

УДК 551.8 (268.56)

С.И. Фрейман¹, А.М. Никишин², Е.И. Петров³

КАЙНОЗОЙСКИЕ КЛИНОФОРМНЫЕ КОМПЛЕКСЫ И ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИСТОРИЯ СЕВЕРО-ЧУКОТСКОГО БАСЕЙНА

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», геологический факультет, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, 1

Министерство природных ресурсов и экологии РФ, 125993, Москва, Большая Грузинская ул., 4/6

Moscow State University, Faculty of Geology, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskiye Gory, 1

Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation, 125993, Moscow, Bolshaya Gruzinskaya st., 4/6

Выполнены сейсмо-стратиграфическая разбивка осадочного чехла Северо-Чукотского бассейна и интерпретация основных палеогеографических событий, произошедших на его территории в позднемеловое–кайнозойское время.

Пострифтовую осадочную историю развития шельфа Северо-Чукотского бассейна можно разделить на три этапа: позднемеловой–палеоценовый с мощной проградацией бровки шельфа на север, среднеэоценовый–миоценовый, с постепенным разноориентированным заполнением бассейна со всех сторон и позднемиоценовый–современный, когда бровка шельфа приняла современный вид и происходила медленная аградация со слабым северным трендом.

Ключевые слова: Восточная Арктика, клиноформные комплексы, Чукотское море, кайнозой, сеймостратиграфия, Северо-Чукотский бассейн.

New sesmostratigraphic model has been established for the sedimentary cover of the North-Chukchi basin. Based on the model interpretation of the main paleogeographic events within the territory was performed.

We identify three stage in the post-rift sedimentary history of the North-Chukchi basin: Late Cretaceous to Paleocene stage when strong progradation of shelf sedimentary packages was occurred, Mid Eocene — Miocene, with gradual infilling of the basin from different sides and Late Miocene to Present stage with present shapes of the shelf and slow clinoform complex aggradation.

Key words: East Arctic, clinoform complex, Chukchi sea, Cenozoic, sesmostratigraphy, North-Chukchi basin.

Введение. Вся Арктика целиком и Северо-Чукотский бассейн (СЧБ) в частности — один из наименее изученных регионов. В последние годы появилось много новых сейсмических данных, на основании которых намечаются основные черты строения и этапы развития региона. В то время как глубоководная часть Арктики привлекает пристальное внимание и расшифровке ее тектонического строения и истории развития посвящено множество публикаций, шельф дальневосточной части Арктики изучен очень скудно, несмотря на то что — по аналогии с Аляской — для него предсказан большой углеводородный потенциал [Контарович и др., 2010]. Впервые на выраженное клиноформное строение кайнозойского интервала разреза обратили внимание после сейсмических работ в начале 2000-х гг. [Verzhbitsky et al., 2008]. Существует всего одна работа, полностью посвященная кайнозойским клиноформным комплексам этого региона [Negewald et al., 2013]. Соседние

меловые клиноформные комплексы Аляски изучены достаточно хорошо за счет плотного покрытия сейсмической съемкой, наличия многочисленных обнажений и ряда скважин, вскрывших их на акватории Аляски [Houseknecht et al., 2009], но при этом их корреляция и соотношение с Чукотским шельфовым комплексом до сих пор неясны. Цель работы — описать строение верхней части осадочного чехла СЧБ, а также выделить основные этапы развития региона в кайнозое и связанные с ними сеймостратиграфические комплексы.

Геологическое строение района исследования. Современный Северо-Чукотский бассейн представляет собой мелководный шельф с постепенным увеличением глубины от 50 м около о. Врангеля до 400 м на севере в районе террасы Кучерова (рис. 1). В тектоническом плане Северо-Чукотский бассейн граничит со следующими элементами: с севера СЧБ ограничен поднятием Менделеева, в пределах которого кайнозойские

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, аспирант; e-mail: freimansy@gmail.com

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

³ Министерство природных ресурсов и экологии РФ, советник федерального министра природных ресурсов и экологии Российской Федерации; e-mail: epetrov@rosnedra.gov.ru

