

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(СПбГУ)

Институт наук о Земле

Кафедра геофизики

Кузьмин Дмитрий Владиславович

Сеймостратиграфия Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана

Магистерская диссертация по направлению 020700 «Геология»

Научный руководитель:

д.г.-м.н., проф. Г.Л. Лейченко

_____ 2017
« »

Заведующий кафедрой:

д.г.-м.н., проф. К.В. Титов

_____ 2017
« »

Санкт-Петербург 2017

Содержание

Введение.....	3
Глава 1. История формирования Евразийского бассейна	7
Глава 2. Глубоководное осадконакопление	10
Глава 3. Сравнение сейсмостратиграфических моделей глубоководных котловин Евразийского бассейна	14
3.1. Сейсмостратиграфические модели котловины Нансена.....	14
3.1.1 Модель, построенная по результатам экспедиции «Шельф-2011» ..	15
3.2. Сейсмостратиграфические модели котловины Амундсена.....	16
3.2.1 Модель, построенная по результатам экспедиции «Арктика- 2014»	17
3.2.2 Модель, построенная по результатам экспедиции «Шельф- 2011» .	19
Глава 4. Сейсмостратиграфический анализ осадочного чехла Евразийского бассейна.....	21
4.1. Новая модель котловины Нансена.....	22
4.2. Новая модель котловины Амундсена	25
Глава 5. Карты мощностей осадков сейсмических комплексов	28
5.1. Карта мощности осадков комплексов АВ-1 и NB-1	28
5.2. Карта мощности осадков комплексов АВ-2 и NB-2	29
5.3. Карта мощности осадков комплексов АВ-3 и NB-3	30
5.4. Карта мощности осадков комплексов АВ-4 и NB-4	34
5.5. Карта мощности осадков комплексов АВ-5 и NB-5	37
5.6. Карта мощности осадков комплексов АВ-6 и NB-6	38
Глава 6. Подводный канал NP-28.....	39
Заключение.....	42
Список использованной литературы	45

ВВЕДЕНИЕ

Для большинства приарктических государств, в том числе и России, Северный Ледовитый океан представляет собой объект научных и политических интересов. Арктический бассейн является недостаточно изученным регионом в связи с непростыми климатическими условиями. При расширении доказательной базы о наличии углеводородов в осадочном чехле арктического пространства, появилось значительное количество стран, стремящихся получить хотя бы часть природных богатств Арктики. Количество стран, претендующих на полезные ископаемые региона выходят за пределы формата “арктической пятерки”, что заметно усложняет ситуацию в регионе. В связи с этим странами были сформированы экспедиции для получения доказательств и аргументов для подачи заявки в ООН о расширении шельфовых арктических территорий, на которые они претендуют.

В последние годы российские исследования в этой области были выполнены с применением широкого комплекса геологических, геофизических, батиметрических методов в рамках программы по обоснованию внешней границы континентального шельфа.

Спектр работ охватывал практически всю акваторию Северного Ледовитого океана, включая глубоководные части Американо-Евразийского и Евразийского бассейнов. Сейсмические разрезы по профилям, которые пересекли Евразийский бассейн легли в основу написания данной выпускной квалификационной работы (рис. 1).

Конечным результатом геолого-геофизических работ обычно является формирование геологической модели района, в котором выполнялся данный вид работ. Существует огромное множество стратиграфических моделей Евразийского бассейна, представленных в работах отечественных и иностранных исследователей. В начале своих изысканий я ознакомился с существующими моделями данного глубоководного бассейна. ([Riis et al., 1994](#); [Baturin et al., 1994](#); [Jokat et al., 1995](#); [Geissler & Jokat et al., 2004](#); [Engen et al., 2009](#); [Глумов, 2011 текст отчета ««Оценка перспектив...»](#); [Фомина, 2014 текст отчета «Региональные сейсмические...»](#)).

Основной целью работы является выполнение сеймостратиграфического анализа осадочного чехла Евразийского бассейна, и реконструкция обстановок глубоководного осадконакопления. Сеймостратиграфия имеет большое значение в исследовании осадочных бассейнов Земли и занимается изучением последовательности формирования осадочных толщ горных пород и их первоначального пространственного залегания по данным сейсморазведки. Для выполнения намеченной цели были

поставлены задачи, выполнение которых приблизит нас к пониманию эволюции Евразийского бассейна. Эти задачи заключаются: в выделении региональных сейсмических горизонтов и обосновании их возрастов; в выполнении сейсмофациального анализа осадочного чехла и выделении сейсмических фаций; в составлении схем мощности сейсмических комплексов, и оценке темпов осадконакопления в депоцентрах; а также в выявлении обстановок осадконакопления.

Актуальность данной работы заключается в интерпретации сейсмических разрезов, и построения карт мощностей сейсмических комплексов, что позволит восстановить историю геологического развития бассейна.

Планомерное изучение Арктического бассейна началось с 60-х годов прошлого века. По программе высокоширотных воздушных экспедиций (ВВЭ) «Север» проводились сейсмические исследования с дрейфующих льдов, направленные на изучение рельефа дна, геоморфологии, геоакустики и глубинного строения дна океана. Большая часть сейсмических работ выполнена методом отраженных волн (МОВ) в виде площадных наледных точечных сейсмических зондирований. Глубинность базовых МОВ составляла, в среднем, 2 – 4 км по разрезу горных пород, а с учетом водного слоя – 5 – 7 км.

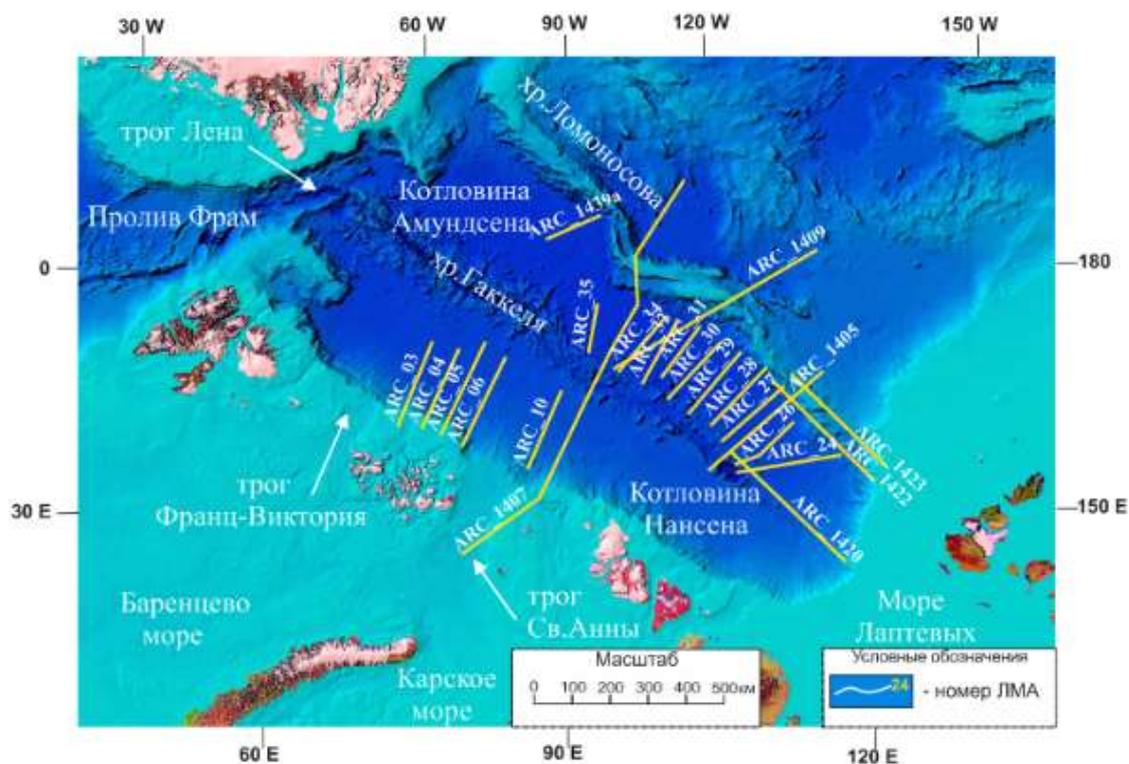


Рисунок 1 — Схема обработанных профилей

Существующие представления о геологическом строении Евразийского бассейна, в большей мере, были основаны на редких сейсмических наблюдениях в глубоководной акватории, сейсмических данных в арктических морях и магнитной съемке. Первые работы с многоканальной сейсмической аппаратурой в котловине Амундсена были проведены в 1991 году, полученные данные показали, что мощность осадков в подножие хребта Ломоносова значительно больше, чем у хребта Гаккеля.

Котловины Нансена и Амундсена (рис. 1) образовались в результате спрединга морского дна, который продолжается по сей день с ультра-медленной скоростью, составляющей от 1,3 см/год в западной части и 0,63 см/год ближе к шельфу моря Лаптевых. Рифтовая долина хребта Гаккеля погребена под осадками мощностью 1000 метров.

Котловина Нансена - подводная впадина в Северном Ледовитом океане, ограниченная с северо-востока хребтом Гаккеля. На юго-западе она примыкает к континентальному склону Баренцево-Карской плиты, где расположены архипелаги Северная Земля, Земля Франца-Иосифа и Шпицберген. Котловина приурочена к Евразийскому суббассейну, имеет вытянутую форму и протягивается на значительное расстояние к юго-востоку, подходя довольно близко к континентальному массиву в море Лаптевых северо-восточнее полуострова Таймыр.

В котловину Нансена в течение последних 60 млн. лет поступило огромное количество осадков из прибрежных и шельфовых районов. Разреженные батиметрические данные поддерживают эту точку зрения, показывая, что только самые высокие подводные горы срединного океанического хребта Гаккеля не покрыты осадками. Глубины в акватории котловины Нансена варьируются в пределах от 3710 до 4830 метров в центральной части срединно-океанического хребта, который содержит незначительный осадочный слой.

Средняя глубина в котловине Нансена составляет 4050 метров, что значительно меньше, чем в котловине Амундсена. В Котловине Амундсена близкой областью сноса являлся хребет Ломоносова (рис. 1), но, в основном, до тех пор, пока он не погрузился ниже уровня моря. Согласно стратиграфической модели ([Jokat et al. 1995](#)), это произошло около 50 млн. лет назад. С тех пор главным источником поступления осадков являлись остров Гренландия с северным шельфом и шельфы северных морей (Карское море, море Лаптевых).

Котловина Амундсена - подводная впадина в центральной части Северного Ледовитого океана, расположенная между хребтами Ломоносова и Гаккеля. В связи с тем, что в глубоководную часть котловины Амундсена поступает намного меньше

осадочного материала, дно океанического бассейна в котловине Амундсена находится глубже, чем в котловине Нансена. Основной причиной затруднения привноса осадков с Баренцево-Карского шельфа является хребет Гаккеля, который служит природным барьером для переноса осадочного материала. На большей части бассейна глубины составляют более 4000 м, а в некоторых местах достигает 4500 м.

Глава 1. ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЕВРАЗИЙСКОГО БАССЕЙНА

В Северном Ледовитом океане расположены два основных океанических бассейна: Евразийский и Амеразийский, разделенных хребтом Ломоносова. В то время как происхождение и эволюция Амеразийского бассейна еще находится на стадии обсуждения, общая эволюция Евразийского бассейна более известна. В Евразийском бассейне были выявлены линейные магнитные аномалии, связанные со спредингом морского дна в от С24 до С1. Предполагается, что раскрытие Евразийского бассейна с отделением хребта Ломоносова от шельфа Баренцева моря произошло примерно 53 млн. лет назад ([Alvey et al., 2008](#)). Ранее хребет Ломоносова, возможно, образовывал непрерывную структуру с плато Ермак, но природа земной коры этого крупного подводного плато на континентальной окраине Баренцева моря находится на стадии обсуждения.

Во время мелового периода Северная Америка, Гренландия и Евразия, в том числе хребет Ломоносова и Шпицберген, были частью общего континента под названием Лавразия. Самая древняя магнитная аномалия вдоль краев Евразии и Гренландии, а также в пределах Северной Атлантики, которая может быть интерпретирована как С24. Возраст этой аномалии составляет ~53 млн. лет, что соответствует переходу от палеоцена к эоцену. В отношении Евразийского бассейна обсуждалась возможность присутствия магнитных аномалий старше С24. Одним из таких является предположение о существовании магнитной аномалии С25 ([Brozena et al., 2003](#)). Проблема, связанная с этой магнитной аномалией заключается в том, что она может перекрываться с крупным сдвиговым разломом к востоку от плато Ермак.

В районе плато Ермак магнитные аномалии С25 и С24 меняют направление с восточно-западного на юго-западное и северо-восточное (рис. 2). Заметнее всего эта тенденция наблюдается между поднятием Моррис-Джесуп и хребтом Ломоносова в море Линкольна, так же эти изменения видны и по данным гравиметрии.

Таким образом, самые ранние линии магнитных аномалий, которые ближе к плато Ермак и поднятию Моррис-Джесуп, показывают направление спрединга, которое значительно отличается от направления более молодых аномалий. На Сибирской стороне Евразийского бассейна самая старая аномалия ориентировочно интерпретируется как С24. Эти наблюдения подразумевают, что открытие Евразийского бассейна началось на европейской стороне и распространялось в Сибирскую сторону, где крупный континентальный рифт развивается на шельфе моря Лаптевых.

До Олигоцена плато Ермак и поднятие Моррис-Джесуп образовывали единое плато, которое размещалось на северо-востоке Гренландии. Совместно с открытием Северной Атлантики движение плиты в позднем Палеоцене привело к смещению Шпицбергена на восток и, вероятно, также к смещению плато Ермак и поднятию Моррис-Джесуп по отношению к Гренландии. Единые плато Ермак и поднятие Моррис-Джесуп начали разделяться 33-35 млн лет назад при разрастании океанического дна в юго-западном направлении, С7 (24,8 млн) является старейшей аномалией, полностью отделяющей два плато.

Строение земной коры Плато Ермак и сопряженного с ним поднятия Моррис-Джесуп пока не вполне ясно. Существовало предположение, что их образование связано с палеогеновым базальтовым магматизмом (Feden et al., 1979), но оно не нашло подтверждения. Сейсмические скорости акустического фундамента (6.0 км/с) южной части плато Ермак были интерпретированы как утоненная континентальная кора.

