

DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/20_2016

УДК 552.14:551.352(268)

Элькина Д.В., Посёлова Л.Г., Павленкин А.Д., Посёлов В.А.

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана имени академика И.С. Грамберга» (ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга»), Санкт-Петербург, Россия, darielfly@gmail.com, slg@vniio.nw.ru, pav@vniio.nw.ru, var@vniio.nw.ru

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСАДКОВ В АРКТИЧЕСКОМ БАССЕЙНЕ

По данным последних сейсмических исследований, проведенных на шельфе Восточно-Сибирского и Чукотского морей, а также на примыкающем глубоководье Амеразийского бассейна, уточнена карта мощности осадочного чехла Арктического бассейна, включающего глубоководье Северного Ледовитого океана и примыкающие шельфы Евразии. Впервые выделен кольцевой мегапрогиб, представленный системой сверхглубоких впадин, окружающей глубоководье Северного Ледовитого океана и примыкающий Баренцево-Северокарский шельф. Этот прогиб является основной областью аккумуляции осадков всей акватории Арктики, поступающих с разных сторон к оси прогиба. На основании рассмотрения каналов стока (транзита) осадков подтверждается континентальная природа Амеразийского бассейна, естественное продолжение его поднятий через прогиб на шельф, а также рассматривается структурная последовательность накопления осадков в Арктике в связи с фазами континентального рифтогенеза.

Ключевые слова: карта мощности осадочного чехла, источники сноса, каналы транзита и области аккумуляции осадков, впадины и прогибы, синрифтовая и пострифтовая фазы осадконакопления, сводовое поднятие, Арктический бассейн.

Введение¹

Арктический бассейн, представленный глубоководьем Северного Ледовитого океана (СЛО) и примыкающими к нему со стороны Евразии шельфами морей, изучается уже более полувека с целью определения глубинной структуры земной коры и структуры осадочного чехла. На рис. 1 приведена батиметрическая карта Арктического бассейна. На ней выделяются глубоководье Северного Ледовитого океана, со всех сторон ограниченное континентальными склонами и включающее Евразийский бассейн, который в свою очередь ограничен континентальным склоном Баренцево-Карского шельфа и хребтом Ломоносова, и Амеразийский бассейн на остальной части глубоководья. Остальная часть Арктического бассейна представлена шельфами морей Баренцева, Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского.

¹ В отзывах рецензентов отмечается дискуссионность ряда положений и недоработки в изложении некоторых позиций. В этой связи Редакция журнала сочла уместным её размещение в дискуссионном разделе издания.

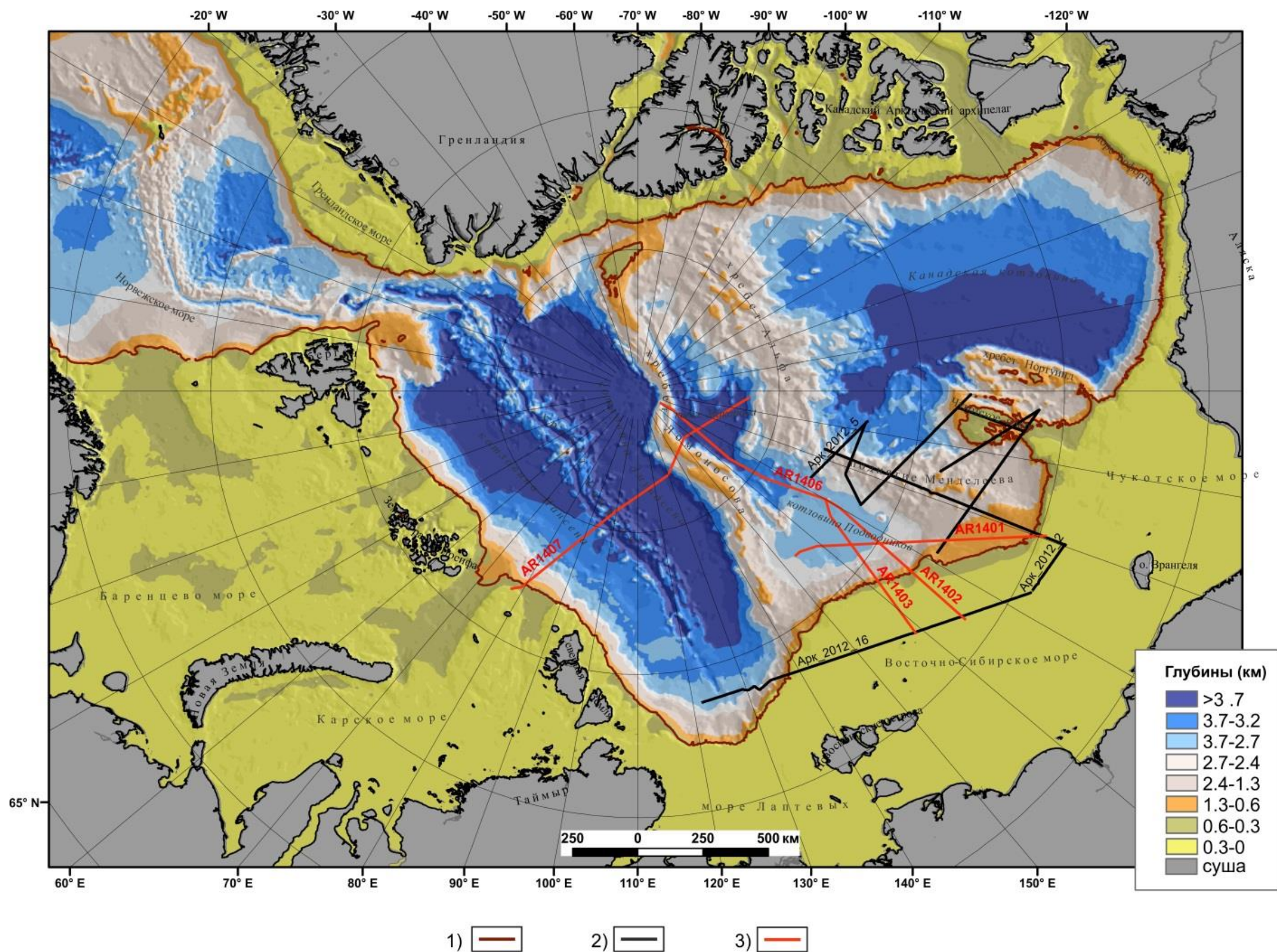


Рис. 1. Батиметрическая карта с выполненными в 2012 и 2014 гг. сейсмическими профилями, которые были использованы для построения обновленной карты мощности осадочного чехла
1) - изобата 600 м, сейсмические профили: 2) - 2012 г., 3) - 2014 г.

Евразийский бассейн является океаническим с осью спрединга на центральном хребте Гаккеля и линейными магнитными аномалиями (ЛМА) от осевой до двадцать четвертой включительно. По выглаженной морфоструктуре дна примыкающие к глубоководью шельфы с резко варьирующими по мощности осадочным чехлом перекрыты пострифтовыми осадками. Амеразийский же бассейн отличается крайне сложной морфоструктурой, определившей неоднозначность представлений о его эволюции [Арктические моря, 2004]. Кроме того, до последнего времени изученность его коры, включая осадочный чехол, оставалась низкой.

