

*На правах рукописи*

**Мещеряков Никита Игоревич**

**СОВРЕМЕННОЕ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЕ В ЗАЛИВЕ  
ГРЁН-ФЬОРД (ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН)**

Специальность 25.00.28 – «океанология»

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

**Мурманск - 2017**



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### *Актуальность работы*

Выявление зависимости процессов ледниково-морского седиментогенеза от климатических событий, отраженных в осадочных последовательностях донных отложений фьордовых заливов высокоширотных архипелагов, является одной из фундаментальных проблем современной седиментологии.

В известной мере многие вопросы, связанные с формированием ледниково-морского осадконакопления на континентальной окраине Западного Шпицбергена, изучены достаточно полно (Elverhoi et al., 1983; Vorren, 1992; Матишов, 1984, 2002; Тарасов и др., 2000 и др.). Академиком Г.Г. Матишовым еще в начале 80-ых годов прошлого века показано, что явления и процессы, связанные с деградацией плейстоценовых ледниковых щитов, являются определяющими в перестройке подводного ландшафта. Он предложил концептуальное понятие «морской перигляциал», введя тем самым новое направление в океанологии (1980, 1984). Однако процессы и явления, а также механизмы формирования подводного ландшафта во фьордовых заливах Шпицбергена в условиях современного перигляциала (быстроменяющейся природной среды) изучены поверхностно.

Осадконакопление в заливе Грэн-фьорд протекает в обстановке действия сложного комплекса экзогенных процессов. Особенности седиментогенеза в таких водоёмах специфичны и отличаются от заливов умеренных и южных широт. Благодаря тому, что залив далеко вдаётся в занятую ледниками сушу и при этом имеет свободный водообмен с прилегающим морем, накопление осадочного материала в бассейне происходит в результате воздействия многих факторов (стока талых ледниковых вод, абразии берегов, ледового разноса, эолового (аэрозольного) переноса и других явлений). Поэтому приведенные в настоящей работе положения вносят определенный вклад в познание природы современного перигляциального морфо- и седиментогенеза.

### *Степень разработанности темы исследования*

Первые известные исследования, проведенные немецкими специалистами (Gripp, Todtmann, 1926), представляли собой геоморфолого-топографические описания местности верховья залива и, в основном, напорной морены. Периодически в XIX и XX веках изучением четвертичных отложений региона занимались многие отечественные (Лаврушин, 1969; Троицкий, 1975; Тарасов, 1977, 2003, 2010; Кокин, 2010; Шарин, 2010 и др.) и зарубежные (Mangerud, Svendsen, 1990; Mangerud et al., 1992; Snyder et al. 2000; Forwick, Vorren, 2011 и др.) исследователи. Однако не проводились и не рассматривались отдельно вопросы мобилизации, транспорта и накопления осадочного вещества в

бассейне залива Грён-фьорд. В связи с этим наша задача состояла в получении данных, позволяющих дать оценку состояния и динамики поступающего в залив осадочного материала, и направлена на восполнение пробела в изученности перигляциально-морского осадконакопления в бассейне.

### ***Район исследования***

Район исследования охватывает бассейн залива Грён-фьорд, расположенный на о. Западный Шпицберген в пределах земли Норденшельда и являющийся юго-западным рукавом фьорда Ис-фьорд. Залив простирается в южном направлении на 17 км, максимальная глубина составляет 155 м.

### ***Цели и задачи работы***

Целью работы является изучение современного осадконакопления в условиях морского перигляциала во фьордах Западного Шпицбергена, как в наиболее характерных формах рельефа побережья архипелага. Для достижения этой цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. Анализ условий мобилизации осадочного вещества в водосборном бассейне;
2. Выявление и характеристика основных процессов переноса терригенного вещества в бассейн залива;
3. Изучение вещественного состава и определение типов современных донных отложений в заливе;
4. Выявление закономерностей формирования современных донных отложений в Грён-фьорде.

### ***Фактический материал и методы исследования***

В основу настоящей работы положены материалы, полученные автором в ходе полевых работ в восьми экспедициях в 2013–2016 гг. на Западном Шпицбергене, а также использованы литературные и картографические источники. В полевых работах проводились отбор проб донных отложений, взвеси (с использованием седиментологических ловушек), колоночных проб рыхлых отложений и льда, эхолотные замеры глубин, а также геоморфологические наблюдения и фотодокументация местности.

В лабораторных условиях производился анализ вещественного состава проб (гранулометрический, минералогический, морфометрический).

### ***Научная новизна:***

1. Сформулированы новые представления об относительной роли агентов транспортировки терригенного вещества, условиях и механизмах его аккумуляции в обстановке морского перигляциала.

2. Впервые выявлены региональные особенности содержания во взвеси терригенного осадочного вещества для зимнего, весеннего, летне-осеннего периодов.

#### ***Теоретическая и практическая значимость***

Полученные результаты расширяют теоретические представления о закономерностях и особенностях формирования современных донных отложений в условиях непосредственного влияния морского перигляциала.

Практическая значимость определяется тем, что при растущем хозяйственном освоении арктических территорий закономерности осадконакопления следует учитывать как значащий фактор формирования аквальных и субаквальных ландшафтов и внешний фактор воздействия на хозяйственную инфраструктуру – портовые сооружения, трубопроводные системы, объекты аквакультуры.

#### ***Положения, выносимые на защиту:***

1. Основные черты современного осадкообразования в Грэн-фьорде предопределяются перигляциальными процессами и явлениями в сочетании с гидродинамическим режимом в бассейне залива.

2. В числе современных экзогенных процессов, влияющих на ход седиментации осадочного вещества в бассейне, определяющими являются сток талых ледниковых вод и ледовый разнос.

3. Преимущественно высоким темпом осадкообразования с преобладанием мелкоалеврито-илистых фракций выделяются мелководные приустьевые зоны рек Грёндален и Грэнфьорд.

4. В структуре донных отложений, вскрытой разрезами, выявлена цикличность накопленного терригенного вещества, обусловленная повторяющимися эпизодами экстремального штормового волнения. Отмечено ритмичное чередование отложений грубых и тонкозернистых фракций терригенного материала, образующих хорошо сформированные осадочные слои.

#### ***Апробация результатов диссертации***

По теме диссертации опубликовано 15 печатных работ, из которых 4 в рецензируемых журналах ВАК. Отдельные результаты и положения работы докладывались на конференциях молодых ученых Мурманского морского биологического института КНЦ РАН (2013-2016 гг.), международных научных конференциях (Школах) по морской геологии (Москва, 2013, 2015 гг.), конференциях «Комплексное исследование природы Шпицбергена и прилегающего шельфа» (Мурманск, 2012–2016 гг.). Отдельные результаты реализованы в ходе работ по проекту «Процессы осадкообразования в

Баренцевом море с позиций глобальных климатических и экологических изменений в голоцене и плейстоцене».

### ***Структура и объем***

Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения и списка литературы. Общий объем работы 120 страниц текста, включающего 32 рисунка и 6 таблиц. Список использованной литературы насчитывает 176 публикаций, в том числе 51 – на иностранных языках.

### ***Благодарности:***

Диссертационная работа выполнена в лабораториях геологии и геодинамики ФГБУН ММБИ КНЦ РАН и Шпицбергенской Биогеостанции ММБИ в Баренцбурге под руководством доктора геолого-минералогических наук, профессора Г.А.Тарасова, которому автор выражает искреннюю благодарность. Автор глубоко признателен директору ФГБУН ММБИ КНЦ РАН академику Г. Г. Матишову за предоставленную возможность и условия проведения исследований по данной тематике. За помощь при выполнении полевых работ, подготовке рукописи и ценные замечания благодарен профессорам П.Р. Макаревичу и Г.М. Воскобойникову, к.б.н. И.В. Берченко, к.г.н. М.В. Герасимовой, к.г.н. Д.В. Моисееву, к.г.н. Г.В. Ильину, к.б.н. С.В. Малавенде, н.с. О.Л. Зиминой, К.А. Боброву, н.с. А.В. Ежову, С.В. Тимофеевой, работникам Базы «Баренцбург» Ю.А. Квашнину, В.Г. Кулешову, сотрудникам РНЦ ААНИИ Ю.М. Савиных, Г.В. Тарасову и сотрудникам ЗГМО в Баренцбурге и работникам Треста «Арктикуголь».