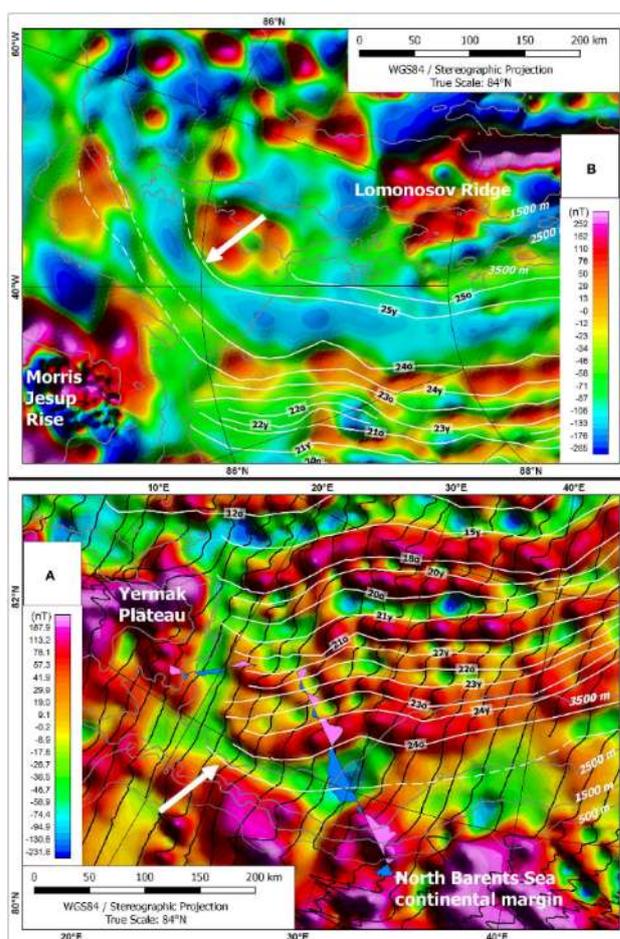


Рисунок 2 — Карта магнитных аномалий западной части Евразийского бассейна в интерпретации (Brozena et al., 2003)

Следующим основным тектоническим событием стало открытие пролива Фрама (рис. 1). Пролив Фрама представляет собой океанографическую и тектоническую связь между Евразийским бассейном и Норвежско-Гренландским морем. Узкий океанический пролив начал формироваться в раннем Миоцене ([Engen et al., 2008](#)). В глубокой океанической части его ширина составляет 150 км в ширину и глубиной около 3 км. Другими проходами для океанических вод являются Баренцево море и небольшие каналы в Канадском Арктическом архипелаге. Все они более мелкие, чем пролив Фрама, оставляя его единственным путем, по которому может происходить циркуляция водных масс между Атлантическим и Северным Ледовитым океанами.

Трог Лена (рис. 1) является продолжением Срединно-Атлантического хребта в Северном Ледовитом океане. Открытие трога Лены установило единственную глубоководную связь между Арктикой и мировыми океанами и, следовательно, стало крупным палеогеографическим событием. Трог Лены представляет собой косо-ориентированную рифтовую систему морского дна, которая отделяет североамериканскую и евразийскую плиты и соединяет хребет Гаккеля с остальной системой срединных океанических хребтов. Трог Лены является примером молодого невулканического континентального рифта, который только сейчас начинает переход к косо-ориентированному невулканическому спредингу морского дна ([J.E.Snow et al., 2011](#)).

Глава 2. ГЛУБОКОВОДНОЕ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЕ

Осадконакопление в глубоководных акваториях (на континентальном склоне, его подножие и абиссальных котловинах) осуществляется комбинированным действием гемипелагического осаднения, действия гравитационных потоков и процессов, связанных с донными (контурными) течениями. Осадочные толщи, образованные глубоководными придонными течениями, в результате термохалинной циркуляции в океанах, образуют осадочные структуры, известные как контуритовые наносы или дрифты (рис. 3). Среди отложений гравитационных потоков различаются оползни, дебриты (отложения обломочных потоков) и турбидиты. Дебритами и турбидитами называют отложения, которые транспортируются и осаждаются потоками, вызванными нарушениями гравитационного равновесия вдоль континентального склона (рис. 4). Одной из основных трудностей, с которой сталкиваются в настоящее время при интерпретации сейсмических профилей через континентальные окраины, является дифференциация между турбидитами и контуритами и связанными с ними фациями.

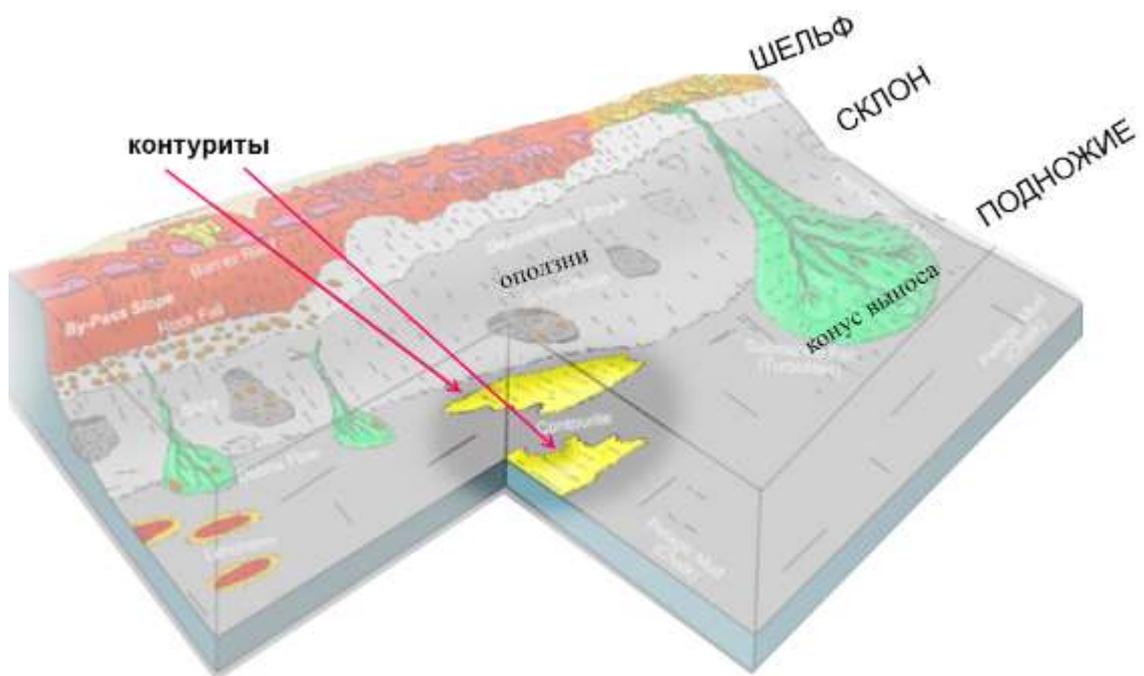


Рисунок 3 — Глубоководное осадконакопление

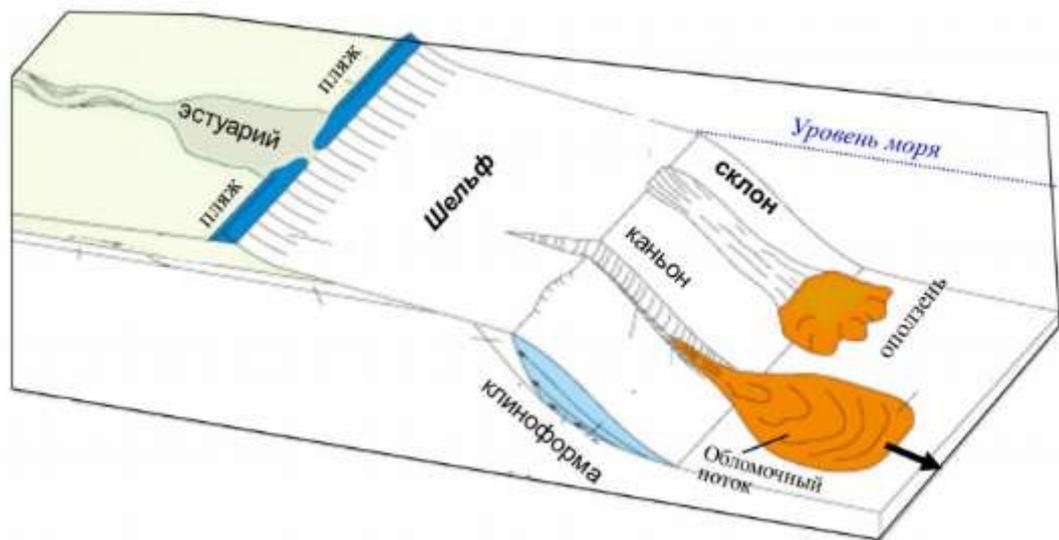


Рисунок 4 — Гравитационное перемещение осадков

Общая геометрия дрейфов зависит главным образом от 4 факторов:

- 1) геологической или батиметрической обстановки;
- 2) скорости течения и его изменчивости;
- 3) количества и типа осадков;
- 4) время, в течение которого действовали процессы.

В глубоководных осадочных бассейнах существует широкое разнообразие контуритовых наносов. Наиболее распространенными из них являются покровные контуриты (рис. 5Б). Они образуют слой более или менее постоянной мощности до нескольких сотен метров, который охватывает большую по размерам площадь. По мере удаления от центральных частей бассейна к окраинным, мощность покровных контуритов меняется незначительно. Сейсмофации, как правило, низкоамплитудные, прерывистые рефлекторы, отражения в некоторых частях более или менее прозрачные. Эти отложения можно наблюдать в различных морфологических и гидрологических обстановках. Другой распространенный вид контуритовых наносов связан с образованием валов вдоль присклоновых каналов (рис. 5А).

Контуритовые прирусловые валы состоят из плоских линзовидных отложений, ограниченной протяженности, которые являются реликтовыми осадками, образующихся после каждого крупного эрозионного события.

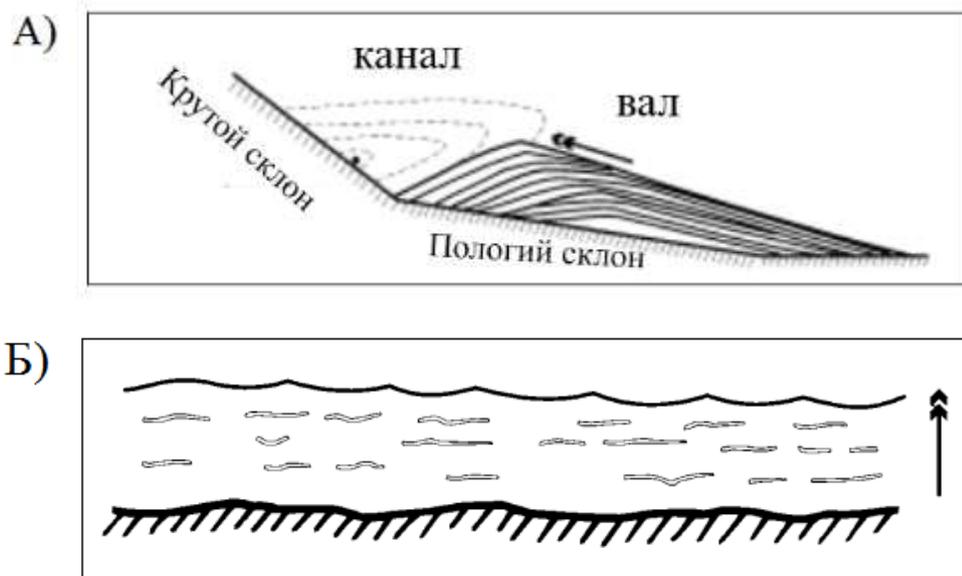


Рисунок 5 — Виды контуритовых наносов: А) контурит образованный присклоновым каналом, Б) покровный контурит

Архитектура отложений в пределах наноса сложная и связана с изменением процессов и темпов осадконакопления, а также характера течения. Во многих случаях история контуритового дрефта характеризуется чередованием периодов осадконакопления и эрозии или ненакопления. В результате получается суперпозиция осадочных комплексов линзовидной формы, границы которых соответствуют перерывам в осадконакоплении. Эти перерывы могут быть прослежены в пределах наноса, часто отмечаются непрерывным рефлексом и маркируют изменение фациальной структуры, связываемой с изменением силы течения.

Осадочные толщи в контуритовых наносах, хорошо распознаются на сейсмических профилях. Обычно они имеют линзовидную форму с более или менее плавными изгибами. Прирусловые валы представлены выпуклой геометрией, которая не параллельна поверхности накопления, созданной предшествующим эрозионным событием. Размер и детальность геометрии комплексов очень различны и зависят от интенсивности эрозии. В некоторых случаях последний комплекс наиболее четко показывает характер проградации и/или аградации, поскольку он еще не претерпел эпизода значительной эрозии.

Наклонное положение комплексов показывает общую миграцию осадочного тела, направление которого различно для разных типов наносов. У абиссальных покровных дрефтов нет значительной миграции, потому что отложения имеют тенденцию покрывать всю площадь, охваченную течениями. Миграция будет

происходить только тогда, когда течение будет менять свое направление из-за изменения океанографических условий. Следовательно, отложения накапливаются примерно равномерной мощности.

Как правило, глубоководные осадочные тела любого типа имеют тенденцию мигрировать в соответствии с четырьмя основными факторами: направлением потока, силой Кориолиса, морфологической обстановкой, взаимодействием с другим течением.

Изменение тектонической обстановки, такой как открытие или закрытие проливов, которые контролируют донную циркуляцию водных масс между океанскими бассейнами, способствует образованию контуритовых систем.

Накопление контуритов контролируется тремя основными факторами:

1) климатом, который влияет на циркуляцию атмосферы и условия формирования придонной воды и, следовательно, определяет интенсивность донных течений;

2) характером и объемом осадков, доступных для транспортировки донными течениями;

3) морфоструктурной обстановкой в масштабе бассейна.

Нет никаких однозначных данных, которые бы позволили нам установить прямую связь между уровнем моря и скоростью аккумуляции дрефта или его разрушением. Значительная аккумуляция контуритовых прирусловых валов с одной стороны обусловлена умеренной интенсивностью придонного течения, а с другой стороны - относительно низкими скоростями поступления осадков посредством турбидитных течений и других потоков.

Глава 3. СРАВНЕНИЕ СЕЙСМОСТРАТИГРАФИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ГЛУБОКОДНЫХ КОТЛОВИН ЕВРАЗИЙСКОГО БАССЕЙНА

3.1. Сейсмостратиграфические модели котловины Нансена

В рамках экспедиций «Шельф-2011», главным исполнителем которой являлось ОАО «ГНИНГИ», и «Арктика-2014», выполнением полевых работ занималась компания ОАО «МАГЭ», были выполнены сейсмические исследования МОВ-ОГТ по 8 профилям, проходящих через котловину Нансена с выходом на склоны хребта Гаккеля и континентального шельфа Баренцево-Карской плиты.

После интерпретации всех сейсмических разрезов экспедиции «Шельф-2011», была представлена сейсмостратиграфическая модель котловины Нансена. По сейсмическим данным, полученным в ходе экспедиции «Арктика-2014» такой модели предоставлено не было. Вероятно, это связано с тем, что в экспедиции 2014 года только один профиль пересекал котловину Нансена и этого материала недостаточно для того, чтобы уверенно судить о распространении сейсмических комплексов по всей глубоководной котловине.