К началу 21 века наиболее детально была изучена структура осадочного чехла Баренцево-Карского шельфа, рассмотренная практически на современном уровне в монографии «Арктические моря» [Арктические моря, 2004]. Это связано с близостью шельфа к крупным нефтегазоносным провинциям суши и промышленно освоенным регионам России, что в своё время облегчало его исследования. Кроме того, в летний период Баренцево-Карский шельф освобождается ото льда, что позволяет применять разработанную для акваторий технологию наблюдений с получением высококачественного сейсмического материала МОВ ОГТ. На остальной акватории Арктического бассейна применялись наблюдения, производимые со льда на дрейфующих станциях либо с ледоколов, где в обоих случаях приёмное устройство было укорочено до первых сотен метров, что резко снижает качество получаемого материала и вводит неоднозначность в структурные построения.

Начиная с 2007 г., в Арктическом бассейне за пределами Баренцево-Карского шельфа стала применяться технология, обеспечивающая наблюдения с длиной приёмного устройства 4,5-10 км, что резко повысило качество волнового поля, позволило проиндексировать отражающие горизонты и привязать их к скважинам на хребте Ломоносова (АСЕХ) и в Северо-Чукотском прогибе (POPCORN и другие). С учетом этих данных была построена и опубликована карта мощности осадочного чехла Северного Ледовитого океана [Поселов и др., 2012]. На ней всё еще оставались слабоизученными, в том числе и в региональном масштабе шельфы Восточно-Сибирского и Чукотского морей, что делало оконтуривание крупных впадин и прогибов неустойчивым. В дальнейшем работы, проводимые в 2012 и 2014 гг., позволили ликвидировать крупные пробелы на карте сейсмической изученности, что дало основания улучшить карту мощности осадочного чехла Арктической акватории, которая приводится на рис. 2 в качестве основы для интерпретации структуры осадков. Интерпретация этой карты авторами приведена на этом же рисунке, а также на вырезке из него (рис. 3), и рассматривается ниже. Для отображения суши на рис. 2 и 3 использовался грид ИВСаО 3.0 [Jakobsson и др., 2012].

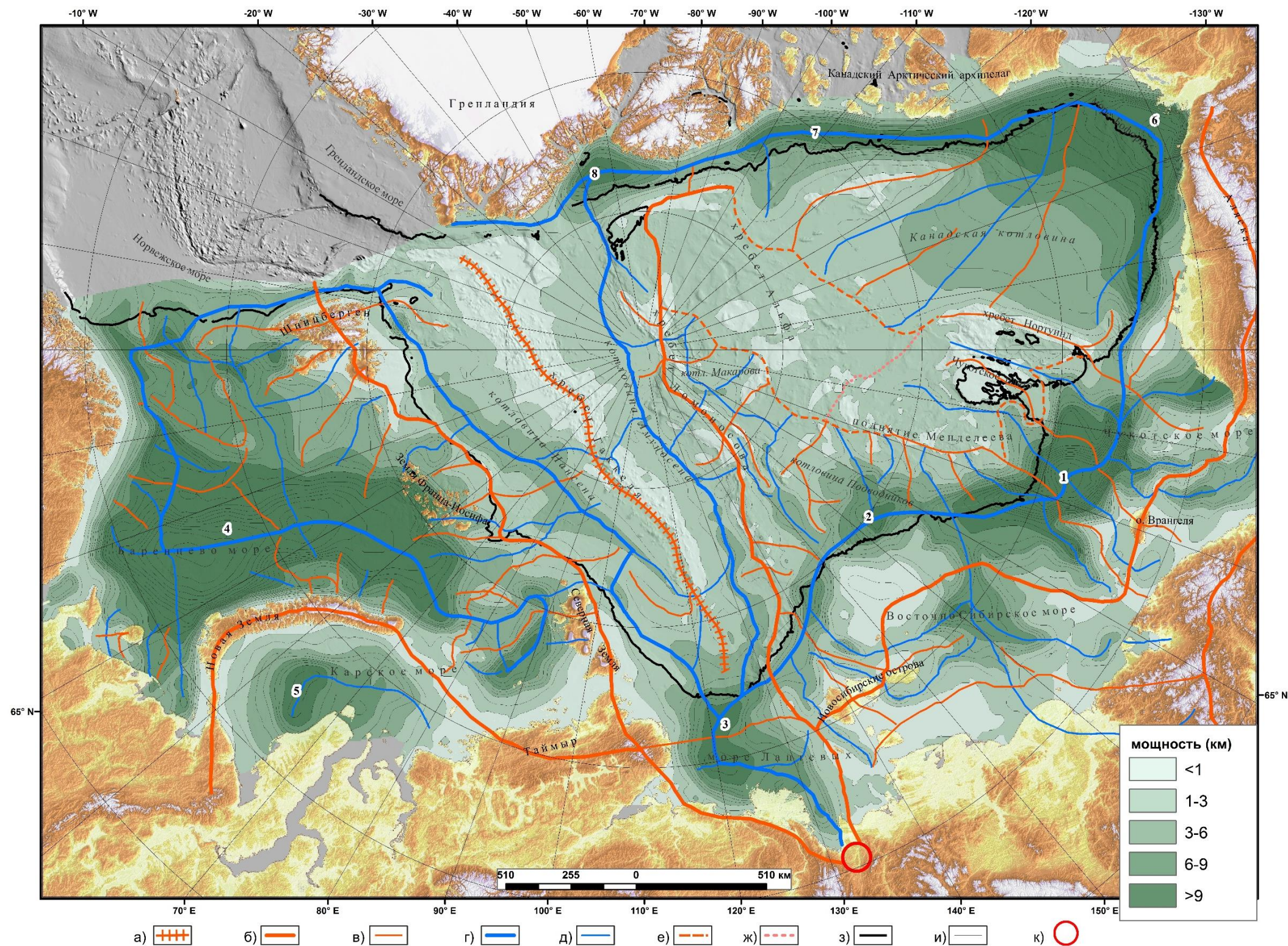


Рис. 2. Карта мощности осадочного чехла Арктической акватории с выделением осей источников сноса, транзита осадков и зон их аккумуляции

а) - хребет Гаккеля, б) - оси основных поднятий (источников сноса осадков), в) - оси поперечных поднятий (отрогов), г) - оси основных прогибов (областей главной аккумуляции осадков), д) - оси поперечных впадин (каналов стока осадков), е) - границы безосадочного плато, ж) - поперечное поднятие в плато, разделяющее его на два сегмента, отличающихся по морфоструктуре, з) - изобата 600 м, и) - изолинии мощности осадочного чехла, к) - полюс раскрытия Американо-Сибирского бассейна согласно [Глебовский и др., 2007].

Осадочные бассейны: 1 - Северо-Чукотский, 2 - прогиб Вилькицкого, 3 - Западно-Лаптевоморский, 4 - Баренцевоморский, 5 - Карский, 6 - Бофорта-Маккензи, 7 - Сведрупский, 8 - Линкольна.