## **2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **Введение**

Во введении обосновывается актуальность темы, формулируются цели и основные задачи диссертационного исследования, новизна работы, ее практическая значимость, сведения об апробации и положения, выносимые на защиту.

### **Глава 1. Физико-географическая характеристика водосборной площади залива Грён-фьорд**

На основе анализа литературных источников, а также авторских наблюдений дается краткая физико-географическая характеристика водосборного бассейна, морфометрические и океанологические особенности залива Грён-фьорд. Отмечены особенности природных условий: гидрометеорологическая характеристика, орографическая система, распределение ледниковых массивов и общая картина ландшафта местности.

## Глава 2. Материалы и методы исследований

Материал для работы получен в ходе полевых исследований в восьми экспедициях в 2013–2016 гг. на Западном Шпицбергене в водосборном бассейне Грён-фьорд.

В главе описана методика получения проб взвеси для количественной оценки поступающего терригенного материала на дно залива. Для этой цели использовались седиментационные ловушки, сконструированные по чертежам Института океанологии РАН (Потоки..., 1994) с определенными конструктивными изменениями ММБИ КНЦ РАН (Тарасов, 2004). Седиментационная ловушка состоит из двух винипластовых цилиндров, соединенных между собой в основаниях металлическими планками из нержавеющей стали. Ловушка крепится капроновым фалом к стационарному бую, который является постоянно действующей платформой и устанавливается на заданной точке за счет «мертвого якоря». Через определенное время производится подъём ловушки для снятия пластикового контейнера с пробами взвеси и после заправки нового контейнера ловушка вновь отправляется на заданную глубину.

Полученная проба после фильтрования через фильтр с ячейками пор 0.45 мкм высушивалась до комнатной температуры и взвешивалась на электронных весах. Сухую навеску для определения в ней терригенной составляющей подвергали прокаливанию в муфельной печи в течение 4-х часов при температуре 450 °С. В дальнейшем доведенная до комнатной температуры навеска вновь взвешивалась, тем самым определялась доля терригенного материала в пробе взвеси.

Для количественной оценки терригенного материала в береговом припае применялся метод бурения с получением ледового керна. Для этого использовался цилиндрический моторный ледовый бур с внутренним радиусом цилиндра 120 мм.

С целью изучения геоморфологических особенностей рельефа дна была проведена эхолотная съемка местности. Полученные результаты обрабатывались с помощью программы «Surfer-11». Для графического изображения рельефа дна использовался минимальный уровень воды при минимальном отливе 0.0 м. По полученным данным была построена батиметрическая модель устьевой зоны р. Грендален и прилегающая к ней акватория залива Грён-фьорд. При составлении батиметрической схемы использовались 11 галсов, расстояние между ними 180 м. На каждый галс приходилось 9–10 контрольных точек, где измерялась глубина. В общей сложности были выполнены замеры глубин на 104 контрольных точках, которые выбирались в зависимости от геоморфологических особенностей дна.

При океанологических работах в заливе Грён-фьорд использовался зонд «CTD-48M» Sea&Sun Technology (Германия) (Мещеряков и др. 2014). В работе также

использованы результаты более ранних экспедиционных работ ММБИ КНЦ РАН и ААНИИ (Моисеев, Ионов, 2006; Третьяков и др. 2006; Моисеев, Громов 2009; Павлов и др. 2010, Моисеев, Бобров; 2015).

Камеральная обработка проб ледового керна, колоночных проб ручного бурения, а также дночерпательных и грунтовых трубок производилась в лаборатории «Биогеостанции ММБИ КНЦ РАН» в пос. Баренцбург по стандартной отечественной методике. Гранулометрический состав алеврито-пелитовых отложений определялся в соответствии с методикой В.П. Петелина (1967), усовершенствованной И.А. Андреевой и Н.Н. Лапиной (1998). При этом рассчитывались коэффициенты сортировки ( $S_o$ ), асимметрии ( $S_k$ ), однородности ( $C_u$ ). Отбор проб донных отложений в заливе Грэн-фьорд производился с борта лодки “Zodiac mark-3” с использованием дночерпателя, прямоточной грунтовой трубки, а в мелководных участках и на литорали – ударного ручного бурения. Всего было отобрано 17 проб донных и 17 проб поверхностных отложений. При выборе точек отбора проб донных отложений учитывались батиметрические особенности залива, расстояние до выводных ледников и близость к устьевым зонам рек.

### **Глава 3. Океанологическая характеристика залива**

#### **3.1. Морфометрия бассейна**

Залив граничит с Ис-фьордом по траверзу мысов Хеероден и Фестинген. Грэн-фьорд располагается прямолинейно в южном направлении. Его протяженность составляет 16.3 км, а ширина меняется в зависимости от конфигурации береговой линии (до 4.2 км). При этом наибольшая ширина Грэн-фьорда равная 6.4 км наблюдается в устье, между мысами Фестинген и Хеероден. Площадь водного зеркала составляет 51.5 км<sup>2</sup>, депрессии дна залива – 54.2 км<sup>2</sup>. Объем водной массы около 4075 км<sup>3</sup>. Батиметрический продольный профиль изменяется от кутовой части залива до его устья. Прослеживается увеличение глубины с юга на север до 140 м (устье залива). На траверзе мыса Финнесет глубина составляет 140 м.

В рельефе дна отмечаются два блюдцеобразных желоба с глубинами 150 и 100 м, разделенные ригелем, вершина которого расположена на глубине 125 м.

#### **3.2. Водные массы**

Структура водной массы Грэн-фьорда определяется влиянием ряда факторов: постоянные течения, приливно-отливные течения, а также впадающие в залив стоки рек и ручейков. В бассейне залива отмечены: арктические, атлантические, промежуточные, поверхностные, трансформированные атлантические, зимние и местные водные массы (Weslawski et al., 1991; Svendsen et al., 2002; Моисеев, Ионов, 2006). Поверхностные и

промежуточные воды наиболее распреснены (32.5–33.25 ‰). Ниже располагаются трансформированные атлантические воды (34.7 ‰). Их подстилают локальные воды с соленостью более 34.7‰. Зимние водные массы отличаются наибольшей соленостью (35 ‰). Однако данная тенденция может подвергаться изменениям в зависимости от климатических условий. Результаты многочисленных экспедиционных океанологических исследований, проведенных ММБИ КНЦ РАН в заливе Грён-фьорд (2001, 2003, 2008, 2014), опубликованы в работах (Моисеев, Ионов, 2006; Моисеев, Громов 2009, Мещеряков и др. 2014).

### ***3.2.1. Приливы и отливы***

Режим приливов в заливе Грён-фьорд - неправильный полусуточный. Приливное течение направлено с севера на юг вдоль западного берега залива, а отливное - вдоль восточного с юга на север. В течение суток наблюдаются две полные и две малые воды. Максимально возможная величина приливов при явлении сизигии достигает 2.0 м, минимальное значение - 0.1 м. При квадратурных приливах и отливах величина приливов в среднем варьируется от 1.4 до 0.6 м. На приливно-отливные изменения уровня моря оказывает ветровое влияние, а также периодические штормовые явления.

### ***3.2.2. Пространственное распределение температуры и солености***

Распределения температуры на поверхности и глубинных горизонтах имеют сезонную изменчивость и обусловлены главным образом взаимодействием поверхностного слоя воды с атмосферой. Во все сезоны года горизонтальное распределение температуры не однородно. Под влиянием Западно-Шпицбергенского и Зюйдкапкского течений температура повышается с юга на север (Танцюра, 1959). Однако следует отметить и обратную тенденцию - увеличение температуры от кутовой части к устью залива (с севера на юг) в зимний период (Мещеряков и др., 2014). Периодически с увеличением глубины горизонтальные температурные контрасты сглаживаются. Соленость водных толщ залива Грён-фьорд приурочена ко времени года и в большей мере зависит от превалирующих в регионе течений, водообмена с Ис-фьордом, величин речного стока, количества осадков, ледообразования, а также от процессов перемешивания. Южная часть залива подвергается распреснению в летний период за счет стока впадающих рек и ручьев. Годовой баланс солености характеризуется минимумом значений летом. Наиболее ярко выражены сезонные колебания солености в устьях рек и мелководьях.

### ***3.2.3. Сезонная и межгодовая изменчивость термохалинной структуры***

В годовом ходе минимум температуры и солености поверхностного слоя воды прослеживается в феврале, а максимум - в конце июля - августе. В течение года

температура колеблется от -1.8 до 7.5 °С, соленость 4 до 36 ‰ в зависимости от района залива.