В данной выпускной квалификационной работе, в основном, рассматриваются только модели, представленные в итоговых отчетах, предоставленных организациями после завершения работ в рамках подготавливаемой заявки в Комиссию по границам континентального шельфа. Именно эти модели были взяты за основу написания данной работы, хотя кроме них существуют и некоторые другие, которые представлялись как отечественными, так и зарубежными специалистами (рис. 6).



Рисунок 6 — Сейсмостратиграфические модели котловины Нансена ([Engen et al. 2009](#); [Geissler & Jokat et al., 2004](#); [Riis et al., 1994](#); [Глумов, 2011 текст отчета ««Оценка перспектив...»»](#).)

3.1.1 Модель, построенная по результатам экспедиции «Шельф-2011»

По мнению авторов, в осадочном чехле котловины Нансена по характеру волновой картины на обработанных временных разрезах выделены (снизу-вверх) четыре сейсмокомплекса (рис. 7), каждый из которых состоит как минимум из двух подкомплексов или «ритмов» – нижнего (прозрачного), с относительно низкоамплитудными отражениями, местами неясно- и волнисто-слоистого; и верхнего, представленного чёткими высокоамплитудными отражениями ([Глумов, 2011 текст отчета ««Оценка перспектив...»»](#)). Как указывают авторы, сочетание этих двух «ритмов» могут отображать один завершённый цикл осадконакопления в котловине.

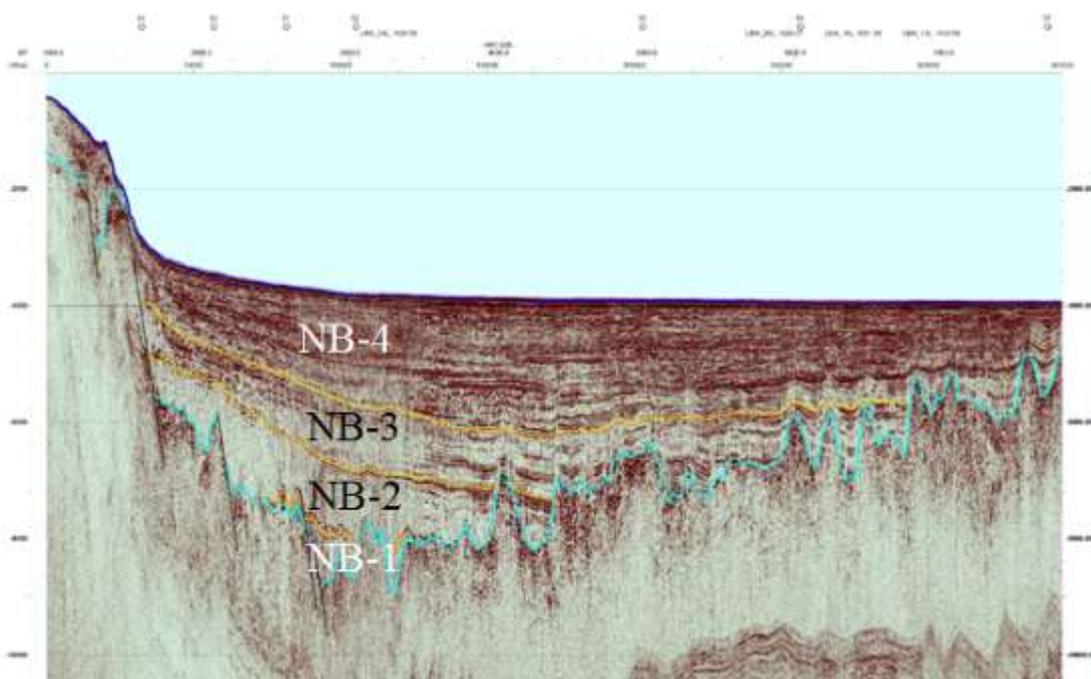


Рисунок 7 — Сейсмический разрез через котловину Нансена (ARC_005)

Исходя из возможного возраста фундамента, определяемого линейными магнитными аномалиями, и результатов определения возраста верхней (дочетвертичной) части разреза по материалам обзорной геологической карты региона высказано предположение, что комплекс I геохронологически соответствует эоцену (средний палеоген), комплекс II – олигоцену или олигоцену-нижнему миоцену (верхний палеоген-нижний неоген, комплекс III – миоцену (нижний неоген), а комплекс IV – плиоцену-плейстоцену (верхний неоген-четвертичный).

Как можно заметить геологическая модель, представленная в ВКР несколько различается с моделью, представленной по данным интерпретации сейсмических разрезов экспедиции «Шельф-2011» (рис. 11). К сожалению, не была предоставлена информация, с чем именно связаны региональные несогласия и изменения обстановок осадконакопления. На какой основе выделялись сейсмические комплексы в ВКР речь пойдет в следующих главах.

3.2. Сейсмостратиграфические модели котловины Амундсена

В рамках экспедиции «Шельф-2011» в котловине Амундсена были выполнены сейсмические исследования МОВ-ОГТ по десяти профилям общей протяженностью свыше 2500 км, с выходом на склоны хребтов Ломоносова и Гаккеля, а также на склон

континентального шельфа моря Лаптевых в районе Новосибирских островов. В экспедиции 2014 года были получены сейсмические данные по семи профилям, три из которых расположены перпендикулярно простиранию котловины Амундсена с выходом на шельф моря Лаптевых. После выполнения обработки и интерпретации сейсмических разрезов были представлены две геологические модели бассейна (рис. 8), также для сравнения представлена стратиграфическая модель (Jokat et al., 1995).

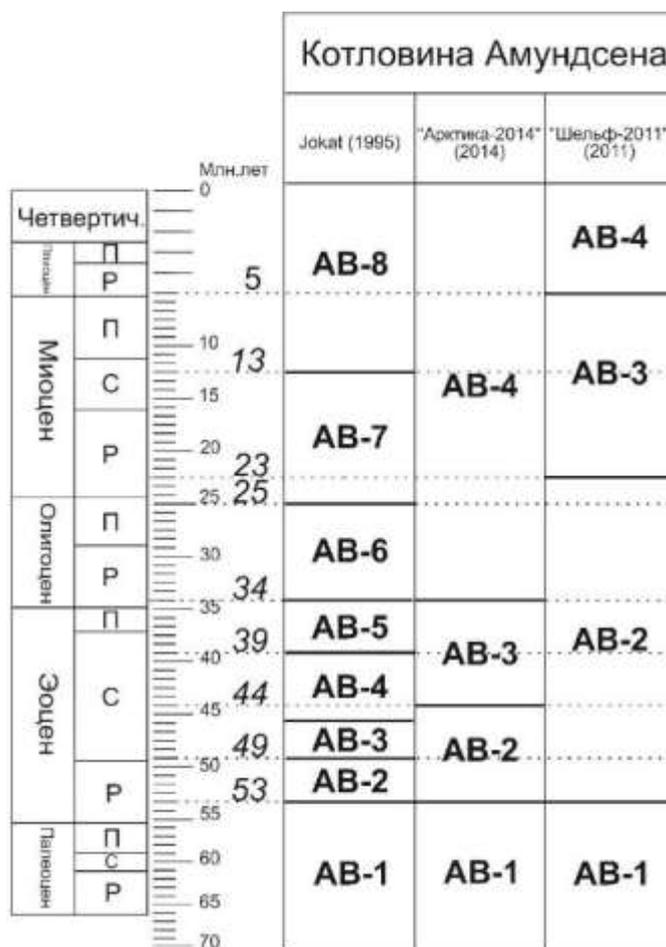


Рисунок 8 — Сейсмостратиграфические модели котловины Амундсена (Jokat et al., 1995; Фомина, 2014 текст отчета «Региональные сейсмические...»; Глумов, 2011 текст отчета «Оценка перспектив...».)

3.2.1 Модель, построенная по результатам экспедиции «Арктика- 2014»

Модель разработана в рамках подготовки заявки России в комиссию ООН по границам континентального шельфа (Фомина, 2014 текст отчета «Региональные сейсмические...»). Стратиграфическая привязка основных несогласий осадочного

чехла была выполнена на основе стратиграфической модели, принятой в ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга».

По мнению авторов в котловине Амундсена прослеживаются три главных несогласия (рис. 9), датировка которых оценивалась по корреляции мест их выклинивания у поверхности акустического фундамента с положением линейных магнитных аномалий.

Верхнее несогласие выклинивается у поверхности акустического фундамента в окрестности С13 (33 млн лет, олигоцен) и по этому признаку интерпретируется как региональное предмиоценовое (RU). Его формирование связано с открытием прохода пролива Фрама, которое в Евразийском бассейне контролируется С13.

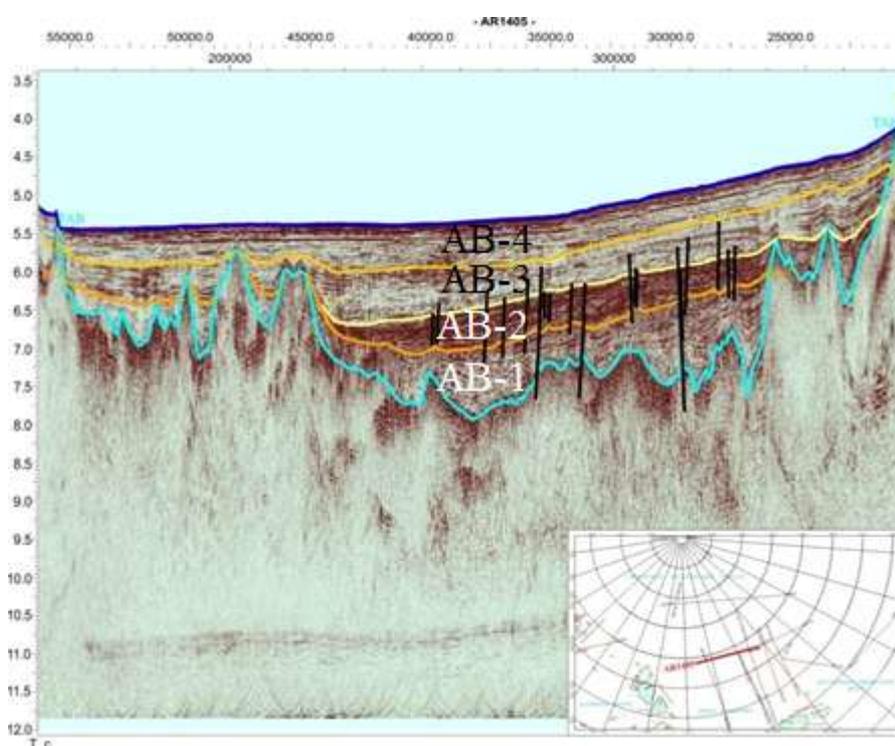


Рисунок 9 — Сейсмический разрез через котловину Амундсена (ARC_1405)

Среднее наиболее яркое несогласие выклинивается у поверхности акустического фундамента в промежутке между С24 (53 млн. лет, верхний палеоцен) и С20 (44 млн.лет, средний эоцен). Это несогласие идентифицируется как нижнеэоценовое (ЕоU). Совпадение по возрасту позволяет предположить связь между формированием ЕоU и эпизодом континентальных условий осадконакопления на хребте Ломоносова (49 млн лет).

Нижнее несогласие выклинивается у поверхности акустического фундамента в окрестности С24 (53 млн лет, верхний палеоцен) и по этому признаку интерпретируется

Сейсмокомплекс 1. В забое одной из скважин на хребте Ломоносова были вскрыты верхнемеловые отложения, на которых несогласно залегают осадки верхнего палеоцена. Сейсмокомплекс локально распространен в восточной части котловины Амундсена, где залегает, по всей видимости, на доверхнемеловом фундаменте с резким угловым и стратиграфическим несогласием.

Сейсмокомплекс 2, по всей видимости, представлен отложениями позднеэоцен-олигоценного возраста (?). Сейсмокомплекс имеет развитие только в центральной части котловины Амундсена. На склонах хребтов Ломоносова и Гаккеля комплекс выклинивается по типу подошвенного налегания. В скважинах на хребте Ломоносова этот комплекс отсутствует по причине эрозионного размыва или отсутствия осадконакопления. В скважинах выделено эрозионное несогласие, возраст которого определен как предмиоценовый. Предполагается, что в это время хребет находился выше уровня океана.

Сейсмокомплекс 3 представлен отложениями миоценового возраста (?). В котловине Амундсена в непосредственной близости от хребта Ломоносова в комплексе 3 отмечается косослоистая запись с элементами подошвенного прилегания, что подтверждает наличие эрозии на хребте Ломоносова на границе олигоцена и миоцена. В котловине Амундсена его кровля прослеживается во временном интервале 5,2-5,6 с.

Сейсмокомплекс 4 является самым верхним и характеризуется субпараллельными высокоамплитудными отражениями. Возраст комплекса определяется как верхненеоген-четвертичный.

Глава 4. СЕЙСМОСТРАТИГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА ЕВРАЗИЙСКОГО БАССЕЙНА

Сейсмостратиграфия имеет большое значение в изучении осадочных бассейнов Земли и занимается изучением последовательности формирования осадочных толщ горных пород и их первоначального пространственного залегания по данным сейсморазведки. Сейсмические последовательности имеют тенденцию демонстрировать: цикличность изменения относительного уровня моря, региональные несогласия процессов седиментации, изменения климата, а также тектоническую активность на протяжении эволюции бассейна. Сейсмостратиграфические исследования способствуют глубокому пониманию эволюции бассейнов и позволяют интерпретировать потенциальные материнские породы и породы-коллекторы, что безусловно упрощает прогнозирование нефтенасыщенных пород.

Основными факторами распределения осадочного покрова в бассейнах являются: тектоническая история, природа и положение источника осадков, особенности осадконакопления.

На сейсмических разрезах рельеф подстилающего сейсмокомплексы кристаллического фундамента представлен множеством локальных поднятий, амплитуда которых увеличивается в сторону хребта Гаккеля, что связано с уменьшением скорости океанического раскрытия (начиная с аномалии С21 скорость полуспрединга уменьшилась в два раза от 1,1 см/год до 0,59 см/год ([Vogt et al., 1979](#))). В котловине Нансена глубина залегания фундамента колеблется от 8 км вблизи шельфа Земли Франца-Иосифа до 4 км в непосредственной близости от склона хребта Гаккеля. Главными факторами погружения фундамента является остывание литосферы и нагрузка накапливающихся осадков.

Средняя глубина залегания кристаллического фундамента в котловине Амундсена находится на отметке 6 км, тогда как глубина в котловине Нансена составляет около 7 км. Это различие может быть связано с различной мощностью перекрывающих осадков, определяющих изостатическое прогибание земной коры.

Следующей возможной причиной такого аномального обмеления фундамента по сравнению с котловиной Нансена может быть незначительная асимметрия спрединга ([Jokat et al., 2004](#)). Предполагается, что в определенный период времени (С18) переход от медленного спрединга к ультра-медленному произошел в бассейне Амундсена быстрее, чем в котловине Нансена.