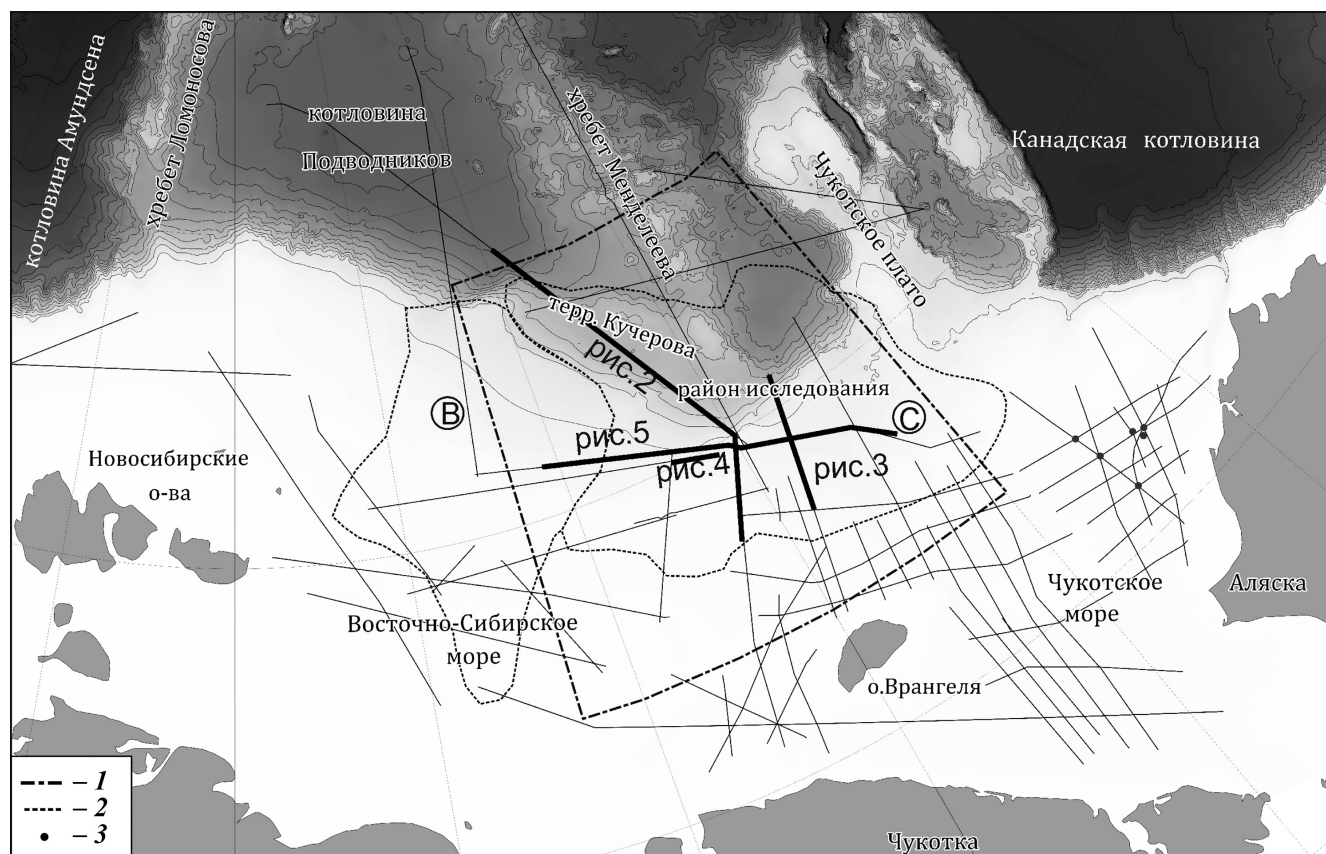


Рис. 1. Обзорная карта Восточной Арктики с использованными сейсмическими профилями и контурами района исследования: 1 — контур района работ; 2 — контуры упомянутых осадочных бассейнов; С — Северо-Чукотский бассейн, В — Восточно-Сибирский бассейн; 3 — скважины американского сектора Чукотского моря, на которые выполнялась привязка

осадочные отложения развиты фрагментарно и не обладают значительной мощностью [Petrov et al., 2016], с северо-востока к нему примыкает Чукотское плато, для которого характерны кайнозойские и меловые(?) клинформные комплексы, но их мощность, согласно литературным данным, значительно меньше, чем в СЧБ [Hegewald et al., 2013]. С запада бассейн граничит с бассейном Вилькитского и Восточно-Сибирским бассейном. В них кайнозойские отложения достигают большой мощности и так же, как в СЧБ, присутствуют клиноформные комплексы [Линева и др., 2015]. С южной стороны бассейн ограничен кайнозойской надвиговой зоной Врангеля–Геральта, где отсутствует осадочный чехол и фундамент выходит на поверхность.

До сих пор нет однозначного мнения о возрасте фундамента в пределах бассейна. Мы будем придерживаться схемы стратификации с доаптским возрастом фундамента [Nikishin et al., 2014]. Считается, что в конце раннего мела происходил общерегиональный для всей Арктики этап рифтообразования, который повлек за собой зарождение депоцентов седиментации и, как следствие, формирование современных бассейнов. Дальнейшее пострифтовое и затем термическое погружение привело к накоплению мощных осадочных толщ. Мощность осадочного

чехла достигает 18 км в северо-восточной части бассейна [Petrov et al., 2016].

К сожалению, данных непосредственно о литологическом составе осадочных пород, слагающих чехол бассейна, нет. В его пределах не пробурено ни одной скважины, а ближайшие разрезы на суше содержат в основном континентальные фации. Самая близкая к СЧБ скважина расположена на п-ове Айон, где палеогеновые морские фации наблюдаются только в пределах танета и хатта [Александрова, 2016].

Материалы и методы исследований. В основе работ лежат федеральные мультиканальные сейсмические профили 2011, 2012 и 2014 гг. съемки, а также данные коммерческой съемки ION 2011, 2012 и 2015 гг., покрывающей только восточную часть Сибирского шельфа (рис. 1). Вся интерпретация проводилась во временной области, без преобразования в глубинную область.

Основные докайнозойские сейсмические горизонты были привязаны к двум скважинам на американской части шельфа Чукотского моря. Для кайнозойской части чехла также выполнена привязка к линейным магнитным аномалиям в бассейне Амурдсена. В основе метода лежит представление о процессе спрединга океанической коры — возраст горизонта считается равным возрасту аномалии, на уровне которой происходит

его выклинивание, таким образом были датированы основные опорные кайнозойские горизонты для всей Арктики. Далее эти горизонты были протянуты в пределы Северо-Чукотского бассейна. Из-за огромного расстояния между скважинами и наличия поднятий, через которые сейсмические горизонты проследить невозможно, каждый горизонт также увязывали с тектоническими или палеогеографическими событиями для более уверенного его прослеживания через зоны, где корреляция неоднозначна или невозможна. Привязка сейсмических горизонтов детально разобрана и проиллюстрирована в ряде ранее опубликованных работ ([Nikishin et al., 2017a; Nikishin, Malyshev, Petrov, 2014]).

Для детального анализа клиноформной части разреза использовали метод сиквенс-стратиграфического анализа. В основе метода лежит выделение сиквенсов, ограниченных поверхностями несогласия, или коррелятивных с ними согласных поверхностей, и разбиение получившихся сиквенсов на ряд трактов разного положения уровня моря. В результате такого подхода к детализации строения осадочной толщи выделяются наиболее перспективные осадочные тела-коллекторы, но в рассматриваемом случае остановимся на этапе определения основных событий, произошедших на территории региона во время формирования изучаемых толщ.

Под шельфом далее будем подразумевать практически горизонтальную мелководную платформу, находящуюся между осушенной территорией с одной стороны и склоном глубоководного бассейна — с другой, под бровкой шельфа — точку перехода от субгоризонтального шельфа к крутопадающему глубоководному склону, под траекторией бровки шельфа — условную кривую, соединяющую положения бровки шельфа на каждый момент времени.

