

Санкт-Петербургский государственный университет

Митрофанов Никита Вадимович

Выпускная квалификационная работа

**Инженерно-геологическая оценка донных отложений Онежского залива Белого моря**

Уровень образования: магистратура

Направление 05.04.01 «Геология»

Основная образовательная программа ВМ.5515.2018 «Геология»

Профиль «Инженерная геология»

Научный руководитель:

к.г.-м.н. доц. Корвет Н.Г.

\_\_\_\_\_

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020

Рецензент:

к.г.-м.н. Николаева Т.Н.

\_\_\_\_\_

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020

Санкт-Петербург

2020

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
Глава 1. Оценка изученности донных отложений Онежского залива Белого моря .....	5
Глава 2. Инженерно – геологические условия Онежского залива Белого моря.....	9
2.1 Основные представления об инженерно–геологических условиях шельфовых зон .....	9
2.1.1 Инженерно-геологические условия территорий.....	9
2.1.2 Инженерно-геологические условия шельфовых зон .....	10
2.2 Особенности инженерно – геологических условий Онежского залива Белого моря ....	15
Глава 3. Особенности распространения и залегания донных отложений Онежского залива .	21
Глава 4. Вещественный состав и физико-механические свойства различных генетических типов отложений Онежского залива.....	25
4.1 Вещественный состав отложений.....	25
4.1.1 Минеральный состав.....	25
4.1.2 Гранулометрический состав отложений .....	28
4.1.3 Содержание органических и химических компонентов в исследуемых отложениях .....	32
4.1.4 Химический состав и минерализация поровых вод в осадках Онежского залива ...	38
4.2 Физико-механические свойства осадков исследуемых участков .....	41
4.2.1 Физические свойства осадков.....	41
4.2.2 Механические свойства осадков исследуемых участков .....	50
Глава 5. Формирование инженерно-геологических особенностей донных отложений исследуемых участков .....	54
5.1 Особенности формирования свойств горных пород.....	54
5.1.1 Основные факторы, влияющие на формирование физико-механических свойств горных пород .....	54
5.1.2 Особенности диагенетического изменения субаквальных осадков.....	55
5.2 Формирование физико-механических свойств глинистых отложений исследуемых участков Онежского залива .....	57
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	71
Литература .....	72
Приложения .....	75

## ВВЕДЕНИЕ

Интенсивное инженерно-хозяйственное освоение участков шельфа, предусматривает комплексное изучение природных элементов, которые слагают эти участки. В результате их изучения принимается оптимальное решение для выбора местоположения и строительства различного рода сооружений, с учётом их конструктивных особенностей.

Важнейшим из природных элементов являются горные породы, залегающие в верхней части разреза морского дна и потенциально рассматриваемые в качестве естественных оснований или среды для сооружений. С целью оценки их поведения при взаимодействии с сооружениями, для прогнозирования экзогенных геологических процессов, представляющих определённую опасность для сооружений (как на стадии строительства, так и эксплуатации), необходимыми задачами является изучение их инженерно-геологических особенностей (состава, состояния и физико-механических свойств). Не менее важной задачей являются изучение характера и закономерностей изменения состава, строения и свойств при воздействии различных техногенных факторов, имеющей научное значение.

Перечисленные задачи рассматриваются в числе других задач инженерной геологии, как «Приоритеты инженерной геологии в XXI веке» в области грунтоведения (Дудлер и др., 2015). Это определяет **актуальность** исследования и оценки инженерно-геологических условий (ИГУ) различных участков Онежского залива Белого моря, который является перспективным объектом для прокладки подводных трубопроводов, оптико-волоконных кабелей, строительством сооружений в прибрежной части. При оценке ИГУ Онежского залива основное внимание уделяется изучению верхней части разреза донных отложений, которые на значительных площадях шельфов северных морей представлены дисперсными грунтами, а также особенностям формирования их физико-механических свойств. Эти вопросы традиционно являются одними из основных теоретических вопросов инженерной геологии в области грунтоведения, что также определяет их **актуальность**.