Летом температура воды верхнего слоя на акватории залива варьируется в пределах 5.5–7.5 °С (Моисеев, Громов 2009; Мещеряков и др., 2014). В вертикальном распределении температуры выделяется верхний более теплый слой воды (0.3 – 5 м). С глубиной прослеживается плавное монотонное снижение температуры, а ближе ко дну она может достигать значений 1–4.5 °С. Соленость в летний период в водной толще залива изменяется от 4 до более 35.00 ‰ (Прямыков и др., 2008). Минимальные значения солёности характерны для мест впадения в залив значимых водотоков, максимальные - для локальных водных масс, дислоцированных ближе ко дну. Зимой температура водной толщи может колебаться от -1.8 до 2 °С (Иванов и др., 2010; Мещеряков и др., 2014), а солёность в заливе увеличивается от 33 до 36 ‰.

### **3.3. Ледовые условия**

Наиболее определяющим фактором ледообразования в заливе Грэн-фьорд является влияние теплого Западно-Шпицбергенского течения (Nilsen et al., 2008), а также температурный режим атмосферы, количество осадков, особенности розы ветров.

Устойчивое формирование берегового припая обычно приходится на вторую половину декабря по январь включительно. Сам ледяной покров получает развитие преимущественно в марте-апреле, начиная с верховья залива и дальше до м. Финнесет. Он преимущественно держится до конца весны (середины мая). Толщина льда не превышает 60 см (Иванов и др., 2010; Тарасов, 2010). Бывают годы, когда ледовые условия могут не соответствовать данному описанию. Периодически залив Грэн-фьорд может полностью покрываться ледяным покровом. Помимо этого известны неоднократные случаи, когда в течение года припай и ледяной покров не формировались совсем (Анциферова и др., 2014). На становление и рост ледяного покрова огромное влияние оказывает адвекция атлантических вод в залив (Nilsen et al., 2008).

Периодически в течение всего года в акватории Грэн-фьорда можно встретить как одно-, так и многолетние плавучие льдины (Тарасов, 2010), занесённые сюда южным прибрежным Шпицбергенским течением. При штормовом волнении в заливе принесённый лёд свободно выбрасывается на литораль, при этом становясь частью местного берегового припая (Тарасов, Мещеряков, 2015).

## **Глава 4. Геолого-геоморфологическое строение, мобилизация осадочного вещества**

Общие закономерности геолого-геоморфологического строения и история развития береговой зоны к настоящему времени хорошо изучены (Gripp, Todtman, 1926;

Семовский, 1967; Троицкий, 1967, 1983; Лаврушин, 1969; Матишов, 1978, 2002; Тарасов и др. 2006; Тарасов, Кокин, 2007, 2010; Forwick et al., 2009; Тарасов, 2010, 2012; Кокин, 2010; Forwick, Vorren, 2011; Шарин и др., 2012a; 2014b; Шарин, Лазарева, 2016 и др.).

#### **4.1. Геолого-геоморфологическое строение берегов**

Грён-фьорд располагается в граничной зоне разломов между грабенообразным прогибом на востоке и восточным крылом антиклинория Кросс-фьорд на западе. В известной мере депрессия залива, имеющая тектоническую природу, разделяет складчатый пояс, образованный древними кристаллическими породами фундамента и осадочными породами мезозоя (мел, юра) на западном берегу, а также горизонтально слоистыми породами кайнозойского пояса на восточном (Тарасов и др., 2002).

Берега Грён-фьорда сложены осадочными породами преимущественно терригенного состава: песчаниками, алевритами и аргиллитами, не редко углистыми. Кремнистые породы распространены в меньшей степени. Породы слабо метаморфизированы и дислоцированы. Берега террасированы, каждая терраса приурочена к определенному положению уровня моря во времени. Структурное положение бортов неоднородно, в результате чего прослеживается явная асимметрия. Борты залива имеют более или менее ровную поверхность, крутизна достигает 60-70 град. (Тарасов и др., 2003).

##### ***4.1.1. Морфология береговой зоны***

Береговая линия, общая длина которой составляет 39.6 км (Мещеряков, 2012), относительно прямолинейная. Однако наличие небольших бухт, мысов и устьевых участков несколько изменяет общий контур береговой линии. Извилистость береговой линии составляет 1.1-1.2 км/км. Исключение составляет устьевая зона реки Грёндален, здесь извилистость достигает 1.3 км/км (Митяев и др., 2005).

Береговая зона залива Грён-фьорд представлена в основном абразионными и в меньшей степени аккумулятивными берегами. Для абразионных берегов характерно наличие активных клифов высотой до 10 м, а также зоны осушки. Аккумулятивные берега залива Грён-фьорд приурочены в первую очередь к речным и ледниковым долинам. Конуса выноса в береговой зоне по особенностям образования можно разделить на две группы: дельты рек относительно крупных долин и мысы, приуроченные к подножию горных склонов.

##### ***4.1.2. Дельты рек и ручьёв***

На восточном берегу в районе впадения в залив реки Грёндален простирается обширная устьевая зона. Сама бухта расчленена на две части: многорукавная задернованная дельта реки Грёндален и далеко вдающаяся в залив авандельта. Дельта и авандельта реки разделены между собой положительными формами рельефа дна – косами.

Косы расположены линейно за литоральной зоной параллельно береговой линии. Они имеют продолговато-изогнутую форму, крылья которых обращены в сторону берега. Размеры их разные, от 20 до 40 м, отделены друг от друга «проливами» шириной до 30 м. Песчаные косы возвышаются над уровнем максимальной воды на 1–2 м, а некоторые из них во время сизигийного прилива накрываются водой. В поперечном профиле они имеют асимметричное строение: обращенный к морю склон более пологий, чем в сторону берега. Данные образования сложены отложениями, в гранулометрическом составе которых преимущественно преобладают грубозернистые фракции (песчано-гравийно-галечной размерности).

Дельта ручья Бретгьёрна представляет собой незначительно вдающуюся в залив часть заливной равнины, ограниченной береговым баром (дельта исполнения). Конус выноса сложен флювиогляциальными отложениями - материалом размыва моренного комплекса ледника Грэнфьорд.

На западном побережье расположены устьевые зоны рек Конгресс, Брюде, Альдегонда. Для рек Конгресс и Брюде характерны далеко вдающиеся в залив клювовидные дельты (мыс Минервы и мыс Сандфьорднесет соответственно). Абсолютная высота поверхности конусов выноса рек Конгресс и Брюде не превышает 2 м. Вдоль берега простираются гравийно-галечные валы, ограничивающие выдвинутые дельты рек. Динамичная аккумуляция в районе устьевой зоны реки Альдегонда имеет относительно молодой возраст. Ещё 100 лет назад край ледника Альдегонда располагался у берега залива и только с его отступлением начался активный жидкий сток (Мавлюдов, Кокин, 2008). В результате этого дельта реки имеет небольшие размеры и вдаётся в море всего на 100 м.

Относительно крупным выдвинутым конусом выноса в регионе является мыс Кокиренесет в устье долины Вастакельва. Для данного формирования характерно наличие двух дельт- старой и молодой. Старая дельта задернована и простирается с запада на восток под наклоном. Она примыкает к морской террасе и далеко вдаётся в залив. Здесь высота старого конуса выноса достигает максимального значения 6 м, при движении к берегу абсолютная высота формации сокращается до 0.5 м. Конус выноса сложен наклонно-слоистым гравийно-галечно-песчаным материалом. Старая дельта имеет подмываемый ручьём Вастакельва эрозионный уступ. Молодая дельта вложена в старый конус выноса и сложена в основном галечными фракциями. Она ограничена гравийно-галечным валом, в результате чего во время приливов образуются лагуны. Это приводит к осаждению здесь тонкодисперсных частиц.

#### ***4.1.3. Конусы выноса***

Наиболее крупным мысом в заливе является мыс Финнесет. Он простирается с востока на запад у подножия низкогорного массива Грэнфьорд-фьелет, и в плане является правильным симметричным треугольником. Мыс примыкает к уступу низкой террасы и далеко вдаётся в море. Поверхность конуса выноса задернована и наклонена с северо-востока на юго-запад. Северный берег представлен уступом размыва от 0.3 до 10 м. Мощность уступа размыва уменьшается от основания к оконечности мыса. На южном побережье уступы размыва не прослеживаются. Самая высокая часть мыса находится на высоте 17 м. В вершинной части мыса на него налегает современный конус выноса ручья, текущего со склона горного массива Грэнфьорд-фьелет. Конус выноса имеет слоистую структуру. Мыс Финнесет является наиболее старым конусом выноса залива Грэн-фьорд.