4.1. Новая модель котловины Нансена

Осадочный чехол котловины Нансена можно разделить на семь сейсмокомплексов (рис. 11), выделение которых основано на изменении характера сейсмической записи и отчетливым прослеживанием, ограничивающих их сейсмических отражений. Возраст сейсмических границ оценивался по их взаимоотношению с кровлей океанической (магматической) коры, датированной по магнитным аномалиям.



Рисунок 11 — Новая модель котловины Нансена

1) NB-0, самый древний комплекс (рис. 12), предположительно является рифтовым комплексом. Скорости распространения сейсмических волн варьируются в пределах от 3.6-3.8 км/с, комплекс представлен малоамплитудными непрерывными отражениями. Наибольшая мощность осадков составляет 1,6 км. Граница между NB-0 и NB-1 связана с началом океанического раскрытия Евразийского бассейна. Осадочные комплексы рифтового и пострифтового этапа имеют резко различный состав и строение и разделены несогласием, получивший название “несогласие раскрытия” (“*break-up unconformity*”; Худoley, 2003). Еще одним признаком выделения этого

комплекса, как рифтового, свидетельствует наличие литрических сбросов в подстилающем его фундаменте. Эти сбросы возникают в зонах растяжения континентальной коры. Предположительный возраст комплекса составляет от <60 млн. лет до 56 млн. лет, до начала Кайнозойского спрединга морского дна Евразийского бассейна.

2) NB-1, вышележащий комплекс, обладает меньшими скоростями сейсмических волн, в среднем, равными 3,5 км/с, и представлен непрерывными, слабоамплитудными, прозрачными отражениями. Мощность этого комплекса варьируется от 1,5 км в западной части бассейна, в направлении к плато Ермак, до 1,0 км в районе современного трога Св. Анны. Природа этого комплекса остается дискуссионной. Предположительный возраст, полученный по корреляции мест выклинивания комплекса у поверхности акустического фундамента с положением линейных магнитных аномалий равен 56-48 млн. лет. Скорость осадконакопления в депоцентре составляет 200 м/млн. лет.

3) NB-2, осадки этого комплекса были накоплены в течение временного интервала от 48 до 20 млн. лет. Средние скорости распространения сейсмической волны – 3,3 км/с. Комплекс представлен среднеамплитудными, непрерывными отражениями. Мощность осадков сильно изменяется по простиранию бассейна, максимальная мощность осадочного материала составляет 2,2 км. Скорость седиментации в депоцентре составляет 80 м/млн. лет.

4) NB-3, этот комплекс содержит осадки, мощностью 0,5 км, которые равномерно распределены почти по всей глубоководной части котловины Нансена. Средняя скорость распространения акустической волны составляет - 2,9 км/с. Комплекс представлен среднеамплитудными, непрерывными отражениями. Возраст осадков составляет от 20 до 10 млн. лет. Граница между комплексами NB-2 и NB-3, вероятно, связана с началом открытия пролива Фрама, который был последним крупным тектоническим событием и, следовательно, с изменением условий осадконакопления, лагунные осадки сменились морскими ([Berglar et.al., 2016](#)). Скорость осадконакопления в депоцентре равна 75 м/млн. лет.

5) NB-4, комплекс представляет собой отложения, которые были накоплены с момента полного открытия пролива Фрама (~10 млн. лет) до начала интенсивного ледникового осадконакопления (2,6 млн. лет). Сейсмические отражения изменяются от умеренных к сильным, комплекс соответствует скоростям 2,6 км/с. Мощность осадков, также, как и в нижележащем комплексе составляет 0,5 км и отчетливо прослеживается по площади всего бассейна. Скорость осадконакопления в депоцентре составляет 65

м/млн. лет.

6) NB-5, комплекс связан с началом оледенения Северного полушария около 2,6 млн. лет назад и развитием интенсивного поступления осадков с шельфа Баренцева и Карского морей за счет ледниковой эрозии. Скорость распространения сейсмических волн меньше, чем в нижележащих комплексах и составляет 2,3 км/с. Комплекс представлен параллельными сильноамплитудными, непрерывными отражениями. Скорости осадконакопления в этот период достигли своих максимальных значений за всю историю эволюции Евразийского бассейна. За временной интервал равный примерно 1 млн. лет, с прилегающей шельфовой территории было снесено порядка 1 км. осадков. На профиле ARC_006 (рис. 12) это не так ярко выражено, как на других профилях, это связано с тем, что профиль находится в стороне от главных источников сноса осадков. Скорость седиментации в депоцентре равна 900 м/млн. лет.

7) NB-6, комплекс знаменуется началом второго цикла оледенения Северного полушария. Среднее значение скорости распространения волн в данном комплексе составляет 1,9 км/с. Комплекс представлен средне- и сильноамплитудными отражениями, в нижней части комплекса отражения непрерывные, а в верхней его части наблюдается хаотическая сейсмическая запись, которая вероятней всего связана с действием обломочных потоков, представленных грубообломочным материалом. Как и в случае с нижележащим комплексом, за короткий, по геологическим меркам, период было привнесено около 750 метров осадков, соответственно скорость осадконакопления в депоцентре также представлена высокими значениями и составляет 500 м/млн. лет.

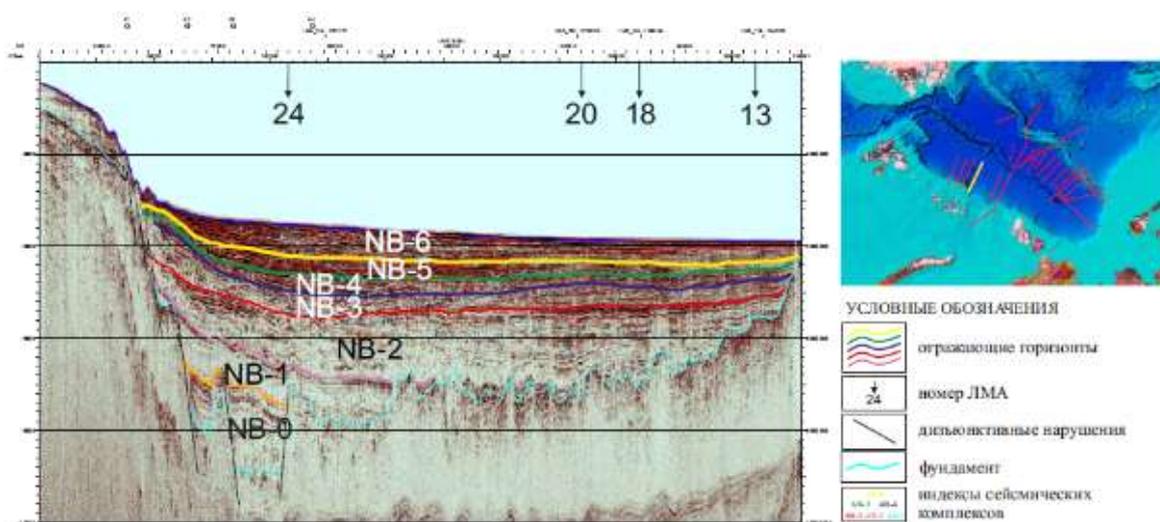


Рисунок 12 — Сейсмический разрез через котловину Нансена (ARC_006)

4.2. Новая модель котловины Амундсена

Осадочный чехол котловины Нансена можно разделить на семь сейсмокомплексов (рис. 13), выделение которых основано на изменении характера сейсмической записи и отчетливым прослеживанием, ограничивающих их сейсмических отражений. Возраст сейсмических границ оценивался по их взаимоотношению с кровлей океанической (магматической) коры, датированной по магнитным аномалиям.



Рисунок 13 — Новая модель котловины Амундсена

1) АВ-1, самый древний комплекс (рис.14), налегающий на кровлю акустического фундамента, который характеризуется резкими акустическими отражениями, вероятно связанными с увеличением акустического импеданса на границе фундамент-осадочный чехол. Комплекс представлен средне-амплитудными, прозрачными, непрерывными отражениями, скорость распространения волны в этом комплексе составляет 3,6 км/с. В котловине Амундсена, не представляется возможным выделить рифтовый комплекс. В первую очередь это связано с качеством сейсмической записи, и разрешающей

способностью съемки. Если считать, что спрединг Евразийского бассейна был симметричным и котловины образовались в одно время, то рифтовый комплекс в котловине Амундсена должен иметь такой же возраст, как и в котловине Нансена (С24). Комплекс имеет возраст от 48 млн лет, вблизи шельфа моря Лаптевых до 56 млн лет в приполюсной области. Вероятней всего, комплекс включает в себя верхнюю часть рифтового комплекса. Мощность осадков, вблизи шельфа моря Лаптевых достигает 1,5 км, в центральной части котловины Нансена эта величина составляет <250 м. Скорость осадконакопления в депоцентре составляет 100 м/млн. лет.

2) АВ-2, отложения этого комплекса были накоплены за очень короткий промежуток времени, начиная с 48 до 44 млн лет. Средняя скорость распространения акустических волн составляет 3,3 км/с. Комплекс представлен сильноамплитудными, непрерывными отражениями. За короткий период времени накопилось большое количество обломочного материала. Мощность осадков достигает 1,7 км. Скорость седиментации в депоцентре данного комплекса составляет 400 м/млн. лет.

3) АВ-3 комплекс представлен осадками возрастом 44-10 млн лет, скорость распространения сейсмической волны в которых равна 2,9 км/с, акустические отражения непрерывные, слабоамплитудные, прозрачные. Граница между комплексами АВ-2 и АВ-3 вероятно соответствует началу очень низкой скорости седиментации в котловине Амундсена, что подтверждается данными бурения глубокой Арктической скважины АСЕХ-302 ([Backman et al., 2008](#)). Величина скорости седиментации в депоцентре составляет 40 м/млн. лет. Средняя мощность осадков в бассейне примерно составляет 1 км.

4) АВ-4, этот комплекс сильно отличается от предыдущих, на сейсмических разрезах выявлены контуриты. Скорость седиментации в депоцентре равна 100 м/млн. лет. Средняя скорость распространения волн составляет 2,3 км/с, сейсмические отражения – среднеамплитудные, непрерывные, прозрачные. Комплекс прослеживается по всей котловине Амундсена и представлен равномерными осадками, мощностью 0,5 км, увеличение мощности, вблизи хребта Ломоносова связано с действием контурных течений.

5) Образование комплекса АВ-5, как и в котловине Нансена, связывается с началом оледенения. Средняя скорость распространения акустической волны также, как и в АВ-5 равна 2,3 км/с. Мощность осадков вблизи шельфа моря Лаптевых значительно превышает мощность в глубоководной части бассейна и составляет 750 метров. Скорость осадконакопления в депоцентре составляет 700 м/млн. лет.

б) АВ-6, аналогичный комплексу NB-6 в котловине Нансена, вероятней всего, связан со вторым циклом оледенения Северного полушария. Комплекс представлен сильноамплитудными, параллельными отражениями, мощности осадка варьируются от 750 метров, до почти полного выклинивания на поднятиях фундамента, вблизи хребта Гаккеля, скорости акустической волны составляют от 1,8-2,0 км/с. Скорость седиментации в депоцентре равна 500 м/млн. лет.

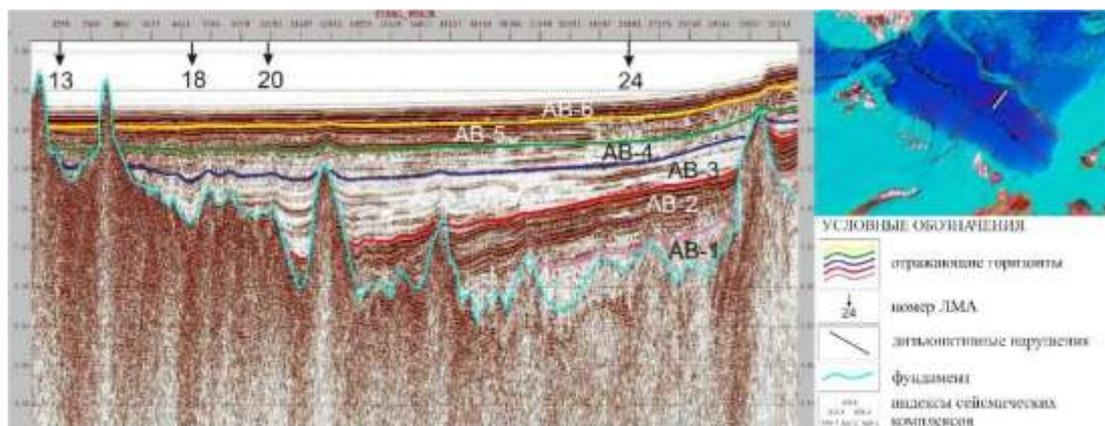


Рисунок 14 — Сейсмический разрез через котловину Амундсена (ARC_029)

Глава 5. КАРТЫ МОЩНОСТЕЙ ОСАДКОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

После выполнения интерпретации сейсмических разрезов было выполнено построение карт мощностей каждого сейсмокомплекса, кроме рифтового, т.к. в котловине Нансена рифтовый комплекс прослеживается только на двух профилях, а в котловине Амундсена он не выделялся. Карты мощности дают важную информацию об источниках сноса и темпах осадконакопления.

Карты составлены путем трансформации временных разрезов в глубинные с использованием имеющихся данных о средних скоростях по каждому комплексу для котловины Нансена (NB1-3,7 км/с; NB2-3,3 км/с; NB3-2,9 км/с; NB4-2,6 км/с; NB5-2,3 км/с; NB6-1,9 км/с) и котловины Амундсена (AB1-3,9 км/с; AB2-3,4 км/с; AB3-2,9 км/с; AB4-2,5 км/с; AB5-2,3 км/с; AB6-1,9 км/с).

5.1. Карта мощности осадков комплексов NB-1 и AB-1

Осадки комплекса NB-1 и AB-1 (рис. 15) были накоплены в течение раннего периода океанического раскрытия Евразийского бассейна. Анализ строения комплексов NB1 и AB1 показывает постепенное увеличение их мощности в направлении к архипелагу Шпицберген. В котловине Амундсена отчетливо прослеживается уменьшение осадков от периферийной части котловины к центральной. Вероятней всего, осадки этого комплекса начали поступать в бассейн, при раскрытии Евразийского бассейна, вследствие чего началось активное заполнение котловины отложениями, привнесенными с области современного шельфа моря Лаптевых.