Результаты исследований и их обсуждение. В результате работ на территории Северо-Чукотского бассейна прослежены 5 опорных отражающих горизонтов (рис. 2). Внутри нижней части осадочного чехла СЧБ детальное выделение

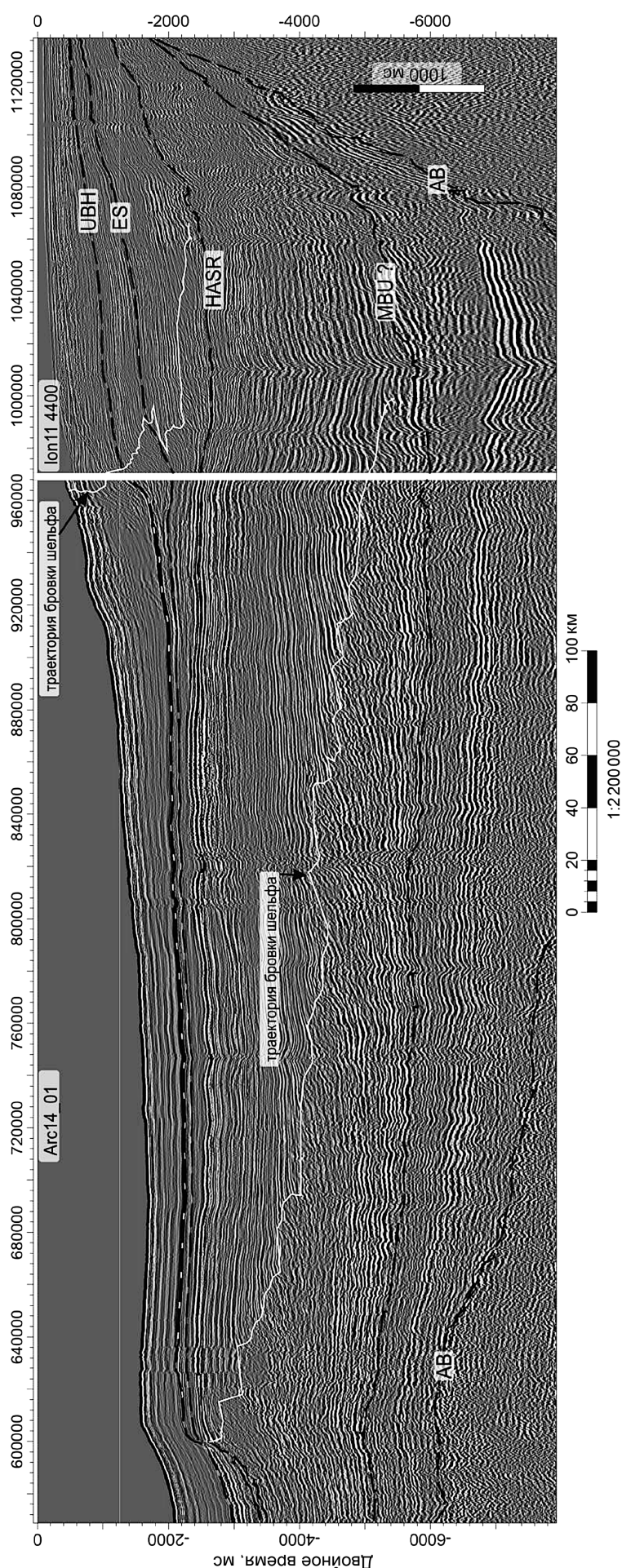


Рис. 2. Композитный сейсмический профиль через шельф Восточно-Сибирского моря и террасу Кучерова (профили Arc14_01 и ION_2011_4400). Видно резкое смещение бровки шельфа на уровне горизонта HASR

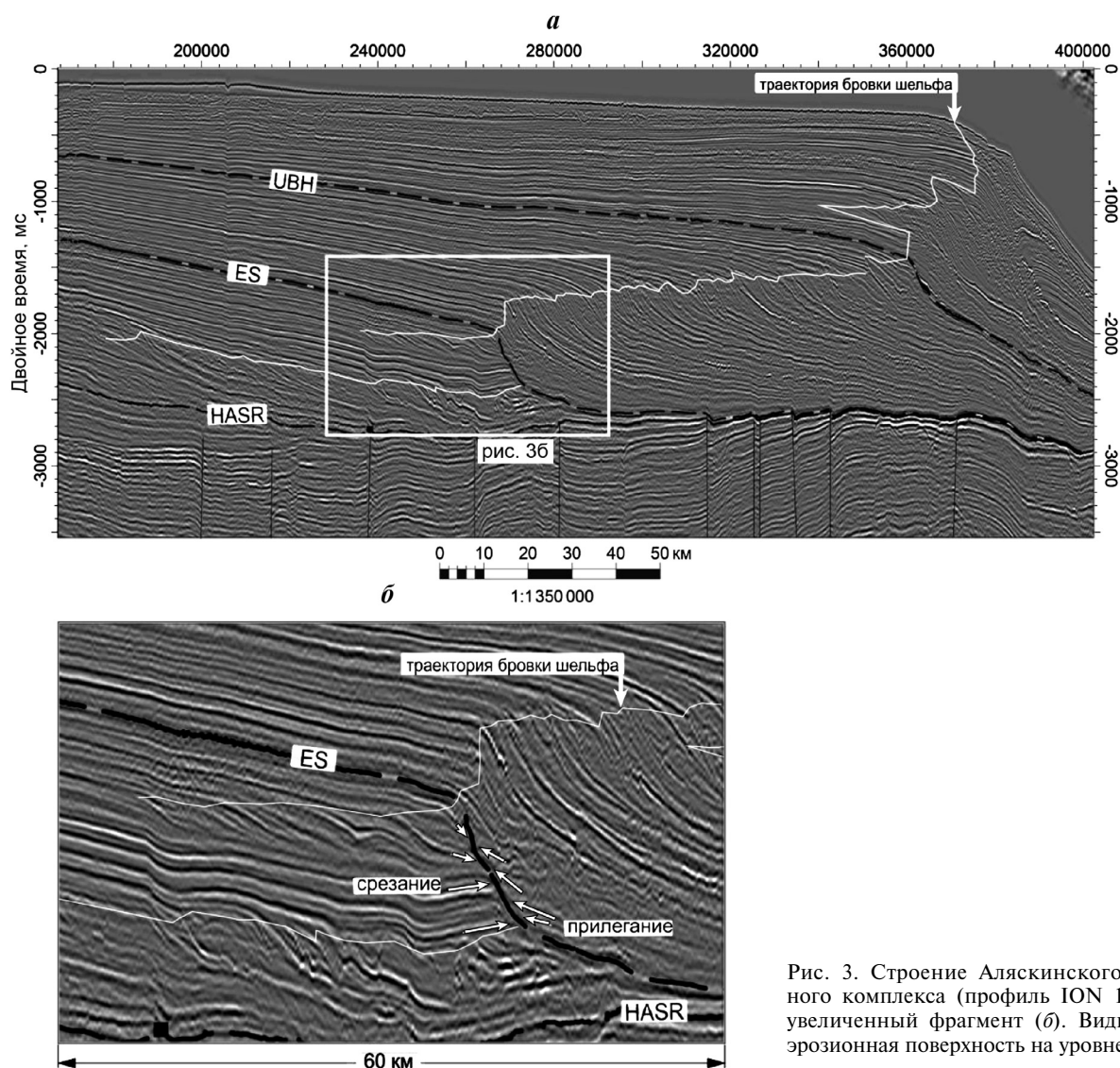


Рис. 3. Строение Аляскинского клиноформного комплекса (профиль ION 11_4300) (а) и увеличенный фрагмент (б). Видна отчетливая эрозионная поверхность на уровне горизонта ES

горизонтов не проводилось, так как изучалась преимущественно кайнозойская история бассейна.