В ЮЮВ части залива в настоящее время формируется относительно крупный конус выноса безымянного ручья. Водоток приурочен к горному массиву Геер. Конус выноса сложен гравийно-галечным материалом. Дельта водотока ограничена галечно-песчаным валом, в результате чего во время приливов образуются лагуны. Это способствует аккумуляции здесь алевроитового и пелитового материала.

#### ***4.1.4. Рельеф дна залива Грэн-фьорд***

Котловина залива имеет U-образную троговую долину. Подводные склоны фьорда относительно крутые (более 8 град.) на севере, и более пологие в южной части залива. В субаквальном рельефе южной части залива выделяются подводные террасы и поднятия. В кутовой части на расстоянии 40 м от береговой линии глубины не превышают 5 м. До глубины 4–5 м располагается подводная терраса шириной около 35 м, далее следует относительно крутой склон, переходящий в днище фьорда (Тарасов и др., 2003). В прибрежном подводном рельефе юго-западной части залива, между реками Брюде и Альдегонда, на глубине 3–10 м выделяется слабонаклонная площадка (бенч) шириной 150–170 м. (Кокин, Мавлюдов, 2009). В диапазоне 70–350 м от береговой линии, на глубине 20 м, рельеф подводного склона осложнен несколькими грядами высотой до 5 м, простирающимися параллельно берегу. На расстоянии 400–500 м располагается вал шириной 100–150 м и высотой до 12 м (Мавлюдов, Кокин, 2008). В дальнейшем глубина резко падает до 50 м, и далее продолжает увеличиваться. Для восточного побережья южной части залива характерно наличие аллювиально-морской террасы шириной до 800 м, приуроченной к устьевой зоне реки Грэндален. Терраса располагается в пределах метровой изобаты и на западе заканчивается гравийно-песчанными косами (Мещеряков 2013). Мористее глубина увеличивается до 40 м, затем подводный склон становится более пологим. В пределах глубин от 40 до 60 м в рельефе дна выделяется слабонаклонная

площадка (уклон 3–4 град.). Она протягивается с востока на запад на 300, а с севера на юг на 200 метров. В центре и ближе к северо-западной бровке в рельефе дна террасы выделяются возвышенности высотой до 10 м. Южнее аллювиально-морской террасы и кос глубины увеличиваются до 65 метров. В дальнейшем крутизна склона падает в 2-3 раза. Глубины возрастают равномерно, на каждые 100 м удаления от берега они увеличиваются в среднем на 12 метров. Так продолжается до максимальной глубины, равной 132 м. Севернее также наблюдается относительное увеличение глубин, но уже до 50 метров. Далее подводный склон выполаживается, глубины увеличиваются равномерно, в среднем при расстоянии на каждые 100 м - увеличение глубины на 7 м, вплоть до максимальной глубины (112 м) по поперечному профилю в данном районе залива (Мещеряков, 2015). Северо-западная прибрежная часть характеризуется обширным мелководьем в пределах 500 м от уреза воды. Глубины здесь не превышают 5 метровую изобату. Далее следует относительно пологий склон, переходящий в днище залива. Северо-восточной прибрежной части залива соответствует наиболее резкий свал глубин, крутизна склона составляет 30-40 град.

В рельефе дна выделяются две блюдцеобразные впадины, глубиной 145 и 100 м, разделенные ригелем, вершина которого расположена на глубине 125 м.

#### **4.2. Природные процессы мобилизации осадочного вещества**

В регионе наблюдается особый режим протекания экзогенных процессов, характерных для перигляциальной обстановки. Основную роль в мобилизации осадочного материала играет дегляционная активность современных ледников, морозное выветривание, гравитационные процессы, солифлюкция, абразия берегов. В дальнейшем транспорт осадков из береговой зоны в бассейн залива происходит речным стоком, эоловым переносом, ледовым процессом, потоком талых вод, переносом водорослей (Тарасов и др., 2000).

##### **4.2.1. Выветривание**

В силу особенностей сурового климата физическое выветривание в регионе протекает более активно, чем химическое и биохимическое. Преобладающей формой физического выветривания является морозное растрескивание горных пород. От многократного замерзания и оттаивания происходит расширение и углубление отдельных трещин. Попавшая в трещины вода, замерзая, оказывает эрозионное воздействие на породу. Фрагменты породы при морозном выветривании теряют свою монолитность и разделяются на отдельные «пластинки», испытывая на себе грубое и тонкое раздробление (Суходровский, 1962). При грубом раздроблении проявляется глубокое растрескивание пород с образованием глыб и щебня. При тонком раздроблении разрушается

поверхностный слой пород, сопровождающийся отделением тонкодисперсного материала (мельчайших пылеватых и глинистых частиц). Морозное выветривание в десятки раз ускоряет разрушение скальных пород с одновременным формированием делювиальных наносов в подножье склона.

#### ***4.2.2. Процессы абразии***

Абразионные процессы являются одним из основных источников поставки осадочного материала в бассейны седиментации. В настоящее время имеется ряд публикаций, характеризующих роль и динамику абразионных процессов в седиментогенезе высоких широт (Зенкович, 1962; Леонтьев, 1961, 1982; Лонгинов, 1963; Есин и др., 1980; Тарасов и др., 2000; Митяев, Герасимова, 2010 и др.). Динамика протекания абразионных процессов на побережье залива Грэн-фьорд напрямую зависит от интенсивности волнового воздействия, которая определяется направлением и скоростью ветра. В береговой зоне залива процессам абразии подвергаются как отвесные скальные, так и берега, сложенные рыхлыми четвертичными отложениями. Последние подвержены более активному процессу абразии.

#### ***4.2.3. Водная эрозия***

Скудная растительность и наличие вечной мерзлоты во многом определяют динамику эрозионных процессов в регионе (Bogen, Bonsnes, 2003). Для региона характерны линейная и плоскостная эрозии. Линейная эрозия протекает там, где поверхностные водотоки локализуются в русла. В зависимости от характера строения слагающих пород стекающие по склонам русловые потоки создают различные эрозионные формы. Линейная эрозия приводит к развитию русловой деформации, в результате чего регулярно меняется очертание водотоков (р. Грэндален, р. Грэнфьорд). Активность эрозионных процессов отражают долго- и краткосрочные изменения количества выносимых в залив осадков.

Плоскостная эрозия в регионе протекает за счет делювиальных процессов, т.е. смыва и перемещения дождевыми водами продуктов выветривания по уклонам поверхности. Особенностью протекания делювиальных процессов в районе залива Грэн-фьорд является то, что основным источником вод, стекающих по поверхности склонов, является тающий летом снег, а не осадки, выпадающие в чистом виде. Неравномерное распределение ледниковых массивов, источников делювиальных вод, обуславливает в значительной степени пространственные различия в количестве смываемого материала. Наиболее динамично этот процесс протекает в нижних частях склонов, примыкающих к ледникам и снежникам. В зависимости от характера грунтов и наличия на поверхности растительного покрова делювиальный процесс может быть плоскостным, струйчатым и

подповерхностным. Первые два из них протекают на дневной поверхности, а третий - в пустотах между грубыми обломками сезоннооттаивающего слоя (Суходровский, 1962).

#### **4.2.4. Гравитационные процессы и солифлюкция**

Для архипелага Шпицберген в целом характерны движения крупных блоков горных пород или их обломков. Подобные явления можно классифицировать как камнепады и осыпание грунта. Интенсивнее всего эти процессы развиваются на горных обнаженных уступах с относительными высотами от нескольких десятков до нескольких сотен метров. Камнепады характерны в основном для крутых вершин склонов, ниже, где склон более пологий, камнепады сменяются осыпанием. Осыпание грунтов происходит как в движении вниз по склону масштабных осыпных шлейфов, так и в скатывании отдельных обломков на различные расстояния.