Также следует отметить, что несмотря на достаточно высокую степень изученности Белого моря, в том числе и Онежского залива, которая отражена в научных публикациях, где значительная часть представленной информации посвящена вопросам, связанными с исследованиями геологического строения, морфо- и литодинамики, седиментационных и геохимических процессов, сведения об инженерно-геологической обстановке Белого моря, и в частности о физико-механических свойствах осадков четвертичного покрова, прежде всего, глубоководных участков, носят более ограниченный характер. В связи с этим вопросы формирования физико-механических свойств и диагенетического преобразования осадков

Онежского залива, на основе оценки их инженерно-геологических особенностей представляют научный интерес.

Выполненная работа составлена по результатам исследований, которые проводили отдел Региональной геологии и морской геологии ВСЕГЕИ в Белом море в различные годы с привлечением ряда организаций: ВНИИОкеангеология, СПбГИ, СПбГУ и других. Материалы этих исследований, и предоставленные руководителем работы Корвет Н.Г., а также изучение литературных источников, анализ и их обработка послужили основой для написания представленной работы.

Актуальность представленной работы определена выше.

Цель исследования:

- Изучение вещественного состава, физического состояния, физико-механических свойств донных отложений различных участков Онежского залива и особенности их формирования.

Для выполнения цели работы были поставлены и решены следующие задачи:

- Осуществить сбор, анализ, обобщение фондовых материалов по результатам проведенных геологоразведочных и инженерно-геологических работ в Онежском заливе Белого моря, а также литературных источников по изучению инженерно-геологических условий Онежского залива и инженерно-геологических особенностей осадков, слагающих его различные участки;
- Произвести обработку предоставленных данных, полученных по результатам исследований вещественного состава и физико-механических свойств отложений Онежского залива;
- Изучить вопросы формирования физико-механических свойств и диагенетического преобразования субаквальных осадков;
- Изучить основные факторы, влияющие на формирование осадков исследуемых участков;
- На основе полученных данных, рассмотреть особенности формирования и диагенетического преобразования глинистых отложений, слагающих верхнюю часть геологического разреза исследуемых участков.

Выражаю огромную благодарность своему научному руководителю доц. Корвет Н.Г. за предоставленные материалы и консультации при написании магистерской диссертации.

Особую признательность хочу выразить заведующей отделом региональной геоэкологии и морской геологии ФГБУ «ВСЕГЕИ» Рябчук Д.В., ведущему научному сотруднику отдела Жамойде В.А. и всему коллективу отдела за возможность выполнения необходимых работ в камеральных условиях, за помощь и предоставленные материалы, необходимые для написания магистерской диссертации.

## Глава 1. Оценка изученности донных отложений Онежского залива Белого моря

Белое море исторически является районом активного освоения, связанного с различными видами работ, как в береговой зоне (возведение разного рода сооружений), так и в более глубоководных районах. В последние годы планируются и проводятся работы, связанные с проектированием глубоководных портов, прокладкой по дну оптоволоконных кабелей, ведением морских геологоразведочных работ на полезные ископаемые, обследованием и поиску подводных потенциально опасных объектов и многие другие. В связи с этим, инженерно-геологическая оценка горных пород геологического разреза, и прежде всего, отложений, слагающих четвертичный покров, характеризующихся значительной неоднородностью и изменчивостью даже в пределах небольших участков, имеет большую значимость и актуальность.

К настоящему времени достигнута определённая степень их изученности отложений, которая отражена в научных публикациях. При этом следует отметить, что значительная часть представленной обширной информации посвящена вопросам общегеологической направленности, связанными с исследованиями морфо- и литодинамики, седиментационных и геохимических процессов. В тоже время, в опубликованной литературе сведения об их физико-механических свойствах, носят более ограниченный характер, что, прежде всего, касается осадков глубоководных участков районов Белого моря, в том числе и Онежского залива. Это объясняется направленностью инженерно-геологических исследований, которые проводились в основном прибрежно-береговых зонах для целей строительства различных объектов. Полученные сведения сосредоточены в соответствующих документах научных и производственных организаций, и лишь небольшая часть их опубликована.