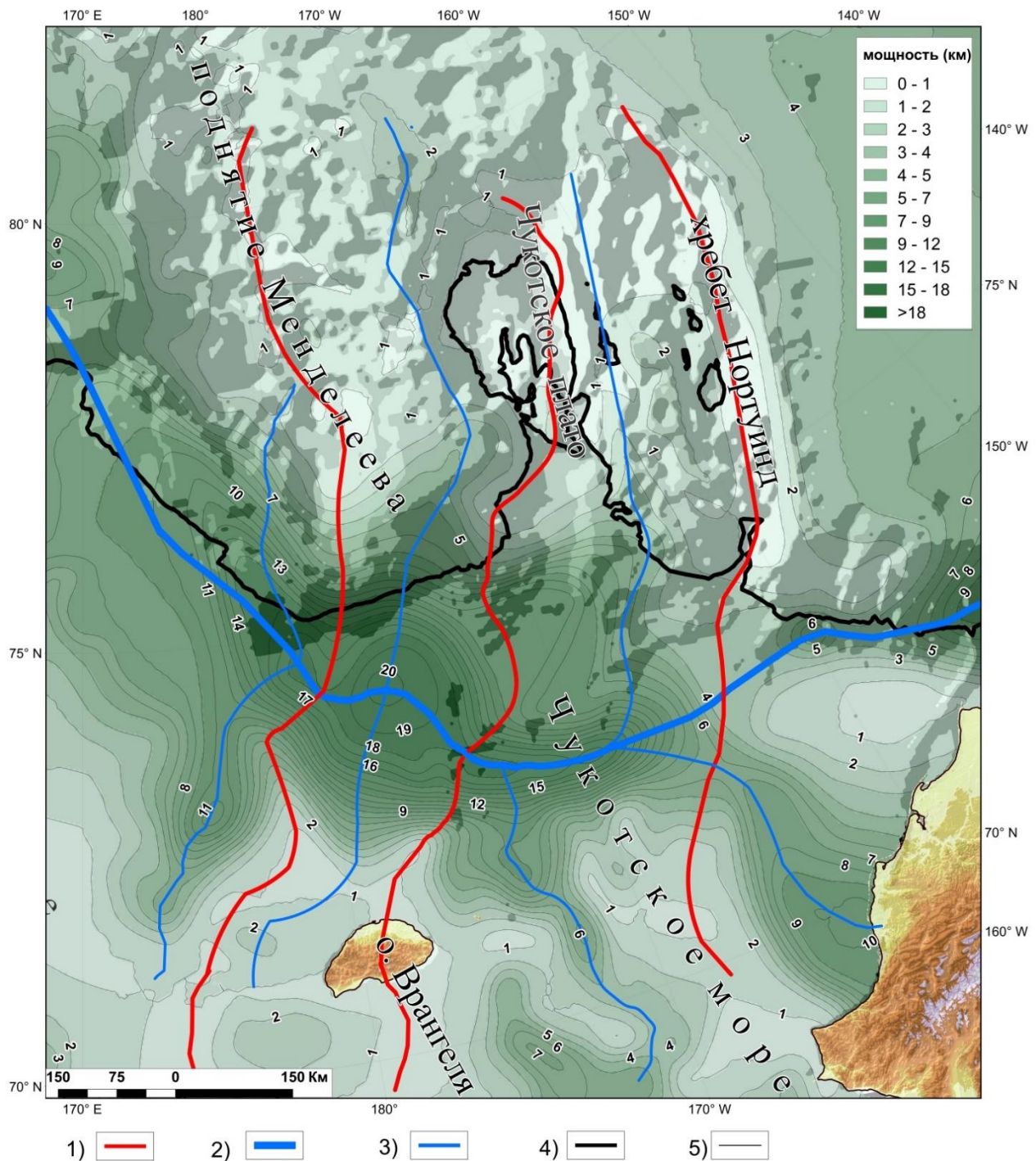


Рис. 3. Фрагмент рис. 2 в зоне перехода в зоне перехода поднятий Американо-Азиатского бассейна на шельф Чукотского моря с выделением характерных изолиний мощности осадочного чехла
 1) - оси поперечных поднятий (отрогов), 2) - оси основных прогибов (областей главной аккумуляции осадков), 3) - оси поперечных впадин (каналов стока осадков), 4) - изобата 600 м, 5) - изолинии мощности осадочного чехла.

Карта мощности осадочного чехла СЛО построена как ГИС проект в формате ArcGIS 9.3, масштаб 1:5000000. Методика её начального построения подробно описана в статье [Поселов и др., 2012]. Представляемая здесь карта является её обновлённым вариантом.

Актуализация состояла в привлечении новых сейсмических данных, полученных на профилных наблюдениях МОВ ОГТ 2012 и 2014 гг. (см. рис. 1). Разрезы были стратифицированы и откоррелированы по горизонтам с привязкой к скважинам. Для карты использовались данные положения разновозрастного акустического фундамента. С целью уточнения изолиний мощности осадочного чехла в зоне шельфа привлекались фондовые материалы по картам мощности осадков в Баренцевом (Т.С. Сакулина «Севморгео»), Восточно-Сибирском и Чукотском морях (О.И. Супруненко «ВНИИОкеангеология», Т.А. Кириллова «МАГЭ», Н.Н. Соболев «ВСЕГЕИ»), а также данные экспедиции 2008 г. Института полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера (AWI) в районе поднятия Менделеева и Чукотского моря [Hegewald, 2012]. За исключением данных AWI, карты в зоне шельфа, представленные указанными авторами, построены в рамках договорных работ с производственными организациями, проводившими детальные сейсмические исследования. В основе построения обновлённой карты использовался в качестве исходного файл изолиний мощности осадочного чехла из версии карты 2012 г. Далее значения корректировались по величинам мощности осадков с вышеназванных профилей и карт. В результате был получен новый отредактированный файл изолиний мощности осадочного чехла. Для наглядности величин мощности чехла при выделении осадочных бассейнов по результативному файлу изолиний был построен ГРИД с размером ячейки 5000 x 5000 (Инструмент Spatial Analyst, интерполяция, топо в растр) (см. рис. 2).

Основные закономерности формирования, стока и аккумуляции осадков

На материках выделяются континентальные водоразделы, от осей которых водный сток направлен в разные океаны, примыкающие к континентам. Исключения составляют бессточные области, в центре которых поверхность коры погружена относительно окружающих поднятий. Уровень осей водоразделов варьирует, что выделяет на них, как и на любых вытянутых поднятиях и хребтах, локализованные вершины и разделяющие их седловины. От вершин по нормали в разные стороны отходят отроги (поперечные поднятия), а к седловинам примыкают погруженные ущелья (впадины), разделяющие отроги. Это обеспечивает водный сток от осей главных хребтов и их отрогов в ущелья, что формирует реки. Далее уже с гораздо меньшей крутизной поверхность суши на всём протяжении равнин континента погружается к океанам, что обеспечивает сток рек и их притоков к океанам на протяжении часто до нескольких тысяч км (Обь, Енисей, Амазонка и ряд других рек). Реки являются основными каналами стока (транзита) водных масс и распределяются на континентах достаточно дискретно.