В условиях вечной мерзлоты на архипелаге Шпицберген солифлюкционные процессы широко распространены в береговой зоне залива. При этом мобилизация осадочного вещества протекает за счет скольжения протаявших пород по границе раздела мерзлое-талое, а также в результате вязкопластичного течения грунтов по поверхности многолетних мерзлых пород (Лейбман, Кизяков, 2007). Динамика этих процессов зависит от крутизны склона, от характера слагающего осадочного материала и степени его увлажненности. Наиболее интенсивное сползание грунтов характерно для конца весны, в период таяния снежников и частого перехода температуры через 0 °С. К середине лета, когда грунт подсыхает и температура воздуха закрепляется выше 0 °С, солифлюкционные процессы в регионе существенно замедляются или прекращаются совсем. Солифлюкционные процессы в районе залива Грэн-фьорд распространены на склонах с углами падения от 2 до 35 град., поверхность которых увлажнена и представлена мелкодисперсным материалом.

#### **4.2.5. Перенос каменного материала водорослями**

Перенос грубозернистого материала водорослями – распространенное явление для береговой зоны арктических заливов. Наиболее характерным представителем водорослей, способных переносить терригенный материал в акватории Грэн-фьорда является *Saccharina latissima*. Исследования транспортной функции водорослей (Kudrass, 1974; Тарасов, 1982) показали, что водорослями могут легко перемещаться обломки массой до 1 кг, если отношение веса гальки к сырой массе водоросли меньше или равняется 3. В результате изучения литорали залива Грэн-фьорд не раз были установлены талломы водорослей, теоретически способные осуществлять транспортировку своего субстрата в будущем.

## **Глава 5. Потоки осадочного вещества в заливе Грён-фьорд.**

Осадочное вещество переносится в залив различными способами. Наиболее значимое количество осадков поступает за счет флювиогляциальных потоков, ледового фактора, эолового (аэрозольного) переноса.

Основное количество терригенного материала выносится в залив флювиогляциальными потоками. Большая часть терригенного материала переносится во взвеси и представлена глинистыми частицами. Поступление алевритов, разнозернистого песка и мелкого гравия возможно путём сальтации. Выносимый талыми водами в залив терригенный материал является в основном продуктом размыва приледниковых зон в период оттаивания деятельного слоя.

Весьма значимым потоком осадочного вещества в залив является поступление терригенного материала за счёт ледового фактора. Наиболее динамичное поступление осадков в депрессию залива за счёт льда происходит в результате разрушения припая. Инвазия одно- и многолетних льдов в залив не постоянна, однако возможна в течение всего года (Тарасов, 2010). Лед способен транспортировать осадки практически любой размерности, включая также валунно-галечный материал.

Эоловый (аэрозольный) перенос, несмотря на круглогодичное функционирование, является наименее значимым фактором при поступлении терригенного материала в залив Грён-фьорд. В основном это нано- и микрочастицы, принесённые с материков через восточную Арктику.

### **5.1. Вынос осадочного материала флювиогляциальными потоками.**

В высокоширотной Арктике, где происходит развитие современных ледников, флювиогляциальные потоки выносят огромное количество терригенного материала из приледниковых зон. Как правило, эти потоки имеют высокую степень концентрации осадочного материала во взвеси и являются важнейшими поставщиками терригенного материала в залив.

Грён-фьорд имеет на своём побережье ряд ледниковых массивов, которые выносят большое количество терригенного материала в залив подлёдными талыми водами. В основном это тонкодисперсный материал пелитовой размерности с редкой примесью зёрен алеврита, перешедших во взвесь. Следует отметить, что концентрация взвеси подвержена существенным сезонным колебаниям. Максимальное количество взвешенных частиц приходится на летний сезон, в период интенсивной абляции ледников. В результате абляции ледового покрова формируются потоки талых вод. При этом талая вода в виде ручейков стекает по системе каналов вглубь ледника (Мавлюдов, 2002). Многочисленные ручейки под ледником соединяются в один мощный поток, вырывающийся на поверхность

под действием гидростатического давления. Гидродинамика подобных водотоков сравнима с горными паводковыми потоками и предгорными водными артериями. Конечная морена ледника способна препятствовать свободному течению водотока, при этом насыщая его продуктами своего размыва. Выступающий на поверхность флювиогляциальный поток, как правило, насыщен терригенным материалом, поступает в реки или ручьи. В результате этого большое количество терригенного материала выносится в приледниковую зону и доставляется в залив Грэн-фьорд по транспортному каналу рек. В дальнейшем, доставка этого материала во фьорд зависит от гидродинамики водотока. Легкий взмученный материал алевритовых и пелитовых фракций поступает в залив в виде взвеси, более грубый материал песчаных фракций выносится путем сальтации. Что касается более крупных частиц – гравийно-галечной фракции, то такой материал транспортируется в основном путем перекачивания по дну русла реки и серьезно зависит от гидродинамики водотока. Как правило, зерна гравия и гальки, транспортированные реками, имеют уплощённую форму и высокую степень окатанности. Общее количество поставляемого терригенного вещества в залив талыми водами может составлять до 37 кг/с в зависимости от погодных условий и степени оттаивания деятельного слоя (Гохман, 1988; Соловьянова, Третьяков, 2004).

Ближайший к заливу ледник - Альдегонда. Выход воды внутреннего дренажа ледника расположен в северной части его языка (Мавлюдов, 2009). Одноименная река - единственный источник разгрузки талых ледниковых вод. Подледниковые воды являются одним из основных поставщиков терригенного материала в реку, составляя 0.22–0.28 м<sup>3</sup>/с (Шевнина и др., 2003). Количество выносимого терригенного материала варьируется от 4 г/с до 4 кг/с. Ледники Тавле и Тунге разгружаются в долину реки Грэндален, обильно насыщая реку продуктами размыва своих приледниковых зон. Количество транспортируемого терригенного материала непостоянно и может колебаться в пределах от 6 кг/с до 24 кг/с. Ледники Ясон и Баалсдур своими талыми потоками формируют сток реки Гренфьорд. Твёрдый сток реки также дополняет размываемый моренный комплекс ледника Гренфьорд. Расход наносов рек может составлять от 1.8 кг/с до 5.8 кг/с. Ледник Гренфьорд разгружается в оз. Ледовое, тем самым регулируя сток вытекающего из озера ручья Бретъёрна. Основное количество терригенного материала ручей получает из мореного комплекса ледника, вынося в залив при этом от 0.7 кг/с до 2.7 кг/с. Ледовые массивы Брюде и Хефтьё своими флювиогляциальными потоками формируют ручей Брюде, однако значимой роли в выносе терригенного материала в залив данный водоток не имеет.

## 5.2. Ледовый транспорт осадочного вещества

В настоящее время накоплен огромный массив материала, подчеркивающий роль ледового фактора при переносе осадочного материала в Арктике (Лисицын, 1958, 1961, 1994; Тарасов, 1981, 2010; Степанова, 1985; Чувардинский, 1985; Махинов и др., 1992; Тарасов, Матишов, 1998; Тарасов и др., 1998 и др.). Многие исследования подтверждают, что включение припайным и дрейфующим льдом в свою структуру терригенного материала, и дальнейший его перенос, - явление довольно частое для Арктики. А.П. Лисицын (1966) выделяет ледовый разнос как главный фактор при перераспределении каменного материала в ряде арктических морей.

Особую роль в перераспределении осадков в регионе играет ледовый припай. Формирующийся в заливе Грэн-фьорд припай имеет вид абразионных «карнизов», нависающих над берегом при отливе. Во время прилива уровень моря поднимается до его поверхности. Для структуры припайного льда характерны терригенные включения и присыпки различной размерности. В районах, где дно представлено тонкодисперсным материалом (устьевая зона р. Грэндален, бухты Варминг и Ларвика), припай имеет мутный вид. В областях, где преобладают материалы гравийно-галечной размерности, припай менее замутнён (Мещеряков, 2013).

Включение терригенного материала в структуру припайных льдов залива Грэн-фьорд происходит в течение всего ледостава и начинается с подошвы припая. Залегание осадков в структуре глыбы льда приурочено к механизму захвата терригенного материала льдом. В.Г. Чувардинский (1985) выделяет 3 основных типа залегания терригенного материала: а) на поверхности припая, б) в донной части льдов и в) во внутренней части льдин.