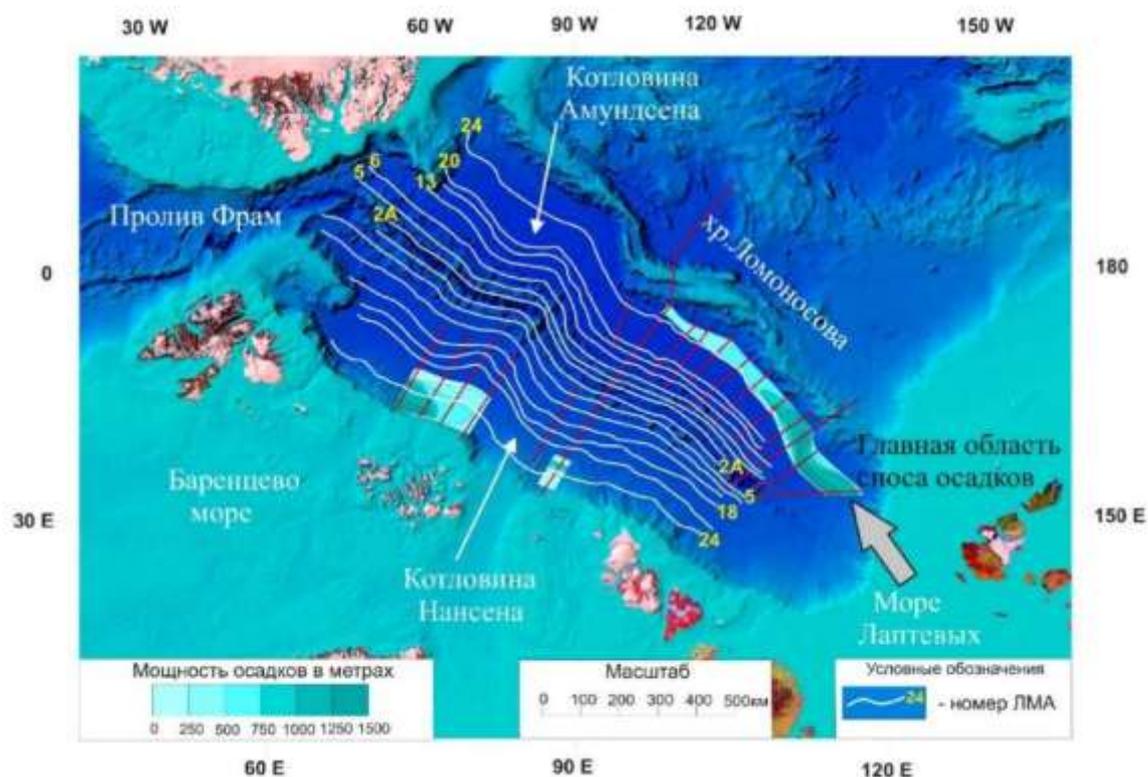


Рисунок 15 — Карта мощностей комплексов АВ-1 и NB-1. Линии магнитных аномалий в интерпретации ([Glebovsky et al., 2006](#)) с дополнением ([Brozena et al., 2003](#))

5.2. Карта мощности осадков комплексов NB-2 и АВ-2

Вышележащий комплекс котловины Нансена (NB-2) обладает наибольшей мощностью из всех выделенных комплексов (рис. 16); значения в депоцентрах достигают более 2 км в районе современного трога Св. Анны (рис. 1). Основным источником сноса обломочного материала являлся Баренцево-Карский шельф.

Локальные депоцентры, которые наблюдаются в центральной части котловины Амундсена вызваны неровностями рельефа акустического фундамента. Разница залегания акустического фундамента между соседними профилями, расстояние между которыми в среднем 100 км, достигает 0,5-0,7с двойного времени пробега акустической волны. В целом, данный сейсмический комплекс котловины Амундсена имеет равномерное распределение по площади.

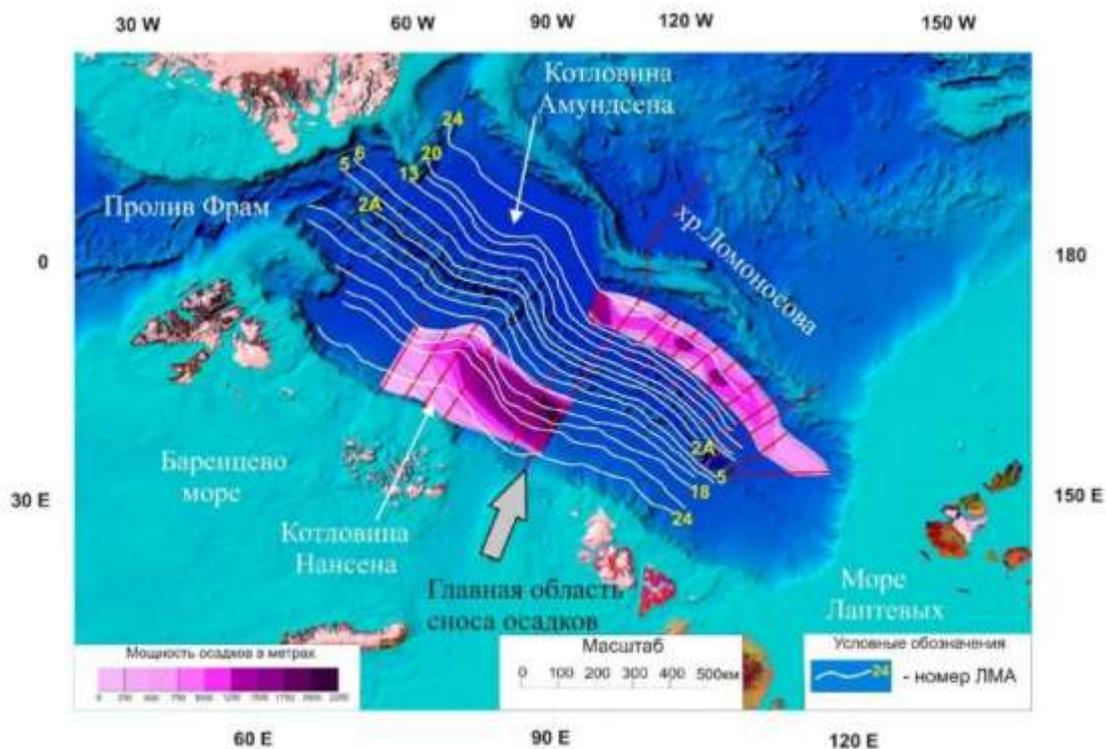


Рисунок 16 — Карта мощностей комплексов АВ-2 и NB-2

5.3. Карта мощности осадков комплексов NB-3 и АВ-3

Предполагается, что граница между комплексами NB-2 и NB-3 связана с разделением плато Ермак, поднятием Морис-Джесуп и началом открытия пролива Фрама. Поднятие Морис-Джесуп Канадско-Гренландской континентальной окраины и плато Ермак Баренцевской континентальной окраины до середины эоцена не были разделены и составляли единое вулканическое плато. Их разделение произошло не ранее олигоцена, после чего установилась структурная связь Евразийского бассейна с Атлантикой через Норвежско-Гренландский бассейн, ([Engen et al., 2009](#)) но океаническая, со свободной водной циркуляцией, возникла только к позднему эоцену.

Открытие пролива Фрама, является самым дискуссионным и острым вопросом в эволюции Евразийского бассейна. Существует множество различных вариаций начала циркуляции водных масс в Северном Ледовитом океане. Некоторые исследователи предполагают, что циркуляция началась при разделении поднятия Моррис-Джесуп и плато Ермак ([Porier et al., 2011](#)), в этот период морские потоки просачивались через коровые растяжения в рамках прото-пролива Фрама. По другим представлениям водообмен между Северной Атлантикой и Северным Ледовитым океаном начался только при открытии трога Лены (9,8 млн. лет назад).

В данной выпускной работе рассматриваются возможные факторы, которые могли бы препятствовать проникновению вод в Евразийский бассейн либо наоборот способствовать этому. Предполагается, что мелководный хребет Ховгарда, истолкованный как зона разлома или вытянутый участок континентальной коры, отколовшийся от Баренцевского шельфа в раннем Олигоцене, мог препятствовать проходу водных масс в Северный Ледовитый океан ([Engen et al., 2008](#)). Следующим фактором, препятствовавшим проникновению атлантических вод в Евразийский бассейн, возможно, являются терригенные отложения, которые могли создавать барьер для циркуляции океанических вод, пока они не были вынесены при дальнейшем расширении пролива.

Близость пролива Фрама к поднятым шельфовым районам ([Dimakis et al., 1998](#)) позволяет предположить, что первоначальный пролив мог быть быстро заполнен осадками. Даже в настоящее время склоновые отложения в некоторых местах заполняют аксиальную долину трога Лены. Контуриты в проливе Фрама залегают на несогласиях ([Eiken and Hinz, 1993](#)), которые могут указывать на эрозию первоначальных отложений в проливе.

Согласно модели Якобсона с соавторами ([Jakobsson et al., 2007](#)), единственным выходом вод Северного Ледовитого океана в конце раннего миоцена был пролив Фрама (рис. 17). Проливы являются физиографическими узкими местами, сильно влияющими на циркуляцию, при этом ограничивая потоки водных масс. Современная ширина пролива Фрама составляет около 300 км, и этого достаточно для обеспечения вентиляции всех слоев в Северном Ледовитом океане.

На протяжении миоцена, когда пролив Фрама открывался и углублялся под действием спрединга морского дна, в результате ряда изменений должен был развиваться водообмен между Арктикой и Северной Атлантикой, которые также повлияли на циркуляцию и условия вентиляции поверхностных течений в бассейне Северного Ледовитого океана.

Начальная фаза открытия пролива Фрама ограничивалась однонаправленным оттоком пресной воды, уровень вод СЛО был значительно выше уровня вод Атлантического океана (рис. 17). Во время этого этапа “Арктического озера” вентиляция глубинных вод могла происходить в результате сезонной конвекции. По существующей гипотезе, при расширении и углублении пролива Фрама стал возможен приток соленых североатлантических вод, что привело к двунаправленному двухслойному течению через пролив Фрама, именно в эту фазу раскрытия пролива был отложен сейсмокомплекс NB-3.

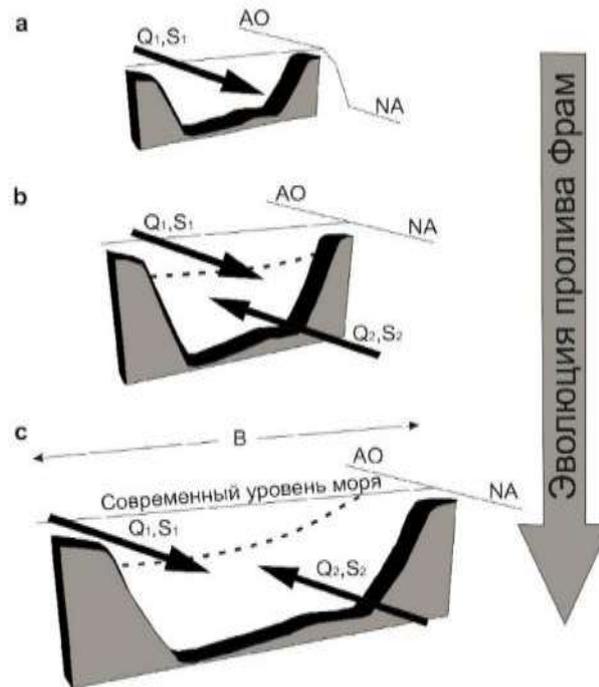


Рисунок 17 — Схематическая иллюстрация открытия пролива Фрама и гипотетического водообмена между Северным Ледовитым океаном и Северной Атлантикой. АО-Северный Ледовитый океан, НА-Атлантический океан, В-ширина пролива, S-соленость, Q-течение ([Jakobsson et al., 2007](#))

В этот период Арктика эволюционировала от озерной стадии к стадии внутреннего моря, очень похожего на современное Черное море. Окончательный переход произошел, когда пролив стал шире внутреннего радиуса Россби верхнего слоя. Если система характеризуется малым числом Россби, то она подвержена значительному влиянию силы Кориолиса, если большим числом, то в этой системе доминирующими являются сила инерции и центробежная сила, что подразумевает под собой начало циркуляции водных масс. Но обязательно стоит отметить, что начало донной циркуляции произошло несколько позже при дальнейшем углублении и расширении пролива Фрама ([Jakobsson et al., 2007](#)).

Явным признаком начала глубоководной циркуляции в бассейне является наличие на сейсмических разрезах контуритовых наносов, которые образуются в результате активности донных течений (рис. 18). Самым ранним зафиксированным (отмеченным) контуритовым наносом является дрейф на профиле (ARC_006), который расположен в кровельной части комплекса NB-3, что соответствует примерному возрасту 12 млн. лет.

Осадки сейсмокомплекса NB-3 равномерно распределены почти по всей глубоководной части котловины Нансена, единственная область в которой наблюдается повышение мощности осадков связана с развитием контуритового наноса (рис. 19).

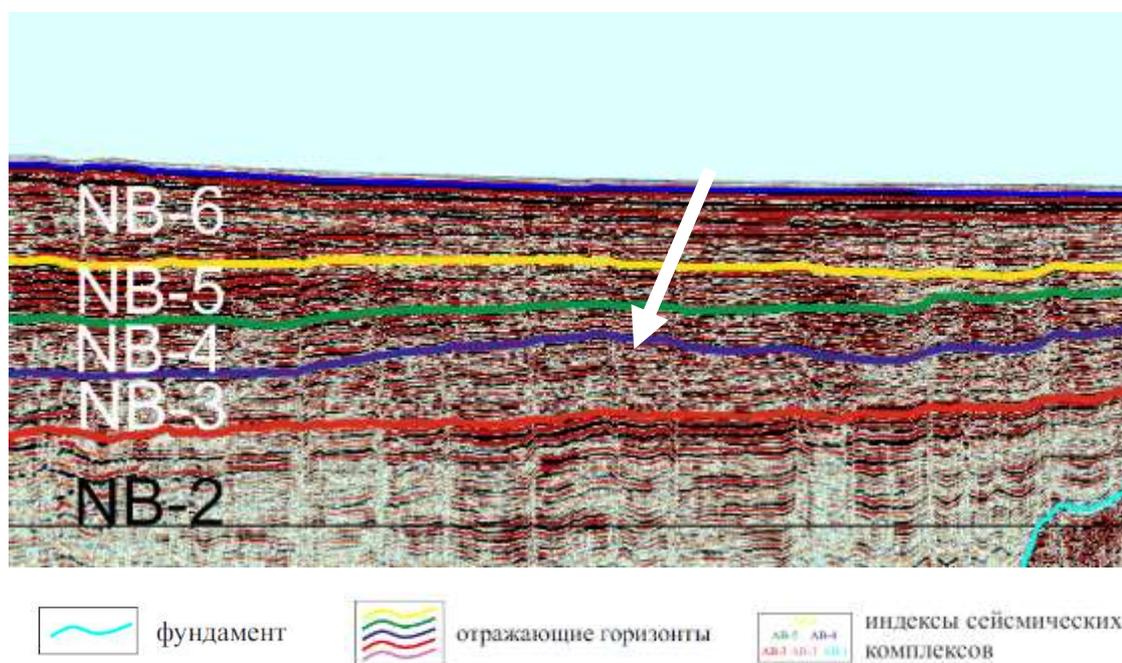


Рисунок 18 — Фрагмент сейсмического разреза через котловину Нансена (ARC_006). Стрелкой указано положение контуритового наноса

В период накопления комплекса АВ-3 в котловине Амундсена преобладали гемипелагические обстановки осадконакопления. Гемипелагические осадки представляют собой мелкозернистый материал, который накапливается в результате оседания частиц на дно открытого океана вдали от суши. Эти частицы состоят в основном из микроскопических известковых или кремнистых планктонных оболочек и глинисто-кремниевый материала. Максимальной мощности осадков, комплекс достигает в приполюсной области и составляет 1500 м (рис. 19).