Горизонт AB (acoustic basement) развит на всей изучаемой территории и отделяет акустический фундамент от вышележащего осадочного чехла. Горизонт имеет блоковое строение и ограничивает часть разреза с хаотической записью от стратифицированной толщи, где наблюдаются протяженные оси синфазности.

Горизонт MBU (middle brookian unconformity) соответствует событию орогении и фазе воздымания, установленной на территории Аляски для хр. Брукса [Moore, Vox, 2016; O'Sullivan et al., 1997]. На территории Северо-Чукотского бассейна он выразился в формировании резко несогласной эрозионной границы с залеганием пологоскладчатой толщи ниже него и субгоризонтальной выше. Этот горизонт выделен по данным бурения двух скважин в американском секторе Чукотского моря, но его прослеживание в дистальную часть СЧБ со стороны поднятия Врангеля–Геральта затруднительно, из-за этого его интерпретация неоднозначна.

Горизонт HASR (High amplitude seismic reflectors) соответствует кровле пачки высокоамплитудных рефлекторов HASR, которая распространена во всех бассейнах Арктического региона. В пределах Евразийского бассейна его достаточно надежно коррелируют с линейными магнитными аномалиями, где выклинивание яркой пачки происходит вблизи аномалии 21no (45,724 млн лет) [Nikishin et al., 2017]. Этот горизонт маркирует этап масштабной палеогеографической перестройки региона — на всех профилях СЧБ в это время отмечается резкое продвижение бровки шельфа далеко на юг, что знаменует период масштабной трансгрессии моря в регионе (рис. 2). Причины такой трансгрессии дискуссионны и существуют два возможных варианта.

Первый — в это время произошла первая фаза юриканской орогении, надежно установленная на островах Канадского архипелага [Pierjohn et al., 2016]. Тектонические деформации отражены также в многочисленных разрывных нарушениях этого возраста по всей Арктике. Резкое тектоническое проседание СЧБ могло вызвать отступление бров-

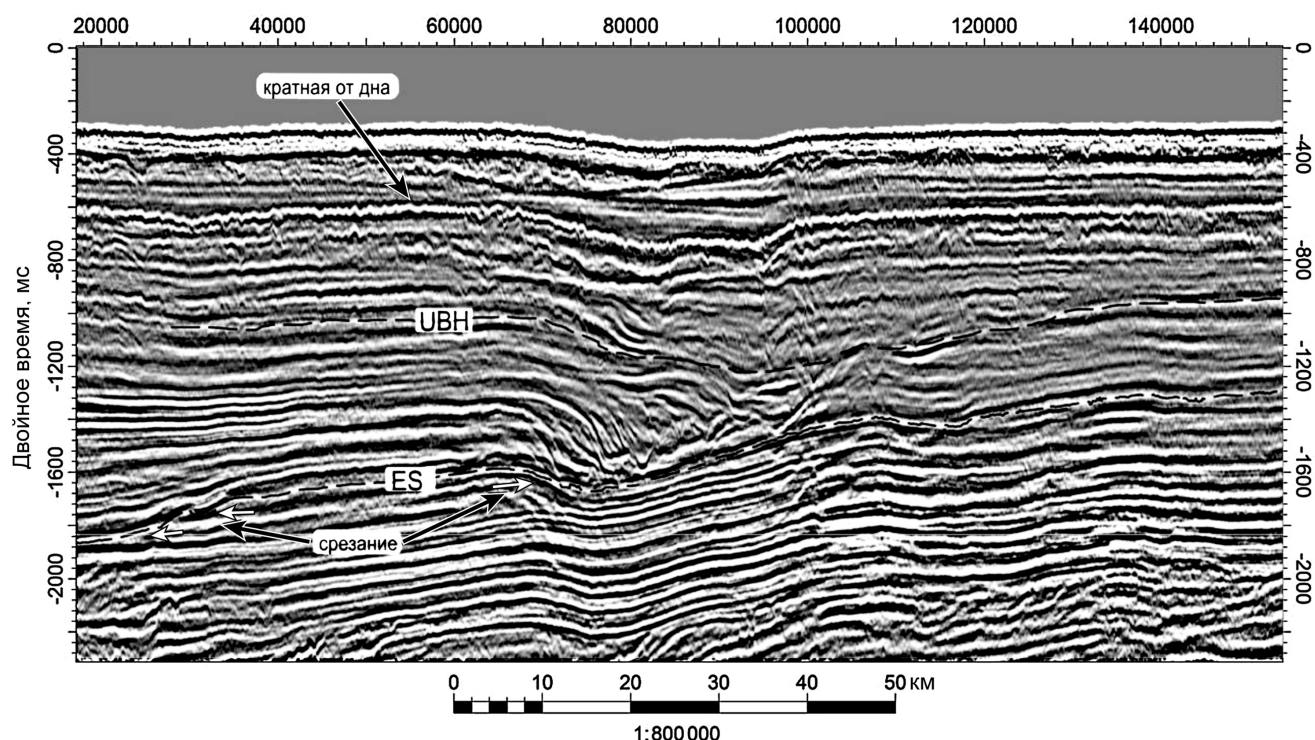


Рис. 4. Фрагмент сейсмического профиля со структурами накопления осадка в условиях активного подводного течения. Такая структура прослеживается от горизонта ES и до современного дна

ки шельфа. К северо-востоку от о. Врангеля на ряде профилей прослеживается пологое угловое несогласие на уровне этого горизонта, что может свидетельствовать о резком проседании всей территории СЧБ.