На поверхность припая обломочный материал попадает в результате действия прибоя и волнового всплеска. В донной части припая материал скапливается за счет действия приливно-отливных колебаний уровня воды. Во время отлива лед оседает на грунт. В период прилива лед вместе с вмёрзшим рыхлым материалом всплывает на поверхность. В дальнейшем продолжается нарастание кристаллического льда. Поскольку процессы нарастания льда и приливно-отливные колебания уровня воды повторяются периодически, то морской лед приобретает слоистую текстуру (Тарасов, 1981). Со временем в результате нарастания кристаллического льда периферийная его часть становится внутренней. То же можно сказать и про терригенную составляющую.

В кернах берегового припая залива Грэн-фьорд слои, обогащенные терригенным материалом, приходится ориентировочно на среднюю часть ледяной колонки. В керне припая №1 выделяется слой 40–48 см, где общая масса терригенного материала

составляет 42.359 г. В керне №2 наиболее насыщен осадками слой 30–40 см с общей массой осадочного вещества 42.106 г.

Гранулометрический состав включений указанных кернов практически совпадает: терригенные включения представлены разнозернистым песком (82.4 и 83.4 %) с незначительной примесью гравия (13.0 и 12.2 %) и алеврито-пелитового материала. В кубическом метре такого припая может содержаться до 9 кг терригенных включений.

В полученном керне из устьевой зоны реки Грёндален просматривается неравномерное распределение терригенных включений и ярко выраженная слоистость. Общее количество осадков, содержащихся в керне, составляет 245.39 г. В структуре керна выделяется 6 слоёв, которые отличаются друг от друга мощностью и цветом. Среди слоёв наиболее насыщен 1-й и 6-й, т. е. верхняя и нижняя часть. Включения слоя 1 представлены в основном материалом алеврито-пелитовой размерности с примесью 72.8 % гравия и разнозернистого песка, а слоя 6 – разнозернистым песком (73.8 %) с примесью гравия, доля алеврито-пелитового материала невелика (5.5 %). По нашим расчётам, содержание терригенного материала в 1 м<sup>3</sup> составляет около 52 кг.

Сформированный ледяной покров под влиянием приливно-отливных колебаний уровня моря откалывается от припая, и под влиянием ветра и приливно-отливных течений выносится в акваторию залива. Под воздействием ветра и приливно-отливных течений лед свободно перемещается по заливу, при этом припайный лед с включением осадочного вещества в ходе сокращения и таяния постепенно теряет содержащийся песчано-галечный материал.

Вследствие свободного сообщения залива Грён-фьорд с Ис-фьордом и Гренландским морем помимо льда, имеющего местный генезис, в акваторию залива Грён-фьорд возможна инвазия однолетних и многолетних льдов, привнесенных сюда из моря.

Морской лед поступает в акваторию залива с Восточно-Шпицбергенским течением, обгибая м. Южный. Подхваченные западной ветвью Северо-Атлантического течения многолетние льды дрейфуют на север вдоль западного побережья архипелага Шпицберген. При достаточно сильных ветрах западных румбов льды способны заноситься во фьорды о. Западный Шпицберген. Для залива Грён-фьорд характерно наличие свободно дрейфующих льдин во всей акватории. Он может быть как привнесённый, так и местного генезиса. Дрейфующие льдины имеют различную форму и размер. Отдельные ледовые массивы способны возвышаться над уровнем моря до двух метров. Их площадь может достигать нескольких квадратных метров. Таяние глыбы происходит не равномерно, скорость абляции надводной части льдины существенно выше. В результате этого на подводных боковых гранях льдины, на глубине 30–50 см, формируются подводные абразионные

карнизы шириной до 2 м. На данных карнизах в результате абляции скапливается высвобожденный терригенный материал в виде тонкого плаща.

Частицы терригенного вещества представлены в основном песчано-гравийно-галечной фракцией, более тонкий материал подвергается взмучиванию и переходит в водный поток взвеси. На одном квадратном метре карниза может содержаться до 3 кг терригенного вещества (Тарасов, 2010). На абразионных карнизах задерживается только часть осадков, большое количество терригенного материала просеивается в заливе по пути дрейфа. Со временем в результате абляции глыба перестает существовать, весь содержащийся в массе льда осадочный материал оседает на дне залива.

В своей структуре дрейфующие льдины также содержат большое количество терригенного материала. В керне дрейфующего ледового массива (объем 0.23 м<sup>3</sup>) может содержаться 28.608 г осадочного вещества. Основное количества терригенных включений приходится на нижнюю часть колонки. Терригенные включения представлены в основном гравийным материалом (70.4 %) с примесью более мелких частиц.

### **5.3. Эоловый (аэрозольный) перенос**

Поставка эолового материала в залив круглогодичная, однако, имеет ряд особенностей. В силу того, что архипелаг Шпицберген большую часть времени года покрыт слоем снега и льда, мобилизация местного материала для эолового переноса затруднена. В зимний период времени преобладает дальний и сверхдальний перенос, основным поставщиком эолового материала являются континенты. В летний период времени возможен эоловый перенос из близлежащих районов на высоте до 1000 м.

Эоловый материал в районе залива Грён-фьорд можно разделить на 3 составляющих: биогенную, литогенную, антропогенную. При нормальных условиях их процентное соотношение находится в районе 10:60:30 (Горюнова, Шевченко, 2013).

На биогенную часть эолового материала в летнее время может приходиться более половины всех переносимых частиц. Она представлена в основном кусочками диатомовых водорослей, спорами растений, обломками створок моллюсков. Литогенная часть преобладает в зимнее время, её составляют зерна кварца, плагиоклаза и слюды алеврито-пелитовой размерности. Антропогенная составляющая включает в себя сферы сгорания и летучий пепел, попадающие сюда в результате работы ТЭЦ п. Баренцбург.

## **Глава 6. Закономерности формирования современных донных отложений.**

### **6.1. Распределение основных типов современных донных отложений в заливе Грён-фьорд.**

В распределении типов донных отложений в депрессии залива характерна ярко выраженная батиметрическая зональность. В зоне литорали распространены

грубозернистые осадки, в основном гравийной и галечной размерности. Такой размерный состав обломочного материала формируется под действием волнового прибоя с одновременным удалением из береговой зоны более мелких частиц осадка. В то же время в более защищенных от волнений береговых участках, например, в верховье небольших бухт или других неровностях берега для литорали и верхней части сублиторали характерно распространение разнозернистого песка, а также тонкодисперсного илистого материала.

#### ***6.1.1. Донные отложения устьевых зон рек***

Донные отложения устьевых зон рек залива, как правило, отличаются от осевых отложений акваторий по структуре, цвету, гранулометрическому составу. Наиболее развитые дельтовые отложения в бухтах Ларвика и Варминг (устьевая зона реки Грёндален), а так же в кутовой части залива (устьевой зоне реки Грёнфьорд и ручья Бретьёрна). В настоящее время дельтовые отложения начинают развиваться в устьевой зоне р. Альдегонда. Вследствие низкой гидродинамической активности водных масс с одной стороны, и значительного поступления тонкодисперсного материала со стоком рек с другой, для данных областей свойственно наличие большого объема тонкодисперсного материала.

В гранулометрическом составе отложений литорали устьевой зоны р. Грёндален характерно наличие гравийно-галечного материала (до 50 %) с равной долей алевроитопелитового материала и разнозернистого песка. При продвижении к урезу воды доля гравийно-галечного материала плавно сокращается. В результате особых условий осадконакопления на границе литорали и сублиторали сформировались аккумулятивные формы рельефа (песчано-гравийные косы). Данные формы рельефа сложены гравийно-галечным материалом (75 %) с равной долей примеси крупно- и среднезернистого песка (Мещеряков, 2013). В сублиторали в пределах изобаты 1 м простирается обширная аллювиально-морская терраса. В гранулометрическом составе донных отложений выделяется преимущественно пелитовая фракция с примесью более крупных частиц. На удалении от устья Грёндален на 300 м при глубине до 40 м в гранулометрическом составе осадков преобладает пелитовая фракция (80 %) с примесью мелкозернистого песка (20 %) и одиночными зернами гравия и дресвы. Мористее, на глубинах более 50 м, доля мелкозернистого песка снижается до 11 % и до 4 % на глубинах 100–110 м. На расстоянии 400 м от западного берега и на глубинах от 60 м в составе осадков также преобладает пелитовый материал, однако доля гравийно-галечных фракций возрастает до 30 %.

