzina G.A. (2011). Stratigraphy and characteristics of seismic complexes of the sedimentary cover of the Laptev Sea shelf. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika = Oil and Gas Geology. Theory and practice*, 6(2), pp. 1–21. (In Russ.)
- Skvortsov M.B., Dzyublo A.D., Grushevskaya O.V., Kravchenko M.N., Uvarova I.V. (2020). Qualitative and quantitative assessment of the oil and gas prospects of the Laptev Sea shelf. *Geologiya nefi i gaza = Geology of Oil and Gas*, 1, pp. 5–19. (In Russ.) DOI: 10.31087/0016-7894-2020-1-5-19
- Somme T.O., Dore A.G., Lundin E.R., Torudbakken B.O. (2018). Triassic paleogeography of the Arctic: Implications for sediment routing and basin fill. *AAPG Bulletin*, 102(12), pp. 2481–2517. <https://doi.org/10.1306/05111817254>
- Tectonostratigraphic Atlas of the Eastern Arctic (2022). Editors: O.V. Petrov, M. Smerlov. St. Petersburg: VSEGEI, 152 p. (In Russ.)
- Vanin A.V., Galabala, Krutiy G.V., Nabatova L.N., Treshchalov A.V. (2001). State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1 000 000. Sheet S-50-52 - Bykovsky. *Explanatory Note*. St. Petersburg: VSEGEI, 189 p. (In Russ.)
- Vasilyev D.A., Prokopyev A.V., Khudoley A.K., Yerzhova V.B., Kazakova G.G., Vetrov E.V. (2019). Thermochronology of the northern part of the Verkhoyansk Fold-Thrust Belt based on apatite fission-track dating. *Prirodnye resursy Arktiki i Subarktiiki*, 24(4), pp. 49–66. (In Russ.) <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-4-4>

About the Authors

Elena A. Lavrenova — Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Lecturer at the Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russian Federation
e-mail: lavrenovaelena@mail.ru

Galina A. Zavarzina — Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Leading researcher, VNIIOkeangeologia
124, Moika Enb., Saint-Petersburg, 190121, Russian Federation
e-mail: zavarzina459@gmail.com

Manuscript received 26 February 2025;
Accepted 12 September 2025; Published 30 March 2026

© 2026 The Authors. This article is published in open access under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)