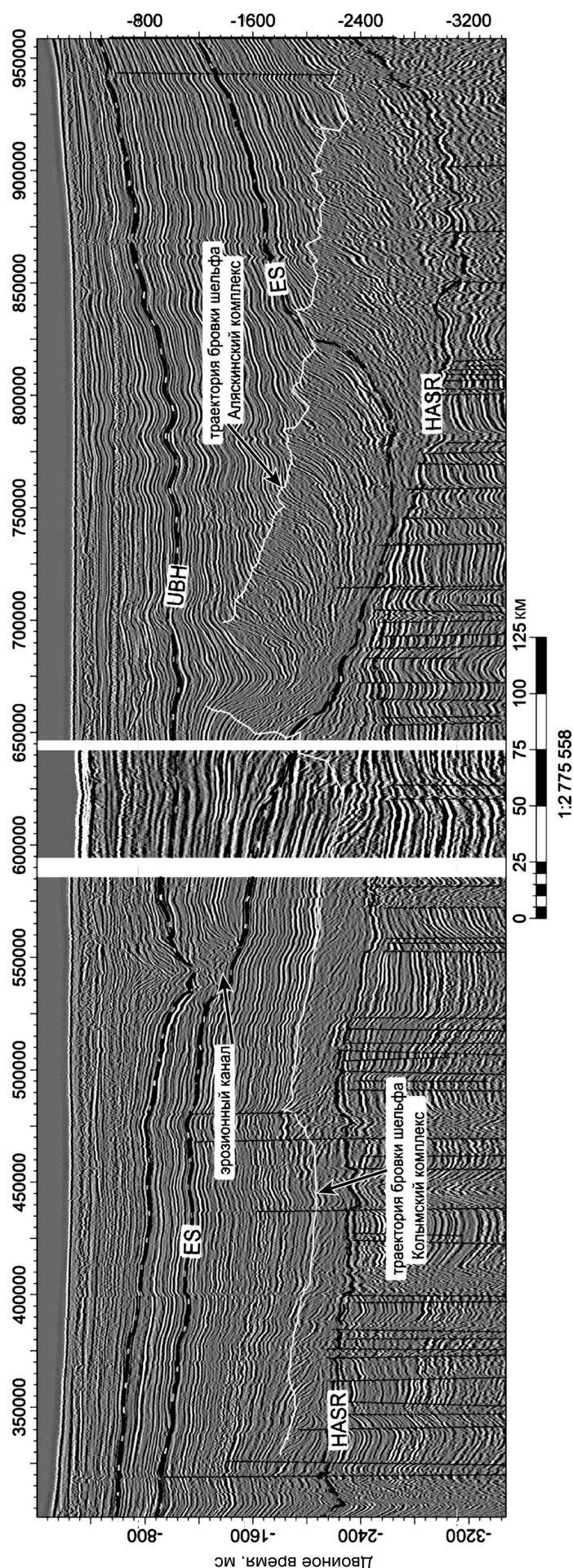
Согласно второму варианту в конце ранне-го—начале среднего эоцена произошла изоляция Арктического бассейна от Мирового океана, что выразилось в формировании опресненного уровня «Azolla» по всей Арктике [Ахметьев и др., 2010]. Такая изоляция в современных климатических условиях привела бы к быстрому росту уровня моря в Арктике за счет огромного речного стока и малого испарения приблизительно на 0,2 м в год [Атлас..., 1989]. Конфигурация водосборных бассейнов рек Восточной Сибири была примерно такой же, как современная, но климат был значительно теплее. Точную оценку скорости и масштаба трансгрессии, вызванной этой причиной для ранне-среднеэоценового изолированного Арктического бассейна, привести затруднительно, но можно рассматривать как один из возможных вариантов.

Горизонт ES (Erosional surface) проведен по яркой эрозионной поверхности, прослеживающейся внутри клиноформного комплекса СЧБ (рис. 3, а, б). В этот момент произошло резкое падение относительного уровня моря и осушение южной части СЧБ. Возрастная привязка этого горизонта неоднозначна. Этот горизонт может быть условно привязан к глобальному резкому падению уровня моря на границе рюпельского и хатского веков.

На сейсмических данных этот горизонт отвечает началу формирования эрозионно-аккумулятивных форм в пределах дистальной части Чукотского шельфа (рис. 4). На ряде профилей виден резкий переход от накопления субпараллельных толщ к толщам с масштабными эрозионными границами и некомпенсированным заполнением каналов. Такие каналы прослеживаются вверх по разрезу вплоть до современного дна, где они также присутствуют. Их существование, скорее всего, связано с наличием долгоживущих стабильных течений на этом участке шельфа.

Горизонт UBH (upper bright horizon) предположительно соответствует началу современной циркуляции водных масс в пределах Северного Ледовитого океана. Считается, что ранее, после закрытия Тургайского пролива в конце раннего эоцена, океан представлял собой изолированный на глубоководном уровне бассейн с практически застойными водами. Нормальная циркуляция, близкая к современной, началась с открытием глубоководного пролива Фрама вследствие тектонических причин. По данным бурения скважины АСЕХ и палеотектоническим реконструкциям это событие привязывают к концу раннего миоцена (18,2–17,5 млн л.) [Jakobsson et al., 2007]. Этот горизонт отчетливо выделяется в глубоководной части Северного Ледовитого океана как очень яркая фаза внутри неконтрастной толщи осадков.