Для гранулометрического состава литорали кутовой части залива Грён-фьорд преобладает гравийно-галечная фракция (74 %), а крупный и средний песок составляет 24

%). При этом более мелкие фракции практически отсутствуют. Литораль заканчивается гравийно-галечными грядами (Мещеряков, 2014). Резкое изменение гранулометрического состава происходит на глубине 1 м. Здесь до глубины 4–5 м сформировалась подводная терраса шириной до 35 м, затем идёт крутой склон, переходящий в днище депрессии фьорда (Тарасов и др., 2003). Дисперсный состав осадков представлен преимущественно алеврито-пелитовыми фракциями с примесью мелкозернистого песка. С глубиной содержание пелитового материала резко увеличивается. На глубинах до 30 метров в составе мелкоалеврито-пелитового материала содержание крупного алеврита составляет до 30 %, тогда как с глубиной доля крупного алеврита не превышает 3 %.

В устьевой зоне реки Альдегонда и на литорали распространены гравийно-галечные осадки. С удалением от берега доля алеврито-пелитового материала возрастает, например, на расстоянии от берега 150 м на глубине 7 м поверхностный слой донных отложений представлен мелкоалеврито-пелитовым илом (85 %) с примесью единичных гравийно-галечных обломков пород. В области устьевой зоны и взморья реки Альдегонда повсеместно распространён ДКМ.

Изменение гранулометрического состава донных отложений происходит по мере удаления от устьевых зон рек. Большая часть поступающего с речным стоком осадочного материала оседает непосредственно вблизи устьевых зон на мелководье. Часть осадочного материала переходит во взвесь и выносится в центральную глубоководную часть залива. В зависимости от градиента температуры и солёности, а также ветрового режима, расстояние, на которое выносится терригенный материал, может варьироваться. Так в районе устьевой зоны р. Грёндален основной выносимый рекой материал оседает в пределах 500–600 метров.

В кутовой части залива основная масса осадочного материала, поставляемая рекой Грёнфьорд и рекой из озера, оседает в пределах 300 метров от берега. В районе взморья реки Альдегонда песчанистые осадки формируются в пределах 10 метров от берега, а основной мелкоалеврито-пелитовый материал оседает в пределах 150 метров от берега.

Структура отложений, вскрытых ручным бурением в бухте Ларвика, устьевой зоне р. Грёндален и Грёнфьорд характеризуются неоднородным строением. Вскрытая мощность отложений «А», «Б» и «В» составила 104, 98 и 96 см соответственно. Полученные керны рыхлых отложений характеризуются преимущественно слоистой структурой. Слои отличаются друг от друга по мощности, цвету, плотности, плоскости залегания, контакту со смежными горизонтами, гранулометрическому составу, степени окатанности зерен, а также содержанию органических частиц в своей структуре. Колонка «А» отобрана на литорали в устьевой зоне реки Грёндален южнее бурты Ларвика на

северной оконечности простирающихся здесь кос. В разрезе керна просматривается три пачки отложений - чередование галечно-гравийных прослоек с илисто-глинистыми.

Колонка «Б» отобрана на литорали в устьевой зоне реки Грендален в районе расположения крупнейшей косы. В разрезе керна просматривается три пачки отложений, илисто-глинистые слои чередуются с гравийно-галечными.

Во всех горизонтах за исключением интервала 79–86 см зерна гравия и гальки встречаются в перевернутом виде. В этом слое частицы гравия ориентированы горизонтально, параллельно друг к другу. Зерна с вертикальной ориентацией отсутствуют. Наиболее хаотичное расположение зерен отмечается в слое 42–50 см. При этом большое количество зерен ориентированы вертикально.

В разрезе керна «В» просматривается две пачки отложений, верхняя и нижняя. Верхняя пачка представлена в основном гравийным материалом с примесью более мелких фракций. Нижняя пачка сложена алеврито-пелитовым илом с присутствием зерен (частиц) более крупных размеров.

Такая картина строения разрезов отложений показывает четкую зависимость процессов современного седиментогенеза от климатических событий. Наблюдаемое в мелководной приустьевой зоне Грендален слоистое строение разрезов колонковых проб донных осадков свидетельствует о том, что илистые горизонты образовались в более стабильной погодной обстановке большой длительности. В то время как чередующиеся слои, представленные галечно-гравийным осадочным материалом – в результате кратковременных экстремальных событий, вызванных ураганскими штормовыми явлениями. В известной мере (Землянская, 2016), в регионе ураганные ветры со скоростью более 30 м/сек повторяются с цикличностью около 30 лет. Соответственно вызванные ураганскими ветрами штормовые волны подвергают размыву донную поверхность на мелководных подводных террасах залива, удаляя отложения, сложенные тонкозернисто-илистыми частицами. В конечном счете, на таких участках дна остается лишь обломочно-галечный материал, а после урагана вновь происходит формирование слоя илистых отложений.

### ***6.1.2. Донные отложения рельефа дна депрессии залива***

Донная поверхность подводного рельефа центральной глубоководной зоны залива представлена преимущественно мягким мелкоалевритовым илом с примесью песчаных зерен и ДКМ. Поверхностный полужидкий слой (0–1 см) донных осадков представлен повсеместно коричневатым мелкоалевритовым илом, а далее в глубину осадочной толщи следует тёмно-серый горизонт плотной, вязкой глины с черными примазками и большим количеством органики.

Для современных донных отложений депрессии залива характерна слоистость. По данным более ранних исследований (Тарасов и др., 2003; Митяев и др., 2005) в структуре отложений выделяется 3 слоя. Поверхность представлена окисленным светло-коричневым слоем, мощностью 0.5 см. Слой мягкий, сильно обводнен, сложен мелкодисперсным, илистым материалом с различной примесью разнозернистого песка и зерен гравийно-галечной размерности. Контакт с нижним слоем четкий, ровный. Средний слой серых тонов с примесью зеленоватых оттенков, нейтральный или слабовосстановленный, мощностью от 5 до 10 см. Горизонт однородный, мягкий, пластичный. Слой сложен алеврито-пелитовым материалом с примесью гравийно-галечного материала и редкими включениями гидротроиллита. Контакт с нижним слоем нечеткий, размытый. Горизонт плавно перетекает в нижележащий восстановленный слой, вскрытая мощность которого варьируется от 6 до 12 см. Цвет – серый с черными примазками гидротроиллита. Слой представлен глиной с большим содержанием гравийного материала. Горизонт плотный, обладает вязкостью и пластичностью (Тарасов и др., 2003; Митяев и др., 2005).

Изучение вещественного состава донных отложений показало, что в основном в осадочном материале содержатся серые аргиллиты, светло-серые мелкозернистые кварцево-слюдистые алевролиты и кварцевые песчаники, единичные обломки массивных и полосчатых кварцитов. Основой кластической составляющей осадка является аргиллит, на его долю в среднем приходится 30 % (максимально 70 %), а также кварцево-слюдистые алевролиты (в среднем около 10 %).

Самые распространенные в регионе минералы во фракции среднего песка - кварц и полевые шпаты. Этими минералами представлено около 45 % осадочного материала. Зерна кварца и полевого шпата могут быть частично покрыты охристым налетом гидроокислов железа. Остальные 50–60 % минерального состава отражены более широким спектром минералов: мусковит, глауконит, хлорит, анатаз, биотит, пирит. Велика доля неопределимых выветрелых пород (до 12 %). Помимо минеральных соединений в донных отложениях встречаются элементы органики: остатки талломов водорослей, обломки раковин двустворчатых моллюсков, остатки трубок полихет и др.

### **6.2. Скорость осадконакопления в заливе Грён-фьорд**

В известной мере для заливов Шпицбергена характерно локальное распределение скорости накопления осадков. Так в прибрежных районах, примыкающих к устьевым зонам рек, накопление осадочного материала происходит ускоренными темпами и может превышать среднюю по заливу динамику в 100-1000 раз (Everhoi et al., 1983). Определяющим фактором в данном аспекте является мутность водотоков, впадающих в залив. Из литературы известно (Hoskin, Burrell, 1972; Repp, 1979; Elverhei et al., 1980;

Molnia, Hein, 1982; Gilbert, 1982), что при концентрации терригенного материала во взвеси водотоков 1–5 г/л, осадконакопление в бассейне седиментации протекает в скоростном и сверхскоростном темпе. Динамика накопления осадков в таких локальных площадках дна может составлять приблизительно 0.1–3 м/год.