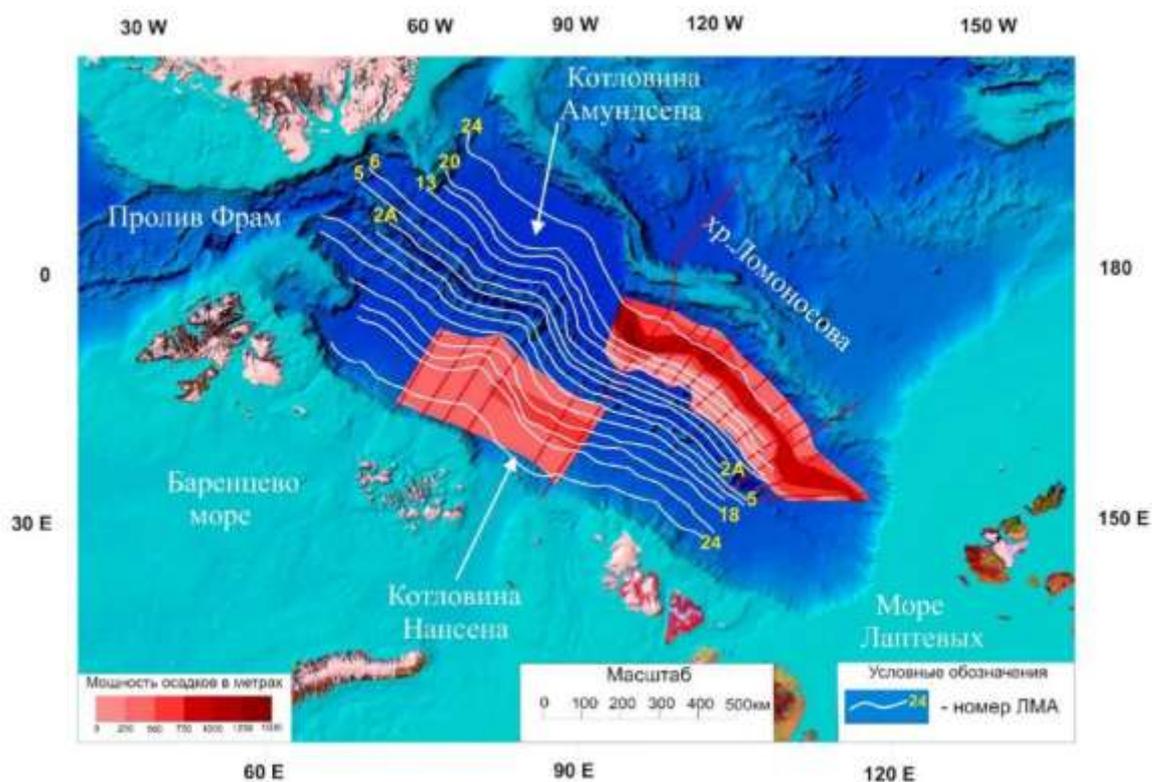


Рисунок 19 — Карта мощностей комплексов АВ-3 и NB-3

5.4. Карта мощности осадков комплексов NB-4 и АВ-4

Изменение тектонической обстановки, такой как открытие или закрытие проливов, которые контролируют донную циркуляцию водных масс между океанскими бассейнами, способствует образованию контуритовых систем (рис. 20). При выполнении сейсмофациального анализа сейсмических разрезов котловины Амундсена, было выделено 2 контуритовых комплекса, максимально развитых в области, прилегающей к склону хребта Ломоносова, приуроченные к активности подводных каналов. Комплекс, который наблюдается непосредственно вблизи склона хребта Ломоносова, развивался до настоящего времени, а второй закончил развитие 2,6 млн. лет назад. Данные контуритовые комплексы прослеживаются практически на всех разрезах.

Около половины современной атлантической воды, поступающей в Северный Ледовитый океан, поступает через шельф Баренцева моря. Вероятно, в то время, когда только начинал открываться пролив Фрама, глубоководный обмен был осложнен в связи поднятием Баренцевского шельфа и эрозией до открытия пролива Фрама.

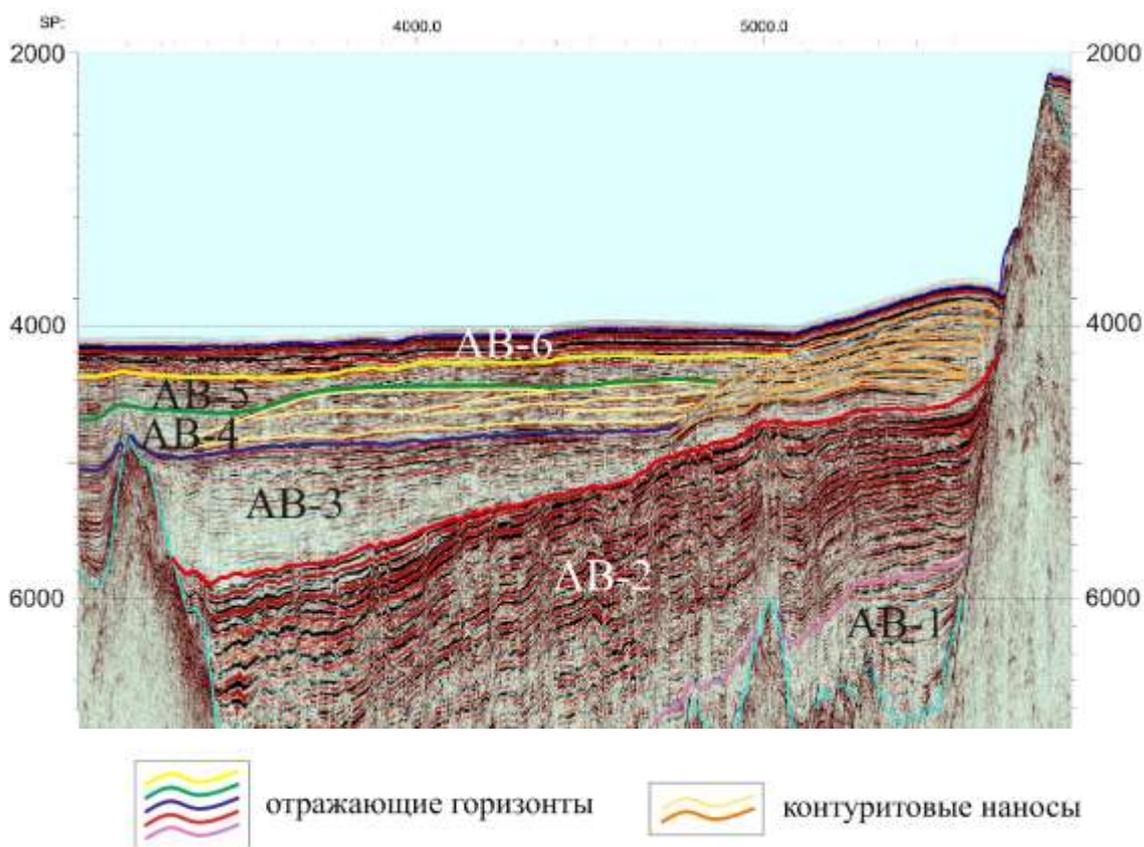


Рисунок 20 — Фрагмент сейсмического разреза через котловину Амундсена (ARC_028) с выделенными контуритовыми наносами

Современная океаническая циркуляция представлена на (рис. 21). Циркуляция образуется за счет перепада плотности воды, отток поверхностных вод с низкой минерализацией концентрируется на западном континентальном склоне пролива (Гренландия). Это открывает восточную часть пролива для потока течений, приводимых в движение крупным ветровым полем. Общий текущий приток вод через пролив Фрама в 5-10 раз превышает отток поверхностных вод с низкой минерализацией. Большая часть этого водообмена представляет собой рециркуляцию внутри пролива, тем не менее, 4-5 кратный объем вод входит в Северный Ледовитый океан и способствует вентиляции его глубоких вод.

В комплексе NB-4 контуриты не выявлены, т.е. интенсивные донные течения в котловине Нансена, в отличие от котловины Амундсена, в период 20-10 млн.лет не развивались. Мощность осадков комплекса NB-4 (рис. 22) в глубоководной части составляет 500 м, в направлении к хребту Гаккеля и Баренцевскому шельфу это значение несколько уменьшается.

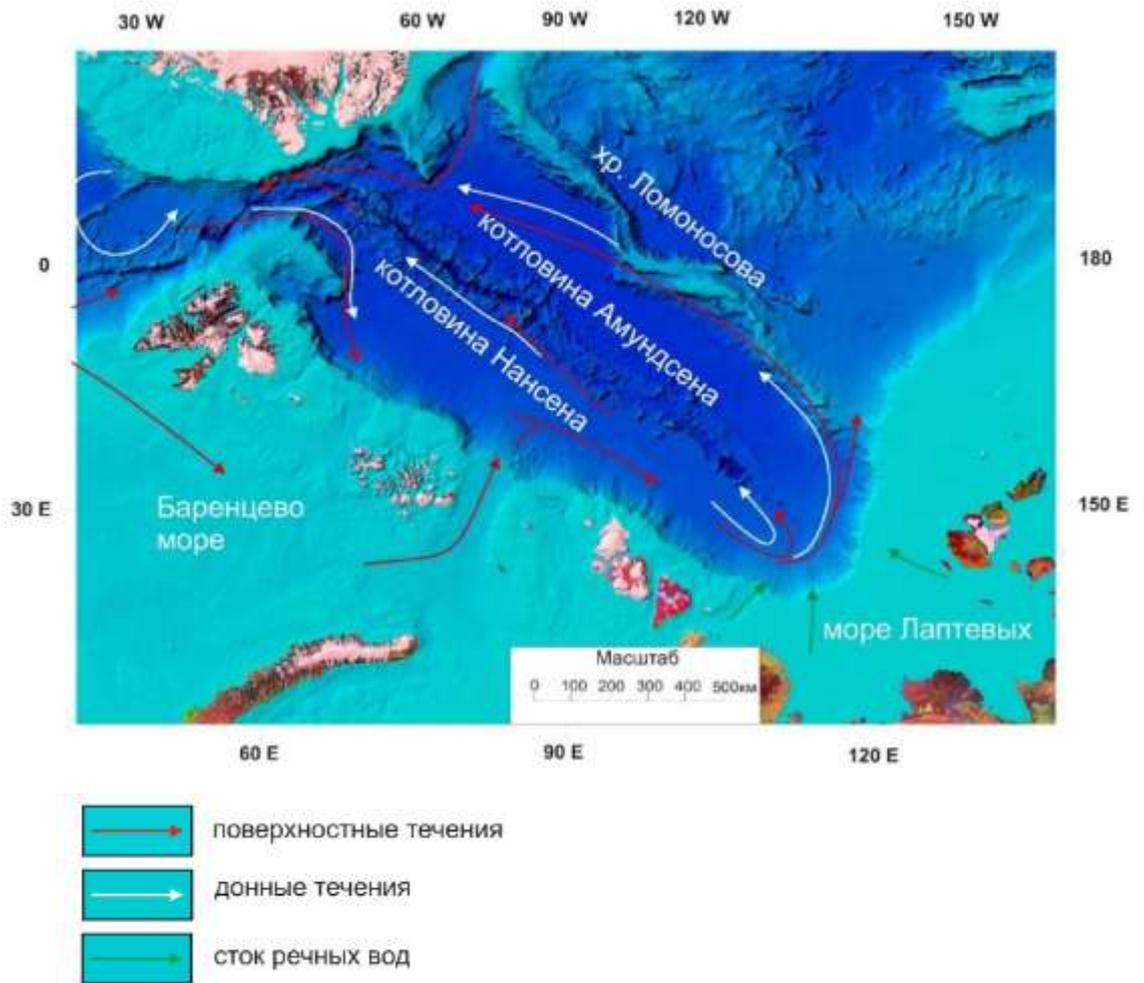


Рисунок 21 — Схематическая карта современной океанической циркуляции СЛО

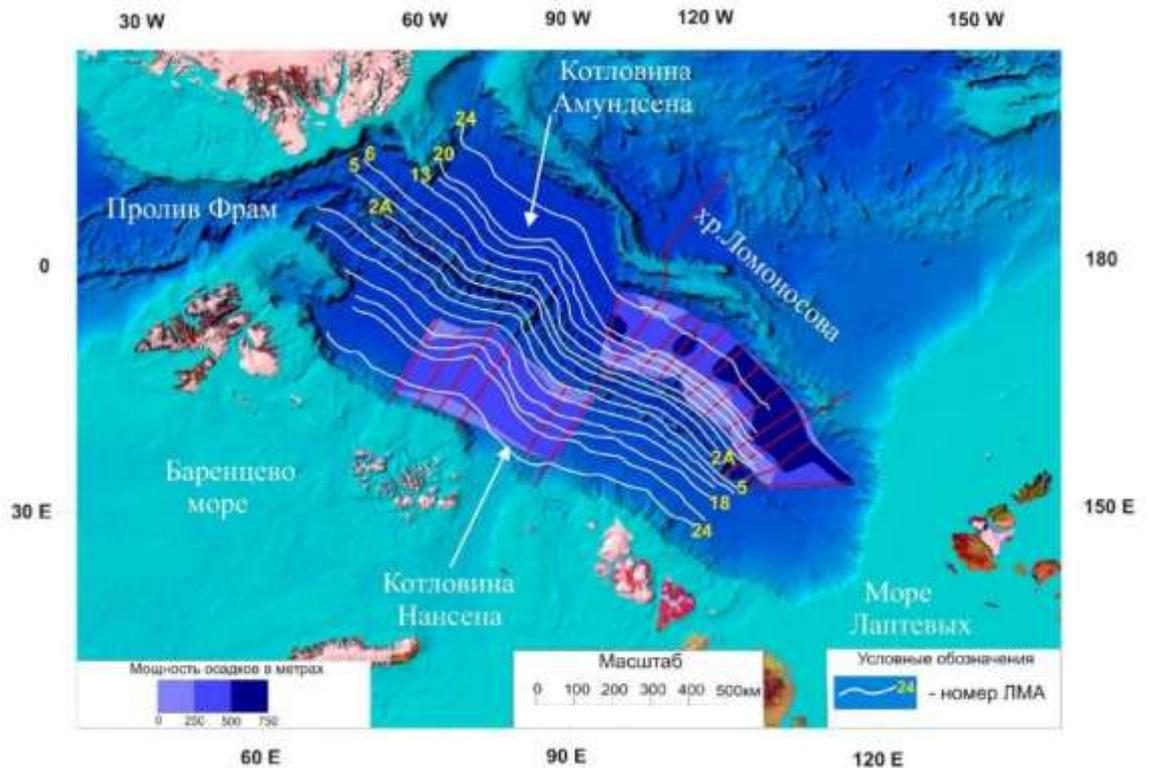


Рисунок 22 — Карта мощностей комплексов АВ-4 и NB-4

5.5. Карта мощности осадков комплексов NB-5 и АВ-5

Комплексы NB-5 и АВ-5 связаны с началом оледенения Северного полушария около 2,6 млн. лет назад и повышенным привнесом обломочного материала в глубоководную область. На (рис. 23) показаны основные возможные области сноса детритового материала через подводные шельфовые каналы, которые маркируют положение ледовых палеопотоков (выводных ледников), переносивших наибольшее количество осадков. Вблизи трогов Франца-Виктории и Св. Анны (рис. 1) располагаются одноименные дрифты, мощности которых достигают 1 км.