Сток осадков происходит по той же схеме что и на суше, но продолжается на акваториях по поверхности дна, так как эта поверхность продолжает погружаться от

береговой линии далее в соответствии с батиметрией. Здесь, как и на континентах, выделяются поднятые участки (подводные возвышенности, хребты, плато) и погруженные участки (котловины, впадины).

По батиметрии дна осадки в глубоководье СЛО в настоящее время могут поступать со всех сторон, так как ось максимальных глубин глубоководья (прогиб по поверхности дна) проходит от западной части Евразийского бассейна на котловину Макарова и далее на котловину Менделеева и западную часть Канадской котловины, а источники сноса примыкают к побережью. С другой стороны, система поднятий в западной половине Американо-Евразийского бассейна, как и разделяющие поднятия котловины, отличаются маломощным чехлом. Поэтому принципиальным становится вопрос: когда Американо-Евразийский бассейн погрузился под водный слой, и являлись ли его поднятия источниками сноса?

Вытянутые узкие погруженные части акваторий, по простиранию погружающиеся в одну сторону, являются каналами стока (транзита) осадков, которые, стекая в основном в зоны их аккумуляции, выделяемые как осадочные бассейны, прогибы и впадины, частично осаждаются в каналах стока, что позволяет выделить эти каналы. Процессы осадконакопления в акваториях подробно рассмотрены в монографиях А.П. Лисицына (1974, 1978 гг.).

Принципиальное отличие осадочного стока от водного заключается в том, что при переходе от крутого наклона поверхности стока к пологому (у основания горных хребтов и континентальных склонов) осадки резко замедляют скорость стока и начинают накапливаться у этого основания быстрее, чем стекать далее, что вносит свой вклад в формирование предгорных прогибов (Предуральский, Предгималайский и многие другие), а на акваториях - присклоновых прогибов, почти повсеместно наблюдаемых у оснований континентальных склонов.

Со временем связь прогибов с основаниями склонов несколько нарушается, так как, во-первых, идёт проградационное наращивание склонов. Палеоось прогиба уже оказывается под склоном, сам прогиб расширяется, что делает неоднозначным выделение его оси. Другая причина отклонения оси прогиба от основания склона может быть связана с тем, что прогиб наращивается с двух сторон, если имеет место встречное падение поверхности дна. Третьей причиной может стать эрозионный размыв горного и континентального склонов, который со временем изменяет положение их оснований. Четвёртая причина может быть связана с мощностью стока осадков, меняющейся по латерали в связи с разной интенсивностью источников сноса. Наконец, ось прогиба также отличается разными уровнями, которые меняются, например, при пересечении прогиба поперечными поднятиями. Это сказывается на траектории каналов сноса, разбивая прогиб на систему впадин.

Кроме того, в структуре осадконакопления особо важную роль играет следующий момент. Осадки аккумулируются во впадинах, локально углублённых относительно окружающих поднятий по поверхности дна не очень сильно, однако мощность осадков в них со временем может достигнуть десятков километров. Для сохранения стабильности аккумуляции осадков недостаточно просто стабильности источников сноса и траекторий сноса осадков - необходимо погружение дна впадин и соответственно осадочного чехла, что может иметь конвекционную и изостатическую причины. Изостатически под впадиной, в которой верхняя часть плотностной колонки разуплотнена осадками, сокращается мощность верхней коры и поднимается поверхность мантии. При этом верхняя кора растягивается с сокращением мощности.

Особым вопросом является формирование континентальных склонов, переходящих за пределами их оснований в глубоководные продолжения континентов. Согласно общепринятым моделям, склоны формируются на стадии рифтовой фазы континентального рифтогенеза. Одна из причин этого может быть связана с тем, что рифтовая фаза, в процессе которой определённая континентальная область растягивается и погружается под водный слой, инициируется тем, что до рифтовой фазы в пределах этой области возникает сводовое поднятие под влиянием разогрева, разуплотнения и расширения мантии без изменения массы изостатической колонки. Такая модель приводится в работах Д.П. Кеннета (1987 г.), В.Е. Хаина и М.Г. Ломизе (1997 г.) и других. Свод размывается и является источником сноса осадков, аккумулируемых у основания свода (у которого далее формируется континентальный склон). Поэтому присклоновые осадки обычно древнее, чем сам континентальный склон. Другая причина может быть связана с тем, что область растяжения ограничена жесткими недеформируемыми блоками коры. Из-за этого растяжение быстро возрастает с удалением от границ этих блоков.

Интерпретационная модель карты мощности осадочного чехла

Как было рассмотрено, осадки транзитом стекают от источников сноса к зонам их аккумуляции. Оси источников сноса (оси водораздельных поднятий и их отроги) на карте обозначены красным цветом, при этом оси основных и протяженных поднятий нанесены более жирными линиями (см. рис. 2, 3). Особой линией выделяется ось хребта Гаккеля, который не является источником сноса. Повышенная мощность осадков подчеркивается изолиниями мощности осадочного чехла, имеющими определённое простираие и обычно замыкаемыми в вытянутые линзы. Выделяются синим цветом оси этих линз, отвечающие впадинам (на их границах изолинии замыкаются) или каналам сноса осадков (вдоль оси каналов изолинии мощности осадочного чехла наращиваются, но не замыкаются). Впадины обычно примыкают друг к другу, формируя на их границе перемычку с пониженной

мощностью осадков. Примыкающие по простиранию впадины объединяются в прогибы, среди которых выделяются протяжённые (основные), выделяемые жирными синими линиями. Кроме линий осей поднятий, отрогов, впадин и прогибов, на карте мощности осадков в акватории выделяется бровка шельфа по изобате 600 м (вершина континентального склона). На бровке шельфа резко повышается угол падения поверхности дна, и обычно её выделяют по максимуму второй производной этой поверхности. Изобата 600 м является среднестатистической для континентальных склонов Арктики, а возможные отклонения от нее на одну-две сотни метров при региональных построениях не имеет значения. Изобата Каналы сноса осадков обычно по нормали подходят к впадинам и прогибам, а поднятия могут пересекать прогибы в местах перемычек между впадинами. Поэтому такие стыковки и пересечения красных и синих осей на карте естественны. При этом если основной прогиб имеет поперечные заливы, связанные с подходом каналов стока осадков, то изолинии мощности осадков отходят в сторону этих каналов, расширяя впадины в поперечном направлении. Если же прогибы пересекают поднятия, то формируют перемычку между впадинами (см. рис. 2, 3)².

Арктический бассейн

На карте мощности осадочного чехла (см. рис. 2) сначала были выделены основные глубокие и сверхглубокие впадины и линии простирания их осей, а затем эти линии протрассированы между впадинами через зоны понижения мощности чехла, не нарушающие непрерывного соединения впадин в общий прогиб. В Амеразийском бассейне ось прогиба проходит через впадины 8, 7, 6, 1, 2 и 3, примыкая к бровке шельфа (проведённой по изобате 600 м), на юге Евразийского бассейна её продолжение также примыкает к бровке шельфа, переходя на западе архипелага Северной Земли в Баренцево-Северокарский бассейн и продолжаясь в нём на шельфе, огибая его на некотором расстоянии от Новой Земли, Кольского полуострова и Норвежского бассейна. Этот почти кольцевой мегапрогиб разрывается только севернее Гренландии в месте его пересечения спрединговым Евразийским бассейном.