В заливе Грён-фьорд скорость осадконакопления крайне изменчива и не стабильна. Седиментация испытывает пространственно-временные изменения, приуроченные к динамике водной среды. Здесь достаточно водотоков, способствующих ускоренным темпам осадконакопления в регионе. Скорость осадконакопления значительно снижается при удалении от приустьевой зоны, а также и в центральной части залива. Динамика осадконакопления в южной части залива существенно выше. По данным исследований (Тарасов, 2004) количество поставляемого на дно терригенного материала в районе Грендален летом составляет около 2 кг/м<sup>2</sup> в месяц (1.4 мм/месяц), а с удалением в центральную часть залива наблюдается уменьшение концентрации до 0.5 кг/м<sup>2</sup> в месяц (0.3 мм/месяц). Наиболее интенсивное поступление терригенного материала на дно залива приходится на теплый сезон (конец мая - начало сентября). В этот период времени основное поступление осадочного материала в залив происходит с речным стоком. В зимнее время поступление осадочного материала в залив ограничено. Накопление частиц пелитовой размерности происходит за счет не осевших на дно летне-осенний сезон, а также частиц ледового переноса. Скорость осадконакопления в это время не превышает 0.07 мм/месяц (0.1 кг/м<sup>2</sup>).

В целом, по данным многолетних наблюдений количественного содержания терригенных частиц во взвеси (Тарасов, 2010; Мещеряков и др., 2014; Тарасов, Мещеряков, 2015), выполненных нами с использованием седиментологических ловушек на стационарной точке залива, расположенной в районе менее подверженного влиянию речного стока севернее мыса Финнесет (станция 3), скорость накопления современных осадков составляет 1 мм/год, в том числе – максимально – около 0.3 мм (в июне) и минимально – 0.025 мм/месяц (в феврале).

## ВЫВОДЫ

1. Основные черты современного осадкообразования в заливе Грён-фьорд предопределяются перигляциальными процессами и явлениями в сочетании с гидродинамическим режимом в районе.

2. Среди современных экзогенных процессов, влияющих на ход седиментации осадочного вещества в бассейне, главенствуют сток талых ледниковых вод и ледовый разнос.

3. Преимущественно высоким темпом осадкообразования с преобладанием мелкоалеврито-илистых фракций выделяются мелководные приустьевые зоны рек Грендален и Гренфьорд. В летний период здесь происходит «лавиная» поставка осадочного вещества речным стоком и осаждение основной массы (до 90%) терригенного материала.

4. Впервые выявлены региональные особенности содержания во взвеси терригенного осадочного вещества для зимнего, весеннего, летне-осеннего периодов и обоснованы основные закономерности формирования современных донных отложений в заливе. В летний период поступление осадочного вещества в залив происходит за счёт стока талых ледниковых вод и ледового разноса. В пересчёте на минеральную составляющую отмечается со средним значением  $14.3 \text{ г/м}^2$ . Зимой приток взвеси в залив крайне ограничен из-за замерзания речной системы и стока талых ледниковых вод. Преимущественно в водной массе залива циркулируют минеральные частицы пелитовой размерности, не осевшие за летне-осенний сезон, а также частицы ледового переноса. При этом масса осадочного вещества в зимний период колеблется в пределах  $0.03\text{--}1.1 \text{ г/м}^2$  в приливных циклах и  $1.16\text{--}6.7 \text{ г/м}^2$  в суточных циклах.

5. Скорость накопления современных осадков составляет  $1 \text{ мм/год}$ , в том числе – максимально – около  $0.3 \text{ мм/мес.}$  (в июне) и минимально –  $0.025 \text{ мм/мес.}$  (в феврале). В приустьевых зонах рек  $1.4 \text{ мм/мес.}$  – летом,  $0.07 \text{ мм/мес.}$  – зимой. Темпы осадконакопления в летний сезон превышают подобные значения в зимний сезон в среднем по заливу в 12, а в приустьевых зонах рек в 20 раз.

6. На характер структуры разрезов донных отложений, в строении которых четко прослеживается цикличность накопления терригенного вещества (чередование осадков грубой фракции с илистыми прослоями), непосредственное воздействие оказывает повторяющееся экстремальное ураганное штормовое волнение.

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### В изданиях, рекомендованных ВАК:

1. *Мещеряков Н.И.* Накопление и перераспределение осадочного материала в устьевой зоне реки Грендален (Западный Шпицберген) // Вестник МГТУ, – 2013. – Т. 3. – С. 501-505.

2. *Мещеряков Н.И.* Некоторые вопросы формирования заливной равнины в верховье залива Грен-фьорд (Западный Шпицберген)// Вестник МГТУ, – 2014. – Т. 17, № 1. – С. 153-156.

3. **Мещеряков Н. И., Тарасов Г. А.** Осадкообразование и литологическое строение приповерхностной осадочной толщи в приустьевой отмели р. Грёндален (залив Грён-фьорд) // Вестник МГТУ, – 2016. – Т. 19. – № 1/1. – С. 101-109.

4. **Мещеряков Н.И.** Особенности седиментогенеза в заливе Грён-фьорд (Западный Шпицберген) // Вестник МГТУ. – 2017. – Т. 20. – № 1. – С. 272–279.

**В прочих изданиях:**

1. **Мещеряков Н.И.** Морфометрические особенности и геоморфологический облик залива Грен-фьорд// Материалы XXX юбилейной конференции молодых ученых Мурманского морского биологического института. Мурманск: изд. ММБИ КНЦ РАН, – 2012. – С.126-129.

2. **Мещеряков Н.И.** Закономерности седиментационных процессов в береговых перигляциальных областях залива Грен-фьорд (Западный Шпицберген) // Комплексные исследования природы Шпицбергена. М.: ГЕОС, – 2012. – Вып.11. – С. 179-185.

3. **Мещеряков Н.И.** Некоторые особенности перераспределения осадков в береговой зоне залива Грен-фьорд (Западный Шпицберген) // Материалы XXXI юбилейной конференции молодых ученых Мурманского морского биологического института. Мурманск: изд. ММБИ КНЦ РАН, – 2013. – С.136-139.

4. **Мещеряков Н.И.** Изучение ледового переноса осадочного вещества в заливе Грен-фьорд // Материалы XX Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. М.: ГЕОС, – 2013. – С. 54-58.

5. **Мещеряков Н.И.** Структурные особенности песчаной косы залива Грен-фьорд// Материалы XIV международной научной конференции студентов и аспирантов «Проблемы арктического региона». Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, – 2014. – Т. 1. – С.113-115.

6. **Tarasov G. A., Meshcheriakov N.I.** Mass transport and sedimentogenesis in the periglacial of Spitsbergen// Fundamental science and technology- promising developments III. North Charleston, SC, USA – 2014. – Vol. 2. – P. 23-25.

7. **Мещеряков Н. И., Бобров К.А., Тарасов Г.А.** Седиментологические и океанологические исследования в апреле 2014 года в заливе Грен-фьорд // Комплексные исследования природы Шпицбергена. М.: ГЕОС, – 2014. – Вып.12. – С. 210-214.

8. **Мещеряков Н.И.** Особенности геоморфологии подводной равнины устьевой зоны реки Грёндален (Западный Шпицберген) // «Арктическое морское природопользование в XXI веке- современный баланс научных традиций и инноваций (к 80- летию ММБИ КНЦ

РАН)»: тез. докл. междунар. науч. конф. (г. Мурманск, 1-3 апреля 2015г.)/ ММБИ КНЦ РАН.- Апатиты: КНЦ РАН, – 2015. – С. 162-163.

9. *Тарасов Г.А., Мещеряков Н.И.* Ледовый режим и процессы осадкообразования в заливах Шпицбергена // Материалы XXI международной научной конференции (школы) поморской геологии. М.: ГЕОС, – 2015. – С. 319-322.

10. *Мещеряков Н.И.* Особенности распределения осадков в верховье залива Грён-фьорд (Западный Шпицберген) // Материалы XXXIV конференции молодых ученых ММБИ КНЦ РАН, посвященной 50-летию со дня рождения члена-корреспондента РАН Д. Г. Матишов; Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, – 2016. – С. 68-71.

11. *Мещеряков Н.И.* Особенности седиментогенеза в южной части залива Грён-фьорд (Западный Шпицберген) // Комплексные исследования природы Шпицбергена 2016 г// Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа. Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, – 2016. – Вып.13. – С. 260-266.