Привязка комплекса по возрасту происходила по результатам бурения 3 скважин, которые были пробурены в Плиоценовой осадочной толще на внутренней части плато Ермак. Рефлектор возрастом 2.6 млн. лет вскрытый скважинами ODP 910 и 911 может быть коррелирован с подошвой комплекса NB-5 в бассейне Нансена путем сопоставления моделей акустических отражений ([Geissler & Jokat 2004](#)). Это показывает, что подошва комплекса NB-5 соответствует началу оледенения Северного Полушария. Однако никакой прямой связи не может быть установлено.

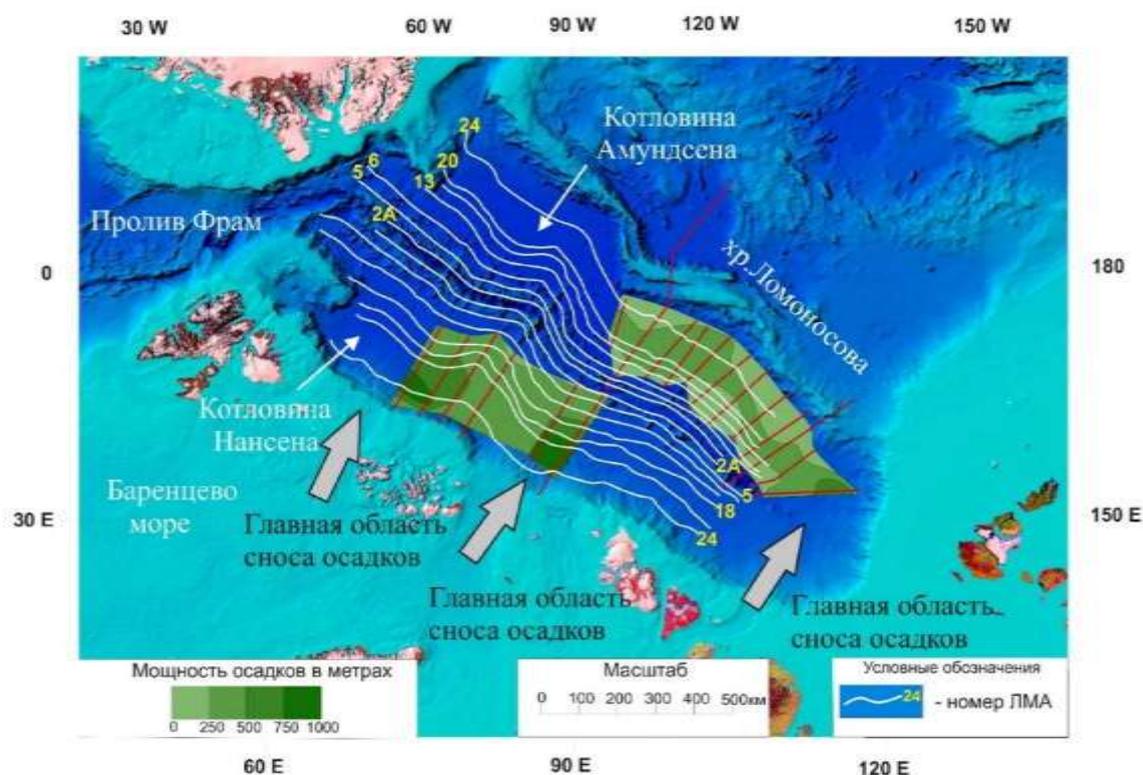


Рисунок 23 — Карта мощностей комплексов АВ-5 и NB-5

5.6. Карта мощности осадков комплексов АВ-6 и NB-6

Комплексы АВ-6 и NB-6 знаменуются началом второго цикла оледенения Северного полушария (рис. 24). Основные области сноса, как для котловины Нансена, так и для котловины Амундсена практически идентичны с областями сноса нижележащего комплекса (рис. 23).

Мощности комплексов значительно уменьшаются с удалением от континентальных окраин. Это в значительной степени отражает процессы переноса осадков в абиссальной равнине. В глубоководной части Арктики, вдали от главных областей сноса, основными видами переноса осадочных пород являются дрейфующие льды и латеральный перенос мелкозернистого материала океанскими течениями. Самые низкие скорости седиментации наблюдаются в районах с наиболее мощным ледяным покровом.

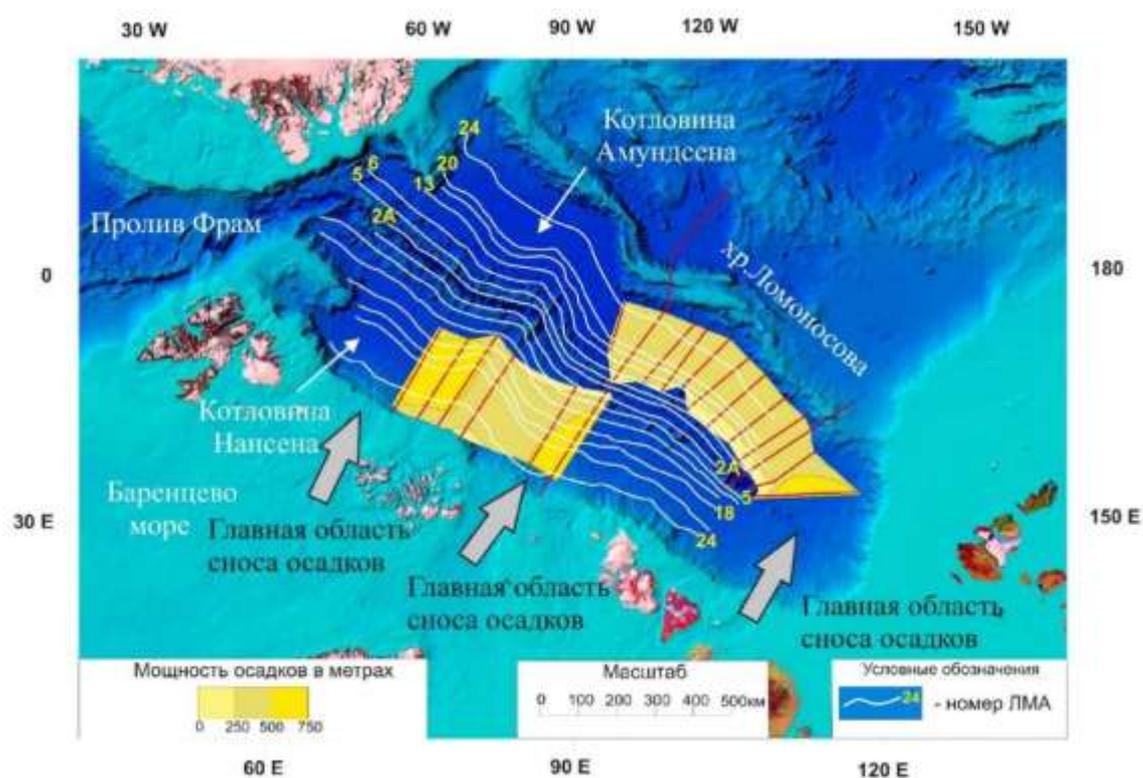


Рисунок 24 — Карта мощностей комплексов АВ-6 и NB-6

Глава 6. ПОДВОДНЫЙ КАНАЛ NP-28

Норвежскими специалистами вдоль подножия хребта Ломоносова (от шельфа моря Линкольна до Северного полюса) был выделен молодой подводный канал и сопряженный с ним контуритовый нанос. Исследователями было принято решение назвать этот нанос “North Pole Submarine Fan”, а главный канал – “NP 28” в знак признания вклада российских ледовых станций в исследование глубоководного бассейна (рис. 25).

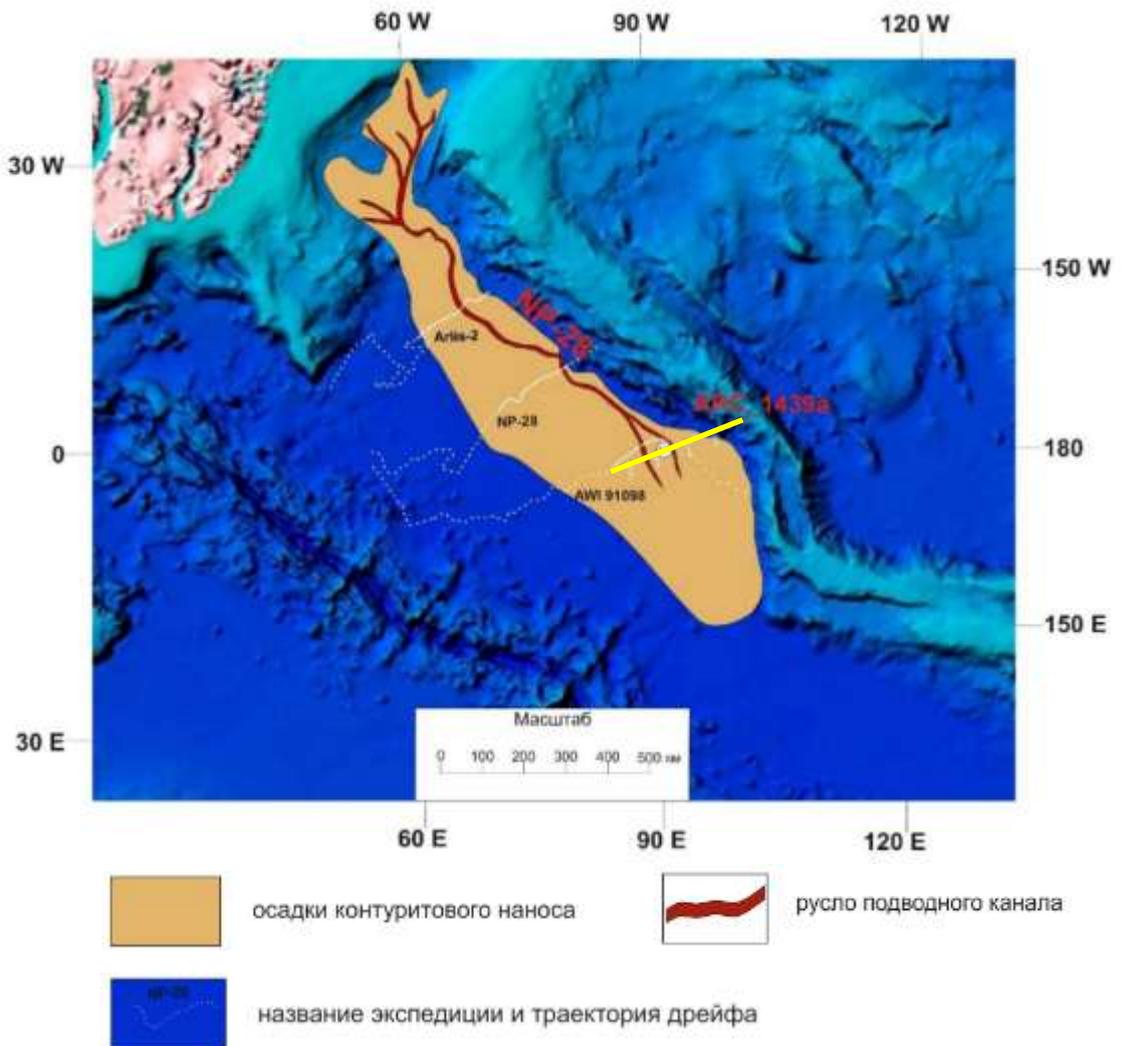


Рисунок 25 — Подводный канал NP-28

При приближении к Северному полюсу, главный канал разделяется на два различных как по мощности прирусловых валов, так и по поперечным размерам канала. Ширина наибольшего канала составляет не более чем 1,8 км. Второй канал не имеет столь внушительных размеров. Низкий рельеф меньшего по размерам канала, который простирается у основания хребта Ломоносова может отражать его относительную

молодость.

Предполагается, что ключевыми элементами в развитии прируслового вала “North Pole Submarine Fan” являются увеличение осадочных отложений на побережье Канады и Северной Гренландии и четкая направленность гравитационных потоков. Максимальный привнос осадочных пород в бассейн Амундсена должен быть связан с ледниковыми максимумами или явлениями дегляциации. Сейсмические разрезы, полученные с дрейфующих станций, свидетельствуют о том, что осадки пологого континентального склона к северу от Гренландии, прилегающего к хребту Ломоносова, в основном представлены отложениями главного канала.

Для уточнения распространения подводного канала был интерпретирован профиль ARC_1439a (рис. 26), который по предварительным представлениям должен был пересекать подводный канал NP-28. Данный профиль был выполнен экспедицией «Арктика-2014» и является первым 2-D профилем, который пересекает Географический Северный полюс.

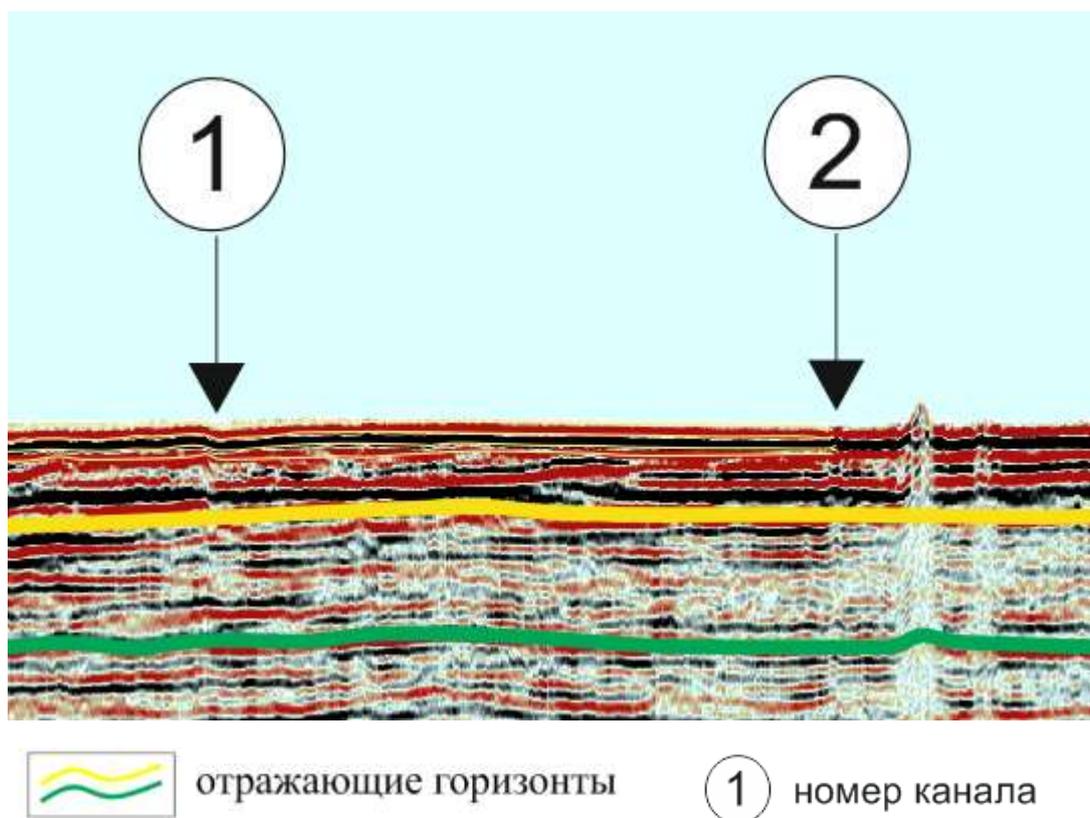


Рисунок 26 — Фрагмент сейсмического разреза 1439_a.