Баренцево-Северокарский бассейн

Высокая изученность осадочного чехла Баренцева моря не оставляет сомнения в том, что ось прогиба в Баренцевом море отвечает палеоконтинентальному склону, а глубоководье на протяжении палеозоя и мезозоя при проградации склона было засыпано осадками до

² Обновлённый вариант карты мощности осадочного чехла Северного Ледовитого океана является очередным вкладом в познание структуры региона. Вместе с тем использование карты для познания латерального распределения разновозрастных комплексов чехла, равно как и других историко-геологических проблем Арктики, возможно только с привлечением дополнительных более содержательных данных палеографического плана.

уровня шельфа (мощность кайнозойских осадков не превосходит первых сотен метров). До раскрытия кайнозойских спрединговых Норвержско-Гренландского и Евразийского бассейнов Баренцево-Северокарский бассейн был со всех сторон окружен поднятиями, являвшимися источниками сноса. На рассматриваемой карте выделена ось поднятия ограничивающего бассейн с севера. Оно морфоструктурно представлено системой архипелагов и почти не включает осадков. С юга это поднятие (судя по карте мощности) обрывается крутыми склонами поверхности фундамента, отвечающими палеоконтинентальному склону. Такие же склоны выделяются со стороны Новой Земли и Кольского полуострова на сторонах, примыкающих к Баренцеву морю.

Со стороны окружающих Баренцево-Северокарский бассейн поднятий выделяются оси поперечных более мелких поднятий и разделяющие их оси поперечных впадин (каналов стока осадков). Эти оси показывают, что сток в центральную часть бассейна был всесторонним, хотя возможно, что наиболее глубокие впадины (Южно-Баренцевская и Северо-Баренцевская) были перекрыты осадками ранее (локальные каналы стока не доходят до них). По структуре осадков установлено, что в пермо-триасе в Баренцевом море шла лавинная пострифтовая седиментация осадков, а в девоне-карбоне накапливались синрифтовые осадки (эти отложения имеют грабен-горстовую структуру) [Арктические моря, 2004]. Выделяются также дорифтовые отложения раннего палеозоя. Континентальный рифтогенез в Баренцево-Карском бассейне не перешел в спрединговую фазу, а тектоническая активность в мезозое сместилась в сторону будущего Евразийского бассейна.

Евразийский бассейн

Этот бассейн ограничен поднятиями хребта Ломоносова и Баренцево-Карских архипелагов, с которых просматриваются каналы стока осадков в бассейн. По поверхности дна склоны этих двух поднятий имеют крутое погружение по структуре континентальных склонов, хотя склон хребта Ломоносова не начинается от бровки шельфа. Продолжение оси этих двух пограничных поднятий на Таймыр и Верхоянский хребет приводит к полюсу раскрытия Евразийского бассейна, выделенного по схождению линейных магнитных аномалий (ЛМА) [Глебовский и др., 2007]. Склоны обоих поднятий на шельфе моря Лаптевых по поверхности фундамента очень круто погружаются к Лаптевоморской впадине, что делает однозначным выделение этих поднятий на шельфе моря Лаптевых. К северу за пределами этого шельфа в Евразийском бассейне выделяются оси прогибов котловин Нансена и Амундсена, которые расходятся, а их положение примерно отвечает границе континент-океан, выделяемой по окончанию ЛМА и прекращению синрифтовых комплексов мезозойских осадков в сторону хребта Гаккеля. Раскол бассейна с началом спрединга приурочен к началу кайнозоя. При этом континентальные окраины, входящие в Евразийский

бассейн, становятся пассивными. Со стороны окружающих Евразийский бассейн поднятий на карте мощности осадков отчетливо прослеживаются основные каналы сноса осадков и разделяющие их отроги поднятий. Суммарная мощность осадков в котловине Нансена в 1,5-2 раза превосходит их мощность в котловине Амундсена, что может свидетельствовать о том, что снос осадков с хребта Ломоносова на определенном этапе в кайнозое прекратился из-за его подводного погружения. Поэтому допускаем, что тектоническая активность, вызывающая континентальный рифтогенез, последовательно перешла от Евразийского бассейна к Амеразийскому.

Амеразийский бассейн

В современной структуре Амеразийский бассейн с трёх сторон (со стороны Канады, Аляски и шельфов морей Восточно-Сибирского и Чукотского) ограничен континентальными склонами и примыкающими к ним прогибами, сегментированными на крупные сверхглубокие впадины. По батиметрии дна весь бассейн погружен, что позволяет включить в него хребет Ломоносова в глубоководной части. Не исключено, что в бассейн следует включить и восточную часть котловины Амундсена (по оси прогиба), что полностью окольцовывает бассейн прогибом.

Бассейн по диагонали (от впадины Линкольна до Северо-Чукотской) по батиметрии дна и по минимуму мощности осадков пересекает широкое поднятие, которое в приканадской части именуется хребтом Альфа, а в Причукотской разделяется на три части. Центральная часть представлена наиболее поднятым Чукотским плато, с востока к нему примыкает хребет Нортуинд, а с запада - поднятие Менделеева. Все эти части разделяются котловинами, в которые заливами ответвляются от оси основного прогиба впадины (осадочные бассейны). Эти ответвления продолжаются и в другую сторону от оси прогиба, что разделяет Северо-Чукотскую впадину на три зоны с отчетливо локализованными центрами с максимумом мощности осадков (см. рис. 3). Между этими поперечными впадинами выделяются относительные поднятия (перемычки), легко увязываемые с продолжением трёх рассмотренных поднятий. При этом наиболее крупное поднятие (Чукотское плато) южнее прогиба продолжается на остров Врангеля, что дополнительно аргументирует то, что прогиб был наложен на ранее существовавшую систему трёх поднятий и разделяющих их впадин (котловин). В структуре осадочного чехла (рис. 4) Амеразийского бассейна (не считая сверхглубоких впадин в окружающем его прогибе) выделяются (среди прочих) следующие реперные горизонты: MU (несогласие на границе миоцена и плиоцена с возрастом 5,3 млн. лет), RU (предмиоценое несогласие, подстилающее неогеновые отложения, с возрастом 18,2 млн. лет); pCU (посткампанское несогласие, подстилающее кайнозойские палеогеновые отложения, с возрастом 65 млн. лет).