Выделение вышеописанных горизонтов позволяет установить время геологических событий, выявленных по сейсмическим данным. Особое



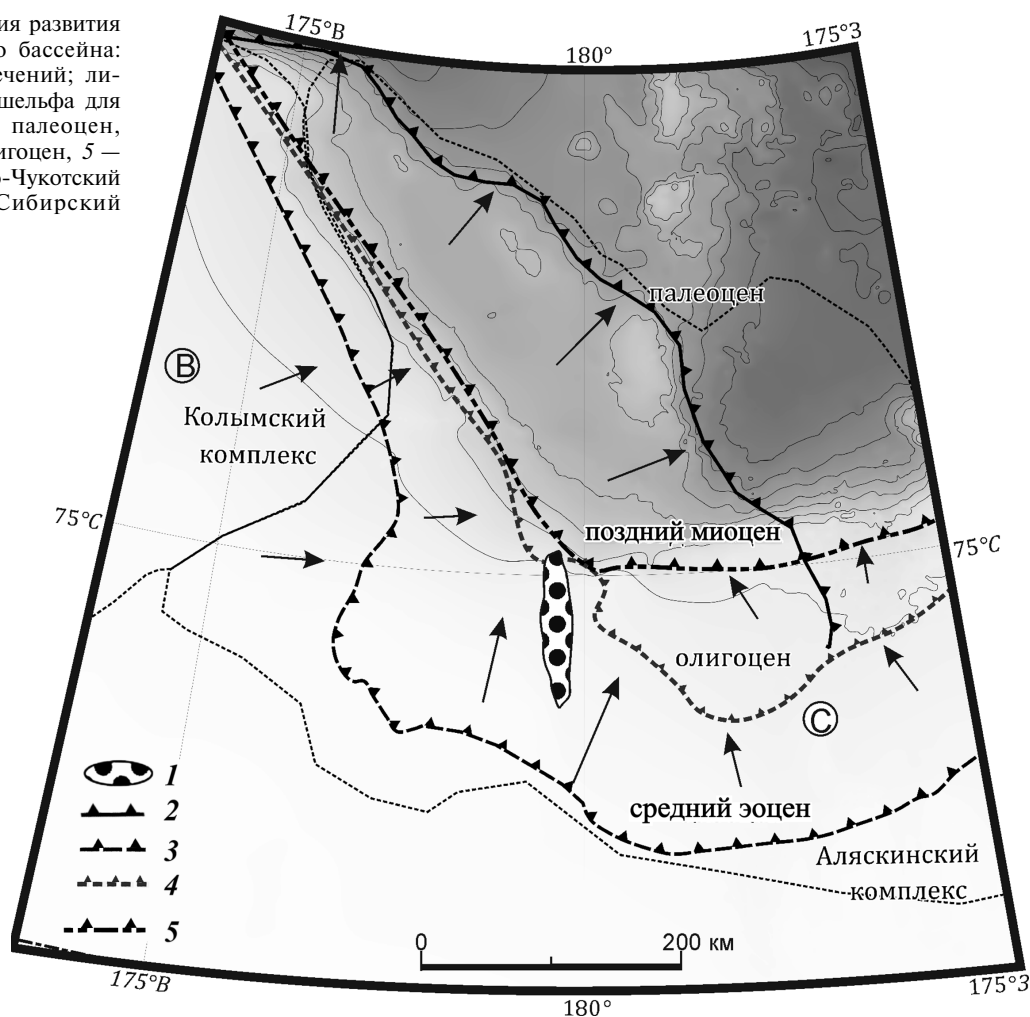
внимание в пределах СЧБ обращают на себя мощные разноориентированные клиноформные комплексы, детальное описание которых будет дано ниже.

Нижний клиноформный интервал представлен одним клиноформным комплексом, имеющим мощность до 6 км и распространенным в пределах наиболее погруженной части Северо-Чукотского бассейна. Он прослеживается только на двух доступных нам для интерпретации профилях, но известен на ряде профилей, выполненных сотрудниками Института имени А. Вегенера в 2008 г. в ходе экспедиции ARK—XXIII/3. Распространение клиноформ этого возраста и максимально дистальное положение бровки шельфа соответствуют в современном рельефе бровке глубоководной террасы Кучерова. Накопление осадочных толщ происходило в условиях постепенного конседиментационного прогибания бассейна, о чем свидетельствует веерообразное залегание ундаформенной части клиноформ. Толщина отдельных клиноформ, слагающих этот интервал, достигает 1 с, что при среднем значении скорости сейсмических волн внутри этой пачки, равном 4,24 км/с, составляет около 2 км. Таким образом, северная часть СЧБ и территория поднятия Менделеева в то время представляла собой глубоководный бассейн с пелагической седиментацией. На уровнях наиболее ярких эрозионных поверхностей в присклоновых частях клиноформ наблюдаются мощные оползневые толщи (mass wasting deposits), что подтверждает глубоководность бассейна. Привязать эрозионные события к глобальной шкале колебаний уровня моря не представляется возможным из-за неоднозначной возрастной интерпретации всего комплекса. Внутри клиноформной толщи выделяются нижняя проградационная часть и верхняя преимущественно агградационная, формировавшаяся в условиях относительного повышения уровня моря (рис. 2).

Есть как минимум две возможные возрастные интерпретации описанного комплекса. Первая, предложенная в работах сотрудников «Дальморнефтегеофизики» и ряде других, относит весь клиноформный комплекс к аптско-верхнемеловому интервалу, отождествляя его, таким образом, с Брукским клиноформным комплексом [Дараган-Сушова и др., 2015; Петровская, Савишкина, 2014; Поселов и др., 2017]. Этот вариант базируется на схожести указанных комплексов на сейсмической записи, их близ-

Рис. 5 Композитный сейсмический профиль демонстрирующий характер заполнения Северо-Чукотского бассейна. Видна противоположная проградация двух клиноформных комплексов

Рис. 6. Кайнозойская история развития шельфа Северо-Чукотского бассейна: 1 — зона развития палеотечений; линии — положение бровки шельфа для различного времени: 2 — палеоцен, 3 — ранний эоцен, 4 — олигоцен, 5 — поздний миоцен; С — Северо-Чукотский бассейн, В — Восточно-Сибирский бассейн



кой мощности и подстилании комплекса границей несогласия (LCU — раннемеловое несогласие). Альтернативная интерпретация подразумевает преимущественно палеогеновый возраст комплекса, в основе этой интерпретации лежит предположение о подстилании комплекса границей MBU, хорошо выраженной на сейсмических профилях около о. Врангеля [Никишин и др., 2017]. В таком случае считается что основным источником сноса материала были воздымающиеся орогены Верхояно-Чукотский и Брукса, последний претерпел эпизод воздымания на границе мела и палеоцена.

Верхний клиноформный интервал залегает выше описанного ранее горизонта HASR. Таким образом, он начал формироваться в начале среднего эоцена. На территории СЧБ в этом интервале наблюдается по меньшей мере 2 разноориентированных клиноформных комплекса, получивших условные названия Аляскинский и Колымский (рис. 5). Аляскинский комплекс покрывает северо-восточную часть СЧБ, он развивался со среднего эоцена и до настоящего времени. Он имеет мощность около 1,5 км и характеризуется превышениями ундаформенной части клиноформ над фондоформенной в среднем на 400–450 м,

что грубо соответствует значениям глубин в этой части палеобассейна для среднеэоценового–миоценового этапа (рис. 3, а). Предположительно источником сноса для этого комплекса послужила территория хр. Брукса, где в то время происходило активное воздымание [Craddock et al., 2018; Moore, Vox, 2016].