При начальном рассмотрении сейсмического разреза не было выявлено явных изменений в рельефе морского дна, что означало бы значительную активность

подводного течения. Следовательно, можно предположить, что по мере удаления от Гренландско-Канадского шельфа сила потока значительно уменьшилась и практически стала равной нулю в районе Северного полюса. При тщательном изучении сейсмического разреза было выделено 2 локальных углубления, которые, вероятно, и являются руслами подводных каналов. Канал под номером два, имеет менее выраженный рельеф, что совпадает с материалами предыдущих исследования и может говорить о его относительной молодости.

Благодаря полученным данным, можно сделать вывод, что в период плио-плейстоценового оледенения Северного полушария осадки с шельфовых областей Гренландии и Канады, переносимые подводным каналом NP-28, достигали могли достигнуть только область Северного полюса. Из этого следует, что остальная часть ледниковых осадков, поступала в абиссальную равнину котловины Амундсена с Карского шельфа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На сегодняшний день не существует такой геологической модели, которая могла бы ответить на все спорные вопросы, возникшие за период исследования Евразийского бассейна. Основной причиной сложности составления такой модели, является недостаток геофизических данных, либо их неудовлетворительное качество, связанное с суровым арктическим климатом и в частности со сложной ледовой обстановкой. Большинство отечественных материалов было получено еще в середине прошлого века, чья разрешающая способность не позволяет четко выделить маломощные толщи, что может соответствовать потери целой геологической эпохи.

На основании проделанных исследований в данной выпускной квалификационной работе в осадочном чехле котловины Нансена может быть выделено 7 сейсмических комплексов, датировка возрастов которых оценивалась по корреляции мест их выклинивания у поверхности акустического фундамента с положением линейных магнитных аномалий и рассчитаны скорости осадконакопления в депоцентрах каждого комплекса:

1) NB-0 (>60-56 млн. лет) самый древний комплекс, предположительно является рифтовым комплексом. Граница между NB-0 и NB-1 связана с началом раскрытия Евразийского бассейна. Осадочные комплексы рифтового и пострифтового этапа имеют резко различный состав и строение и разделены несогласием, получивший название “несогласие растяжения” ([“break-up unconformity”](#); Худoley А.К., 2003).

2) NB-1 (56-48 млн. лет) вышележащий комплекс, природа этого комплекса остается дискуссионной. Анализ строения комплекса NB-1 показывает постепенное увеличение мощности в направлении к архипелагу Шпицберген. Скорость осадконакопления в депоцентре составляет 200 м/млн. лет.

3) NB-2 (48-20 млн. лет) комплекс обладает наибольшей мощностью из всех выделенных толщ, значения в депоцентрах достигают более 2 км в районе современного трога Св. Анны. Основным источником сноса являлся Баренцево-Карский шельф. Скорость седиментации в депоцентре составляет 80 м/млн. лет.

3) NB-3 (20-10 млн. лет) этот комплекс содержит осадки, мощностью 0,5 км, которые равномерно распределены почти по всей глубоководной части котловины Нансена. Граница между комплексами NB-2 и NB-3, вероятно, связана с началом открытия пролива Фрама, которое является последним крупным тектоническим событием и, следовательно, с изменением условий осадконакопления, лагунные осадки

сменились морскими ([Kai Berglar et.al., 2016](#)). О начале донной циркуляции в бассейне говорит наличие донных контуритовых наносов, выделенных на сейсмических разрезах. Скорость осадконакопления в депоцентре равна 75 м/млн. лет.

4) NB-4 (10-2,6 млн. лет) комплекс представляет собой отложения, которые были накоплены с момента полного открытия пролива Фрама до начала интенсивного ледникового осадконакопления, этот комплекс знаменуется океанической обстановкой осадконакопления и наличием донной циркуляции водных масс во всем Евразийском бассейне. Скорость осадконакопления в депоцентре составляет 65 м/млн. лет.

5) NB-5 (2,6-1,5 млн. лет) комплекс связан с началом оледенения Северного полушария и развитием интенсивного поступления осадков с шельфа Баренцева и Карского морей за счет ледниковой эрозии. Скорость седиментации в депоцентре равна 900 м/млн. лет.

6) NB-6 (<1,5 млн. лет) комплекс знаменуется началом второго цикла оледенения Северного полушария. Основные области сноса обломочного материала, идентичны с областями сноса нижележащего комплекса. Скорость осадконакопления в депоцентре составляет 500 м/млн. лет.

По аналогичному принципу были выделены сейсмические комплексы в котловине Амундсена. Осадочный чехол глубоководной котловины можно расчленить на 6 региональных сейсмокомплексов:

1) АВ-1 (>56-48 млн. лет) самый древний комплекс налегающий на кровлю акустического фундамента. Вероятней всего комплекс включает в себя верхнюю часть рифтового комплекса. Мощность осадков, вблизи шельфа моря Лаптевых достигает 1,5 км, в центральной части котловины Нансена эта величина составляет <250 м. Скорость осадконакопления в депоцентре составляет 100 м/млн. лет.

2) АВ-2 (48-44 млн. лет) отложения этого комплекса были накоплены за очень короткий промежуток времени. Локальные депоцентры, которые наблюдаются в центральной части котловины Амундсена вызваны неровностями рельефа акустического фундамента. Скорость седиментации в депоцентре данного комплекса составляет 400 м/млн. лет.

3) АВ-3 (44-10 млн. лет) в период накопления комплекса АВ-3 в котловине Амундсена преобладали гемипелагические обстановки осадконакопления. Граница между комплексами АВ-2 и АВ-3, вероятно, соответствует началу очень низкой скорости седиментации в котловине Амундсена, что подтверждается данными бурения глубокой Арктической скважины АСЕХ-302 ([Backman, J., et al. 2008](#)). Величина скорости седиментации в депоцентре составляет 40 м/млн. лет.

4) АВ-4 (10-2,6 млн. лет) этот комплекс сильно отличается от предыдущих, при выполнении сейсмофациального анализа сейсмических разрезов котловины Амундсена, были выделены контуритовые комплексы, максимально развитые в области, прилегающей к склону хребта Ломоносова, приуроченные к активности подводных каналов. Скорость седиментации в депоцентре равна 100 м/млн. лет.

5) АВ-5 (2,6-1,5 млн. лет) образование комплекса, как и в котловине Нансена, связывается с началом оледенения. Мощность осадков вблизи шельфа моря Лаптевых значительно превышает мощность в глубоководной части бассейна и составляет 750 метров. Скорость осадконакопления в депоцентре составляет 700 м/млн. лет.

6) АВ-6 (<1,5 млн. лет) аналогичный комплексу NB-6 в котловине Нансена, вероятней всего, также связан со вторым циклом оледенения Северного полушария и интенсивным ледниковым осадконакоплением. Скорость седиментации в депоцентре равна 500 м/млн. лет.

Подводя итог исследования, касающегося сеймостратиграфического анализа Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана, был сделан вывод о том, что несмотря на большое число исследований, единого согласия по эволюции Евразийского бассейна достигнуто не было.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Худoley А. К. (2003). Тектоника пассивных окраин древних континентов (на примере восточной окраины Сибирской и западной окраины Североамериканской платформ). // Диссертация доктора геолого-минералогических наук: 25.00.03 Москва, 473 стр.
2. Alvey A., Gaina C., Kuszniir N. J. and Torsvik T. H. (2008). Integrated crustal thickness mapping and plate reconstructions for the high Arctic. // *Earth and Planetary Science Letters* Volume 274, Issues 3–4, 310–321
3. Backman J., Jakobsson M., Frank M., (2008). Age model and core-seismic integration for the Cenozoic Arctic Coring Expedition sediments from the Lomonosov Ridge. // *Paleoceanography*, vol. 23
4. Baturin D., Fedukhina T., Savostin L. (1994). A geophysical survey of the Spitsbergen margin and surrounding areas. // *Marine Geophysical Researches*, Volume 16, Issue 6, 463–484
5. Berglar K., Franke D., Lutz R., Schreckenberger B., Damm V., (2016) Initial Opening of the Eurasian Basin, Arctic Ocean. // *Frontier Earth Science* 4:91.
6. Bigg G. R., Wadley M. R. (2001). The origin and flux of icebergs released into the Last Glacial Maximum Northern Hemisphere oceans: The impact of ice-sheet topography. // *Journal of Quaternary Science*, 565 - 573
7. Brozena J. M., Childers V. A., Lawver L. A., Gahagan L. M., Forsberg, R., Faleide, J.I., et al. (2003). New aerogeophysical study of the Eurasia Basin and Lomonosov Ridge. // *Geology*, Vol. 31, No. 9, 825-828.
8. Dimakis P., Braathen B. I., Faleide J. I., Elverhøi A., Gudlaugsson S. T., (1998). Cenozoic erosion and the preglacial uplift of the Svalbard–Barents Sea region. // *Tectonophysics* Volume 300, Issues 1–4, 311–327
9. Eiken, O., Hinz, K., 1993. Contourites in the Fram Strait. // *Sedimentary Geology* 82, 15–32.
10. Engen Ø, Faleide J.I., Dyreng T.K. (2008). Opening of the Fram Strait gateway: A review of plate tectonic constraints. // *Tectonophysics* 450, 51–69
11. Engen Ø., Gjengedal J. A., Faleide J.I., Kristoffersen Y. and Eldholm O. (2009). Seismic stratigraphy and sediment thickness of the Nansen Basin, Arctic Ocean. // *Geophysical Journal International*. 176, 805–821

12. Fauge`res J.C., Dorrik A.V. Stow, Imbert P., Viana A. (1999). Seismic features diagnostic of contourite drifts. // *Marine Geology* 162, 1–38
13. Feden R. H., Vogt P. R. and Fleming H. S. (1979). Magnetic and bathymetric evidence for the “Yermak hot spot” northwest of Svalbard in the Arctic Basin. // *Earth and Planetary Science Letters* Volume 44, Issue 1, 18-38
14. Forsberg C. F., Solheim A., Jansen E. (1999). The depositional environment of the western Svalbard margin during late Pliocene and the Pleistocene: Sedimentary facies changes at Site 986. // *Proceedings of the Ocean Drilling Program: Scientific Results* 162, 233-246
15. Frank M., Backman J., Jakobsson M., Moran K., (2008). Beryllium isotopes in central Arctic Ocean sediments over the past 12.3 million years: Stratigraphic and paleoclimatic implications. // *Paleoceanography*, vol. 23
16. Geissler, W.H., Jokat, W., (2004). A geophysical study of the northern Svalbard continental margin. // *Geophysical Journal International*, 158 , 50-66
17. Glebovsky V. Y., Kaminsky V. D., Minakov A. N. (2006). Formation of the Eurasia Basin in the Arctic Ocean as inferred from geohistorical analysis of the anomalous magnetic field. // *Geotectonics*, Volume 40, Issue 4, 263–281
18. Jakobsson M., Backman J., Rudels B., Nycander J., (2007). The early Miocene onset of a ventilated circulation regime in the Arctic Ocean. // *Nature* Vol 447
19. Jokat W. and Micksch U., (2004). Sedimentary structure of the Nansen and Amundsen basins, Arctic Ocean. // *Geophysical Research Letters*, vol. 31
20. Jokat, W., Weigelt E., Kristoffersen Y., Rasmussen T., and Schone T., (1995). New insights into evolution of the Lomonosov Ridge and the Eurasian Basin. // *Geophysical Journal International*, 122 , 378-392
21. Kristofersen Y., Sorokin M., Jokat W., Svendsen O., (2004). A submarine fan in the Amundsen Basin, Arctic Ocean. // *Marine Geology* 204, 317-324
22. Kristoffersen Y., Mikkelsen N. (2006). On sediment deposition and nature of the plate boundary at the junction between the submarine Lomonosov Ridge, Arctic Ocean and the continental margin of Arctic Canada/North Greenland. // *Marine Geology* 225, 265–278
23. Moran K., Backman J., Brinkhuis H. (2006). The Cenozoic palaeoenvironment of the Arctic Ocean. // *Nature*, vol. 441
24. Poirier and Hillaire-Marcel (2011). Improved Os-isotope stratigraphy of the Arctic Ocean. // *Geophysical Research Letters*, Volume 38, Issue 14.

25. Riis F. (1994). North of Nordaustlandet, in Seismic Atlas of Western Svalbard: A Selection of Seismic Transects. // *Meddelelser*, Vol. 130, 30–31
26. Snow J.E., Hellebrand E., Anette von der Handt (2011). Oblique nonvolcanic seafloor spreading in Lena Trough, Arctic Ocean. // *Geochemistry Geophysics Geosystems* 12 Volume 12, Issue 10
27. Vogt, P. R., P. T. Taylor, L. C. Kovacs, and G. L. Johnson (1979), Detailed aeromagnetic investigations of the Arctic Basin. // *Geophysical Research Letter* 84, 1071–1089.

Фондовые материалы:

1. Глумов И.Ф., Кашубин С.И., Зеньков А.Ф., Корнеев О.Ю и др. «Оценка перспектив нефтегазоносности российского континентального шельфа за пределами 200 миль в рамках подготавливаемого Представления РФ в отношении внешней границы континентального шельфа (ВГКШ) в Арктическом бассейне». «ГНИИНГИ», СПб, 2011 год, 659стр. («ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга»).
2. Фомина Е. А., Павлов С.П., Кириллова Т.А. и др. «Региональные сейсмические исследования МОВ-ОГТ 2D на Арктическом континентальном шельфе с целью изучения особенностей геологического строения и перспектив нефтегазоносности». «МАГЭ», СПб., 2014 год, 642 стр. («ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга»).