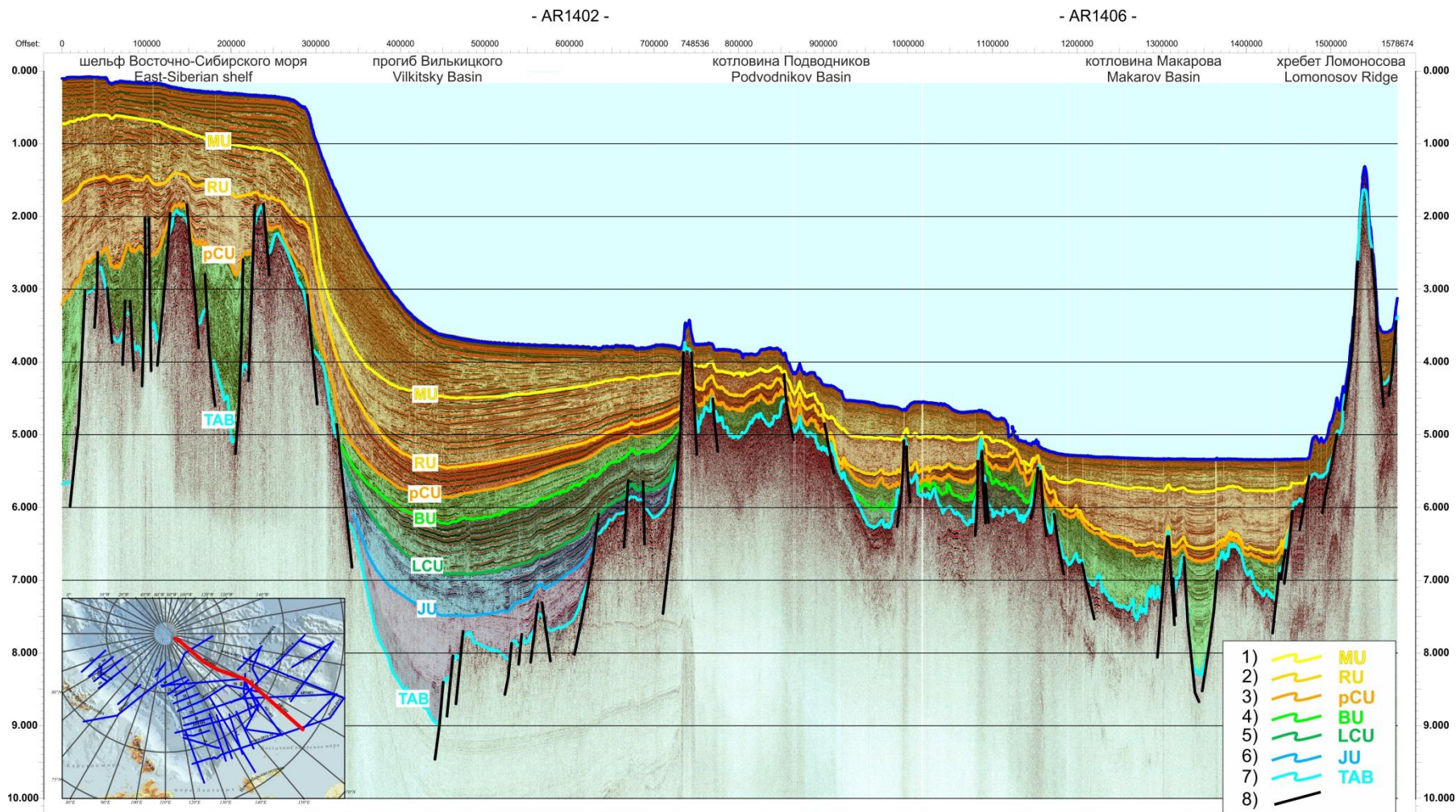


Рис. 4. Сейсмический разрез по профилю AR 1406-1402 [Poselov et al., 2016]

Главные несогласия: 1) — мессинское несогласие, 2) — региональное (предмиоценовое) несогласие, 3) — посткампанское несогласие, 4) — брукское несогласие, 5) — нижнемеловое несогласие, 6) — юрское несогласие, 7) — поверхность акустического фундамента, 8) — разрывные нарушения.

При этом обычно мощность мезозойских и кайнозойских отложений сопоставима, а мощность неогеновых отложений приближается к мощности всего кайнозоя. Их реперные горизонты RU и pCU часто сливаются, а в основном резко приближены друг к другу так, что мощность неогеновых отложений много больше мощности палеогеновых отложений. Сопоставление мощности и времени формирования рассматриваемых слоёв осадочного чехла (мезозойского, палеогенового и неогенового) показывает, что скорость осадконакопления на порядок возрастает от более древних к более молодым слоям, причем в палеогене осадки практически не накапливались.

Аномально высокую (практически лавинную) седиментацию в миоцене можно связать с началом континентального рифтогенеза в Амеразийском бассейне, последовательно продвигавшемуся от Баренцево-Карского бассейна к Евразийскому и далее к Амеразийскому. При этом возникли континентальные склоны, грабен-горстовая структура поверхности дна и фундамента (см. рис. 4) (с разными порядками структурных форм) и наиболее погруженная ось прогиба по поверхности дна, прослеживаемая от Северного Полюса через хребет Ломоносова в котловину Макарова, в северную часть котловины Подводников и далее в котловину Менделеева и по восточному основанию хребта Нордуинд и далее в Берингов пролив. Если бы эта структура была создана раньше миоцена или даже во второй его половине, то при наблюдаемой скорости осадконакопления (см. рис. 4) Амеразийский бассейн был бы уже засыпан осадками полностью.

С другой стороны, мезозойские осадки выделяются преимущественно в прогибе и на его склонах, а палеозойские - в сверхглубоких впадинах прогиба [Арктические моря, 2004]. Поэтому осадконакопление в эти периоды никак нельзя связать с новообразованной структурой поверхности коры, хотя места осадконакопления в мезозое и кайнозое коррелируются и сводятся в основном к кольцевому прогибу. Объяснить это можно по модели сводообразования, предшествующего началу континентального рифтогенеза. Свод формируется при активизации и разуплотнении подстилающей кору мантии, что поднимает поверхность коры без изменения массы изостатической колонки. Естественно, что свод при этом размывается и осадки стекают к его основанию, приуроченному к современному мегапрогибу. На определённом этапе начинается растяжение коры и континентальный рифтогенез, приведший к появлению континентального склона в районе кольцевого прогиба, являющегося в структуре коры наиболее ослабленной зоной.

Следующий вопрос связан с причиной отклонения бровки шельфа (по изобате 600 м) от оси прогиба на значительную величину в единственном месте Амеразийского бассейна - в районе Чукотского плато. На рис. 3 видно, что по сравнению с примыкающими поднятиями на Чукотском плато (по крайней мере, в южной его части) мощность осадков повышена до

1,0 км, а этого достаточно, чтобы поднять уровень поверхности дна выше стандартной отметки бровки шельфа.

Небольшой участок на севере плато, где мощность осадков понижена, возможно, не исследован детально, так как работы региональные. Другой причиной может быть та, что Чукотское плато и примыкающие поднятия простираются по нормали к оси прогиба, и при растяжении Американо-Сибирского бассейна по нормали к оси прогиба эти поднятия больше надвигались в его сторону, чем погружались, сопротивляясь растяжению.

Последний вопрос связан с эволюцией положения водораздельных поднятий (источников сноса) на шельфе Восточно-Сибирского и Чукотского морей. Здесь к югу от прогиба на карте мощности выделена ближайшая к оси прогиба ось поднятия, идущая от полюса раскрытия на Новосибирские острова, остров Врангеля и далее на хребет Брукс на Аляске. По структуре осадочных бассейнов южнее этого поднятия прослеживается цепочка впадин, где осадки по местоположению явно накапливались перед этим поднятием. В современной структуре поверхности литосферы главный водораздел приурочен к Колымскому хребту и хребту Брукс. Скорее всего, выделяемое на шельфе южнее оси прогиба вышеупомянутое поднятие до начала растяжения было водораздельным и находилось на суше. То, что в растяжение втягивается область, более обширная, чем ограниченная континентальным склоном, не отрицается известными моделями растяжения и в принципе отражается на рис. 4, где мощная толща кайнозойских отложений выделяется на шельфе.