Колымский комплекс развит в северо-западной части СЧБ и условно может быть разделен на нижнюю проградационную пачку и верхнюю аградационную. Проградационная пачка характеризуется очень быстрой проградацией при относительно стабильном уровне моря. Горизонт ES, находящийся чуть выше кровли проградационной пачки, явно указывает на разную скорость продвижения Аляскинского и Колымского комплексов. В то же время протяженность проградационной пачки Колымского комплекса составляет около 300 км при мощности около 300 м, за этот же временной интервал Аляскинский комплекс продвинулся на 100 км при мощности до 1 км. Скорее всего, причина этого лежит в разной глубине СЧБ в то время. Его северо-западная часть была значительно мелководнее северо-восточной и исходя из высоты клиноформ имела глубину до 200 м,

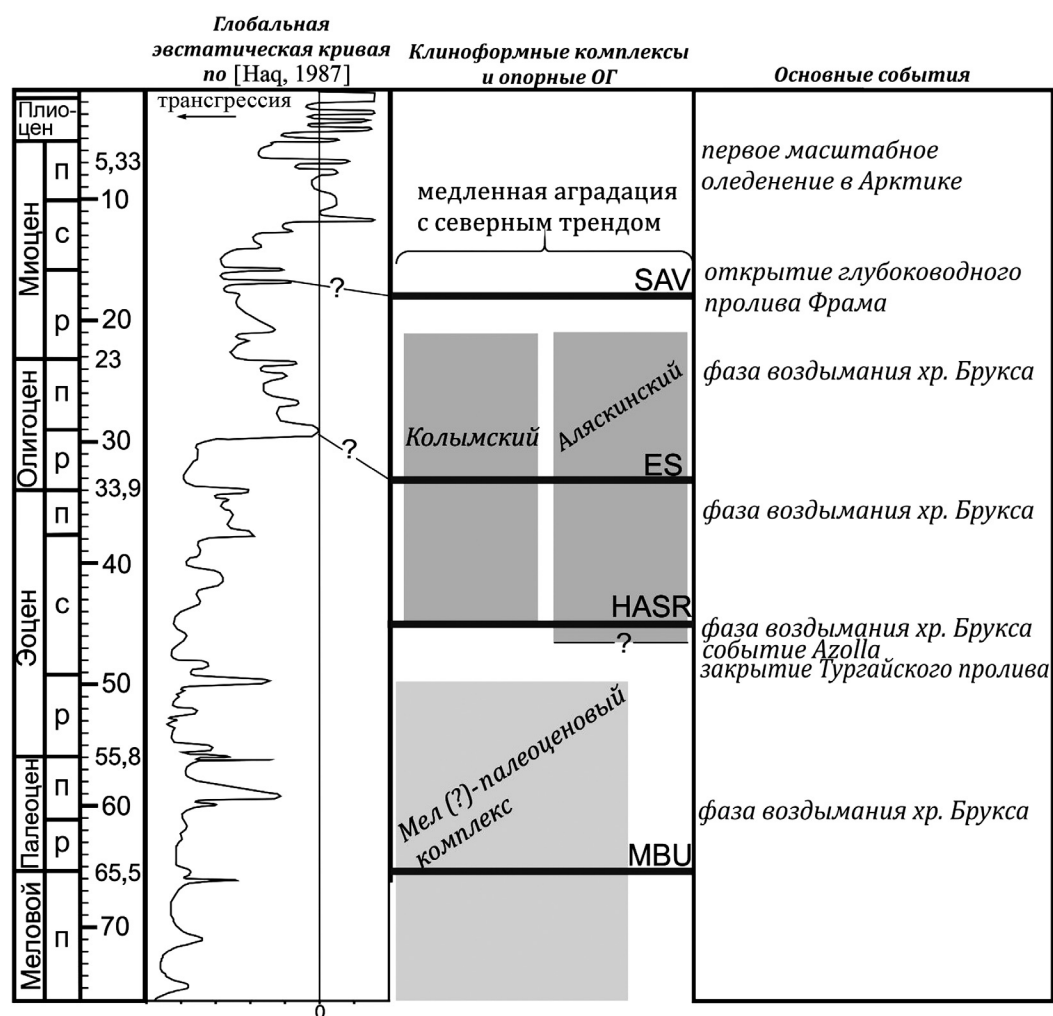


Рис. 7 Хроностратиграфическая схема кайнозойских комплексов Северо-Чукотского бассейна и временная привязка опорных сейсмических горизонтов, описанных в статье

поэтому заполнение бассейна происходило значительно быстрее. В верхней пачке Колымского комплекса наблюдается стабильный эрозионный канал в пределах шельфовой части, который существовал с раннего миоцена по современность (рис. 6).

Заключение. В результате исследований сделана интерпретация кайнозойской геологической истории Северо-Чукотского бассейна и истории развития клиноформных комплексов в его пределах. Основные фазы тектонической перестройки региона (HRAS) и эрозионные этапы (ES) хорошо увязываются с фазами воздымания хр. Брукса на Аляске (рис. 7). История колебания относительно уровня моря для СЧБ и основные трансгрессивно-регрессивные события в общих чертах близки к таковым для Мирового океана, но для детального сопоставления с глобальной эвстатической кривой требуются дальнейшие исследования.

Для Северо-Чукотского бассейна в русскоязычной литературе ранее предлагались только схемы корреляции опорных горизонтов и не было основных событийных выводов [Дараган-Суцова и др., 2015; Петровская, Савишкина, 2014; Поселов и др., 2017]. Возрастная привязка основных опорных горизонтов практически идентична таковой в

работе [Никишин и др., 2017], выводы об истории развития бассейна не противоречат и дополняют ранее предложенные. При этом привязка сильно различается с данными работы [Hegewald, Jokat, 2013]. В то время как в этой работе два масштабных события падения уровня моря интерпретируются как свидетельство изоляции Арктического бассейна, наши данные показывают, что это хорошо коррелирует с глобальной эвстатической кривой и не свидетельствует о начале этапа изоляции.