Акустический фундамент

Американо-Сибирский бассейн имеет в центре крупное поднятие, выраженное в морфоструктуре дна и отличающееся тем, что по структуре осадочного чехла его можно рассматривать, как источник сноса осадков до его недавнего подводного погружения. Как было рассмотрено, многие исследователи связывают причину континентального рифтогенеза с возникновением сводового поднятия коры, подстилаемой активизированной разогретой и разуплотненной мантией. Но тепловой поток от этой мантии, несомненно, переходит в консолидированную кору, также разуплотняя её. Поэтому не исключено, что акустический фундамент, или слой коры (промежуточный, метаосадочный комплекс) перекрываемый расслоенным рефлекторами осадочным чехлом в Американо-Сибирском бассейне отличается пониженной плотностью и является остаточным слоем сводовой структуры коры. Этот слой в пострифтовой фазе остынет и уплотнится до уровня стандартной верхней коры. В пользу этого говорит то, что в Баренцево-Северокарском бассейне осадки нижнего палеозоя подстилаются нормальной верхней корой, а на шельфе Восточно-Сибирского моря вышеупомянутый слой остыл, уплотнился и акустический фундамент здесь уже не

выделяется [Российские арктические геотраверсы, 2011].

Особенности структуры сейсмических разрезов осадочных бассейнов

Выше рассматривалась структура осадочных бассейнов, определяемая изменением их мощности в плане, что позволило выделить источники, каналы сноса осадков и области их аккумуляции, а также выделить фазы континентального рифтогенеза по структуре осадконакопления. Решению этой задачи местами способствовала устанавливаемая с помощью скважин индексация и стратификация отражающих горизонтов. Однако при изучении осадочных бассейнов возникает ещё один вопрос: почему так резко отличается структура сейсмических разрезов (структура волнового поля) в разных осадочных бассейнах (нефтегазоносных провинциях). Например, в Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции сейсмические разрезы на профилях, удалённых на тысячи км, идентифицируются дискретно по неповторимым особенностям записи горизонтов Б и М1 и интервалов между ними [Жолондз, Павленкин, 2015]. По этим признакам южная часть Карского моря, Ямал, Гыданский полуостров однозначно отнесены к этой провинции даже без непрерывной увязки разрезов. А ведь источники сноса меняются, по крайней мере, по водоразделам двух крупнейших рек - Оби и Енисея.

В Баренцево-Северокарском бассейне выделяется ряд реперных горизонтов, особенно в палеозое и на границах пермо-триаса. Именно по этому признаку северная часть Карского моря была включена в этот бассейн. Амеразийский бассейн имеет, по крайней мере, два реперных горизонта — RU (предмиоценовое несогласие) и рCU (посткампанское несогласие), связанные с крупными перерывами в осадконакоплении. Таким образом, не тип источника сноса и даже не состав осадков, а меняющаяся во времени интенсивность осадконакопления в целом в бассейне и нефтегазоносной провинции определяет структуру сейсмической записи. Представляется, что пока слабо исследованными вопросами являются в этом отношении два вопроса: 1) связь волновых полей Амеразийского бассейна с примыкающим шельфом и котловиной Амундсена; 2) отличительные особенности волновых полей Евразийского бассейна от примыкающих областей. Так как эволюция этих бассейнов различна, это не могло не сказаться на структуре волновых полей. Такая задача, особенно важная для вопросов изучения нефтегазоносности, может быть поставлена для дальнейших исследований вопроса.

Выводы

1. Три бассейна Арктического региона эволюционировали последовательно. Существует вероятность, что-либо в начале палеозоя в Арктике возникло единое сводовое поднятие, либо свод постепенно смещался от Баренцево-Карского к Евразийскому и далее Амеразийскому бассейнам. В Баренцево-Карском бассейне рифтовая фаза прошла в девоне-

карбоне, а пострифтовая началась в пермо-триасе. В Евразийском бассейне рифтовая фаза прошла в мезозое, а к началу кайнозоя она завершилась началом спрединга и пострифтовой фазой на континентальных окраинах бассейна, ставших пассивными. В Амеразийском бассейне рифтовая фаза проходит после палеогена. На дорифтовой фазе у оснований палеосвода возникают дорифтовые впадины, на рифтовой фазе они осложняются континентальным склоном.

2. Впервые выделен кольцевой мегапрогиб, ограничивающий зону палеосводного поднятия Арктического региона и являющийся основной зоной аккумуляции осадков, стекающих с этого региона и примыкающих внешних областей.

3. На основании рассмотрения каналов стока (транзита) осадков установлена континентальная природа Амеразийского бассейна, что вписывается в систему других аргументов в пользу именно континентальной природы бассейна³.

4. По закономерной структуре разделения прогиба на впадины, ограниченные разделяющими их поднятыми перемычками, и по продолжению впадин не только по оси прогиба, но и по нормали к их центру заливами в обе стороны от оси прогиба на примыкающие котловины (каналы стока осадков) установлено естественное продолжение поднятий Амеразийского бассейна (включая хребет Ломоносова) на примыкающий шельф Евразии.

5. По динамической структуре сейсмических разрезов Баренцево-Северокарский регион отнесён к одной нефтегазоносной провинции, южная часть Карского моря вместе с полуостровами Ямал и Гыданский — к другой (Западно-Сибирской), а Амеразийский бассейн — к третьей. Во всех этих провинциях на любом разрезе легко опознаются опорные горизонты, не имеющие аналогов в других провинциях.

Литература

Арктические моря / ред. И.С. Грамберг, В.Л. Иванов, Ю.Е. Погребницкий. - СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. - 468 с.

Глебовский В.Ю., Каминский В.Д., Минаков А.Н., Меркурьев С.А., Чилдерс В.А., Брозина Дж.М. История формирования Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана по результатам геоисторического анализа аномального магнитного поля // Геотектоника. - 2006. - № 4. - С. 21-42.

Жолондз А.С., Павленкин А.Д. Новые данные к оценке перспектив нефтегазоносности Приамальской части южнокарского шельфа // Нефтегазовая геология. Теория и практика. –

³ *Отдавая должное новаторской трактовке авторами истории формирования Амеразийского бассейна, а также возникновению и затем трансформации палеоподнятия Арктического региона, нельзя не признать их недостаточную изученность, и в этой связи трудности однозначной трактовки решаемых вопросов.*

2015. - Т.10. - №3. - http://www.ngtp.ru/rub/5/26_2015.pdf. DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/26_2015

Кеннет Д.П. Морская геология. - М.: Мир, 1987. - Т.1 - 397 с.

Лисицын А.П. Осадкообразование в океанах. - М.: Наука, 1974. - 438 с.

Лисицын А.П. Процессы океанской седиментации. - М.: Наука, 1978 - 392 с.

Поселов В.А., Жолондз С.М., Трухалев А.И., Косько М.К., Поселова Л.Г., Буценко В.В., Павленкин А.Д., Верба В.В., Ким Б.И. Карта мощности осадочного чехла Северного Ледовитого океана // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона // Труды ВНИИОкеангеология. - СПб.: ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга», 2012. - Т. 223. - Вып. 8. – С. 8-14.

Российские арктические геотраверсы / Науч. ред. В.А. Посёлов, Г.П. Аветисов, В.Д. Каминский. – СПб., ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга», 2011. - 172 с. (Труды НИИГА–ВНИИОкеангеология, т. 220).

Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. - М.: КДУ, 2005. - 560 с.

Hegewald, A. The Chukchi Region-Arctic Ocean-Tectonic and Sedimentary Evolution // Doctoral dissertation, Digitale Bibliothek Thüringen, 2012, pp. 109.

Jakobsson M., Mayer L.A., Coakley B., Dowdeswell J.A., Forbes S., Fridman B., Hodnesdal H., Noormets R., Pedersen R., Rebesco M., Schenke H.-W., Zarayskaya Y.A., Accettella D., Armstrong A., Anderson R.M., Bienhoff P., Camerlenghi A., Church I., Edwards M., Gardner J.V., Hall J.K., Hell B., Hestvik O.B., Kristoffersen Y., Marcussen C., Mohammad R., Mosher D., Nghiem S.V., Pedrosa M.T., Travaglini P.G. and Weatherall P. The International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO) Version 3.0, Geophysical Research Letters, Vol. 39, L12609, 2012, pp. 1-6.

Poselov V., Kireev A., Smirnov O., Butsenko V., Zholondz S., and Savin V. Seismic stratigraphy of sedimentary cover in Amerasian Basin based on the results of Russian High Arctic expeditions // EGU General Assembly 2016, Vol. 18, EGU2016-16340, 2016.

Elkina D.V., Poselova L.G., Pavlenkin A.D., Poselov V.A.

All-Russian Research Institute of Geology and Mineral Resources of the World Ocean named after academician Igor Gramberg, St. Petersburg, Russia, darielfly@gmail.com, slg@vniio.nw.ru, pav@vniio.nw.ru, 2009@mail.ru

THE PATTERN OF SEDIMENTARY DISTRIBUTION IN THE ARCTIC BASIN

A map of the sedimentary cover thickness of the Arctic Basin has been updated according to the recent data obtained during seismic surveys on the East Siberian, Chukchi sea shelves, and in the adjacent deep-sea Amerasian Basin. For the first time, a ring mega-trough has been pointed out as a system of ultradeep basins surrounding the Arctic Ocean, Barents and North Kara sea shelves. Across all the Arctic sea areas, the trough is the main area of sediment accumulation originated from different sides of the trough axis. Based on the analysis of the sedimentary flow pattern, a continental nature of the Amerasian Basin has been confirmed as well as an evident prolongation of elevations across the trough to the Eurasian shelf. Also the structural sequence of sedimentation has been considered in relation with stages of continental rifting in the Eurasian Basin during changing to the oceanic one.

Keywords: *map of sedimentary cover thickness, source areas, troughs and basins, syn-rift and post-rift sedimentation, arched uplift, sedimentary flow channels and sedimentation areas, Arctic Basin.*

References

Arkticheskie morya [Arctic Oceans]. Editors Gramberg I.S., Ivanov V.L., Pogrebitskiy Yu. E. Saint Petersburg: VSEGEI, 2004. 468 p.

Glebovsky V.Yu., Kaminsky V.D., Minakov A.N., Merkur'ev S. A., Childers V. A., and Brozena J. M. *Istoriya formirovaniya Evraziyskogo basseyna Severnogo Ledovitogo okeana po rezul'tatam geoistoricheskogo analiza anomal'nogo magnitnogo polya* [Formation of the Eurasia Basin in the Arctic Ocean as Inferred from Geohistorical Analysis of the Anomalous Magnetic Field]. *Geotectonics*, 2006, no. 4, p. 21-42.

Hegewald, A. *The Chukchi Region-Arctic Ocean-Tectonic and Sedimentary Evolution*. Doctoral dissertation, Digitale Bibliothek Thüringen, 2012, p. 109.

Jakobsson, M., Mayer L.A., Coakley B., Dowdeswell J.A., Forbes S., Fridman B., Hodnesdal H., Noormets R., Pedersen R., Rebecco M., Schenke H.-W., Zarayskaya Y.A., Accettella D., Armstrong A., Anderson R.M., Bienhoff P., Camerlenghi A., Church I., Edwards M., Gardner J.V., Hall J.K., Hell B., Hestvik O.B., Kristoffersen Y., Marcussen C., Mohammad R., Mosher D., Nghiem S.V., Pedrosa M.T., Travaglini P.G., and Weatherall P. *The International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO) Version 3.0*, *Geophysical Research Letters*, Vol. 39, L12609, 2012, p. 1-6.

Kennett, J. P. *Marine Geology*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1982, 813 p.

Khain V.E., Lomize M.G., *Geotectonics with Principles of Geodynamics*, MGU, Moscow, 2005, 560 p.

Lisicyn A.P. *Osadkoobrazovanie v okeanah* [Sedimentation in the oceans]. Moscow, Nauka, 1974, 438 p.

Lisicyn A.P. *Processy okeanskoj sedimentacii* [Processes of ocean sedimentation]. Moscow, Nauka, 1978, 392 p.

Poselov V., Kireev A., Smirnov O., Butsenko V., Zholondz S., and Savin V. *Seismic stratigraphy of sedimentary cover in Amerasian Basin based on the results of Russian High Arctic expeditions // EGU General Assembly 2016, Vol. 18, EGU2016-16340, 2016*

Poselov V.F., Zholondz S.M., Trukhalev A.I., Kos'ko M.K., Poselova L.G., Butsenko V.V., Pavlenkin A.D., Verna V.V., Kim B.I. *Karta moshchnosti osadochnogo chekhla Severnogo Ledovitogo okeana // Geologo-geofizicheskie kharakteristiki litosfery Arkticheskogo regiona* [Map of thickness of the sedimentary cover of the Arctic Ocean]. *Geological-geophysical features of the lithosphere of the Arctic Ocean. Transactions of VNIIOkeangologia*, vol. 233. no. 8, p. 8-14. St.

Petersburg: VNIIOkeangeologia, 2012, 174 p.

Rossiyskie arkticheskie geotraversy [Russian arctic geotraverse]. Editors: V.A Poselov, G.P. Avetisov, V.D. Kaminsky. St. Petersburg. FGUP "I.S. Gramberg VNIIOkeangeologia", 2011, 172 p.

Zholondz A.S., Pavlenkin A.S. *Novye dannye k otsenke perspektiv neftegazonosnosti Priyamal'skoy chasti yuzhnokarskogo shel'fa* [New data of the structure assessment of prospects the Near-Yamal part of the Southern Kara Sea Shelf]. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika*, 2015, vol. 10, no. 3, http://www.ngtp.ru/rub/5/26_2015.pdf. DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/26_2015

© Элькина Д.В., Посёлова Л.Г., Павленкин А.Д., Посёлов В.А., 2016