В позднем мелу(?)—палеоцене в Северо-Чукотском бассейне происходило накопление мощных осадочных толщ клиноформного типа, а территория поднятия Менделеева представляла собой глубоководный бассейн с глубиной не менее 2 км.

В среднем эоцене произошла резкая перестройка региона, а затем последовал очень выраженный трансгрессивный этап с отступанием бровки шельфа на 300–350 км на юг (рис. 6). Причина таких изменений дискуссионна, она может быть как эвстатической (изоляция Арктики на уровне Azolla), так и тектонической (прогибание территории СЧБ одновременно с воздыманием хр. Брукса).

В среднем эоцене—олигоцене бассейн имел глубину около 200 м в северо-западной части и

около 400 м в северо-восточной. Заполнение происходило с двух сторон, но неравномерно из-за палеобатиметрических особенностей.

Предположительно в раннем олигоцене произошло резкое падение уровня моря, соответствующее хатскому событию снижения уровня моря. После этого на шельфе сформировался устойчивый эрозионный канал, который существует и в современном рельефе дна.

На временном уровне позднего миоцена бассейн приобрел современный облик с положением

бровки шельфа очень близко к таковому на настоящий момент (рис. 6).

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (научный проект № 18-35-00133 — «Корреляция основных тектонических и палеогеографических событий, проинтерпретированных в пределах Северо-Чукотского бассейна с региональными событиями», а также № 18-05-00495 и 18-05-70011).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Александрова Г.Н. Северо-Восток России в палеогене и неогене // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2016. Т. 91, вып. 4–5. С. 148–164.

Атлас океанов / Горшков С.Г., Чернавин В.Н. и др. Термины, понятия, справочные таблицы. М.: ГУНК МО СССР, 1980. С. 84–119.

Ахметьев М.А., Запорожец Н.И., Яковлева А.И. и др. Сравнительный анализ разрезов и биоты морского палеогена Западной Сибири и Арктики // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2010. Т. 18, № 6. С. 78–103.

Дараган-Суцова Л.А., Петров О.В., Соболев Н.Н. и др. Геология и тектоника Северо-Востока российской Арктики (по сейсмическим данным) // Геотектоника. 2015. № 6. С. 3–19.

Конторович А.Э., Эпов М.И., Бурштейн Л.М. и др. Геология, ресурсы углеводородов шельфов арктических морей России и перспективы их освоения // Геология и геофизика. 2010. Т. 51, № 1. С. 7–17.

Линева М.Д., Малышев Н.А., Никишин А.М. Строение и сейсмостратиграфия осадочных бассейнов Восточно-Сибирского моря // Вест. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2015. № 1. С. 3–9.

Никишин А.М., Петров Е.И., Малышев Н.А. и др. Рифтовые системы шельфа российской Восточной Арктики и арктического глубоководного бассейна: связь геологической истории и геодинамики // Геодинамика и тектонофизика. 2017. Т. 8, № 1. С. 11–43.

Петровская Н.А., Савишкина М.А. Сопоставление сейсмокомплексов и основных несогласий в осадочном чехле шельфа Восточной Арктики // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2014. Т. 9, № 3. С. 1–26.

Поселов В.А., Буценко В.В., Жолондз С.М. и др. Сейсмостратиграфия осадочного бассейна котловины Подводников и Северо-Чукотского прогиба // Докл. РАН. Сер. Геофизика. 2017. Т. 474, № 5. С. 621–624.

Craddock W.H., Moore T.E., O'Sullivan P.B. et al. Late Cretaceous-Cenozoic exhumation of the Western Brooks Range, Alaska, revealed from apatite and zircon fission track data // Tectonics. 2018. Vol. 37, N 12. P. 4714–4751.

Ehlers B.M., Jokat W. Paleobathymetry of the northern North Atlantic and consequences for the opening of the Fram Strait // Mar. Geophys. Res. 2013. Vol. 34, N 1. P. 25–43.

Hegewald A., Jokat W. Relative sea level variations in the Chukchi region Arctic Ocean — Since the late Eocene // Geophys. Res. Lett. 2013. Vol. 40, N 5. P. 803–807.

Houseknecht D.W., Bird K.J., Schenk C.J. Seismic analysis of clinoform depositional sequences and shelf-margin trajectories in Lower Cretaceous (Albian) strata, Alaska North Slope // Basin Res. 2009. Vol. 21, N 5. P. 644–654.

Jakobsson M., Backman J., Rudels B. et al. The early Miocene onset of a ventilated circulation regime in the Arctic Ocean // Nature. 2007. Vol. 447, N 7147. P. 986–990.

Moore T.E., Box S.E. Age, distribution and style of deformation in Alaska north of 60 °N: Implications for assembly of Alaska // Tectonophysics. 2016. Vol. 691. P. 133–170.

Nikishin A., Gaina C., Petrov E. et al. Eurasia Basin and Gakkel Ridge, Arctic Ocean: Crustal asymmetry, ultra-slow spreading and continental rifting revealed by new seismic data // Tectonophysics. 2018. Vol. 746. P. 64–82.

Nikishin A.M., Malyshev N.D., Petrov E.I. Geological structure and history of the Arctic ocean. The Netherlands: EAGE Publ., 2015. 88 p.

O'Sullivan P.B., Murphy J.M., Blythe A.E. Late Mesozoic and Cenozoic thermotectonic evolution of the central Brooks Range and adjacent North Slope foreland basin, Alaska: Including fission track results from the Trans-Alaska Crustal Transect (TACT) // J. Geophys. Res. 1997. Vol. 102, N 89. P. 20 821–20 845.

Petrov O., Morozov A., Shokalsky S. et al. Crustal structure and tectonic model of the Arctic region // Earth. Sci. Rev. 2016. Vol. 154. P. 29–71.

Piepjohn K., Gosen W. von, Tessensohn F. The Eureka deformation in the Arctic: an outline // J. Geol. Soc. Lond. 2016. Vol. 173, N 6. P. 1007–1024.

Verzhbitsky V., Frantzen E., Savostina T. et al. The Russian Chukchi Sea // GEO ExPro. 2008. Vol. 5, N 3. P. 36–38.

Поступила в редакцию 06.12.2018

Поступила с доработки 27.07.2019

Принята к публикации 25.06.2019