Значительный объём инженерно-геологической информации по донным отложениям отдельных участков Белого моря, в том числе и Онежского залива был получен в результате начавшегося планомерного изучения шельфа Белого моря, конца 60-х, начала 70-х годов прошлого века. Проводимые в этот период комплексные геолого-геофизические исследования, позволили установить определённые закономерности в пространственной изменчивости донных грунтов с различными инженерно-геологическими особенностями, обусловленной условиям их формирования. Также было выявлено, что, несмотря на многие общие черты, инженерно-геологические условия этих участков различаются, что в значительной степени определяет неоднозначный подход к их освоению при планировании различного вида подводного строительства.

В этих исследованиях принимали участие различные организации Министерства Геологии СССР. Особое значение имели региональные и опытно-методические геолого-

съёмочные работы масштаба 1:200000 отдела морской геологии ВСЕГЕИ, в рамках которых проводились и инженерно-геологические исследования. Результирующие материалы этих работ хранятся в архивах ВСЕГЕИ и частично опубликованы (Алявдин и др., 1977; Амантов, 1985, 1992; Девдариани и др., 1980; Жамойда, 1987; Козин, 1987; Мануйлов и др. 1981; Москаленко, 1985ф; Ромм, 1987; Рыбалко и др., 1987; Спиридонов, 1985, 1987). Основной задачей этих работ являлась разработка методики геологической съёмки шельфа масштаба 1:200 000 (ГСШ-200), и в качестве опытно-методического полигона для геолого-съёмочных исследований было избрано Белое море. Среди них следует выделить изучение инженерно-геологической обстановки Онежского залива с оценкой строения, состава и физико-механических свойств различных генетических типов донных отложений. Также проводилось исследование отложений, слагающих дно Центральной части Белого моря. Их результаты отражены в ряде статей и обобщены в монографии «Инженерная геология СССР. Шельфы СССР» (Неизвестнов, 1990; Корвет, 1990).

Начиная с 1972 г в Белом море, и в частности в районе Соловецких островов на Соловецком участке шельфа Онежского залива проводятся опытно-методические и опытно-производственные геологосъёмочные работы силами Беломорской и Морской партий ВСЕГЕИ. Эти работы, наряду с решением вопросов методики ГСШ, были нацелены на изучение региональной геологии дна Белого моря. Комплексное применение разнообразных геолого-геофизических методов исследования, привлечение к работам специалистов и научных коллективов многих организаций (МГУ, ЛГИ, ИЗМИРАНа, ВНИРО, ОГУ, ПО «Севморгеология» и др.) позволили создать комплекты геологических карт среднего масштаба на различные районы Белого моря.

Непосредственно в Онежском заливе площадные геолого-съёмочные работы были проведены в 1977 гг. и охватывали площадь вокруг островов Соловецкого архипелага. Одной из основных задач работ было геологическое обоснование возможности проектирования и строительства заградительной дамбы через Западную и Восточную Соловецкие Салмы, ограничивающей Онежский залив от бассейна Белого моря.

В результате работ были составлены геологические карты указанной акватории, разработана литолого-стиратиграфическая схема строения верхнечетвертичных отложений, изучено геологическое строение дочетвертичных отложений, исходя из геологических предпосылок, обоснована необходимость и выданы рекомендации о направлении трассы проектируемой дамбы. Целенаправленность работ предопределила включение в комплекс методов проведённой ГСШ, инженерно-геологических исследований, выполненных сотрудниками кафедры инженерной геологии СПбГИ (ЛГИ) Захаровым М.С. и Корвет Н.Г. (Рыбалко и др., 1979; Бутылин и др., 1982). Эти исследования легли в основу инженерно-

геологической карты участков Онежского залива. В практике среднемасштабной ГСШ это был первый и удачный опыт совмещения региональных геологических и специализированных инженерно-геологических работ. Опыт показал, что получаемая в ходе ГСШ информация, дополненная изучением физико-механических свойств донных отложений, вполне достаточна для получения обоснованных представлений об инженерно-геологических условиях на площади съёмки и создания инженерно-геологических карт.

Комплексные геолого-съёмочные и инженерно-геологические исследования в Онежском заливе Белого моря за период 80-84 гг. охватили площадь более 2000 кв км.

За этот период был выполнен следующий объём исследований.

Геологический пробоотбор осуществлялся прямоточными ударными трубками, их применение позволило поднимать на борт колонки донных осадков длиной до 5,0м. В поднятых колонках донных отложений нарушение текстурно-структурных особенностей и физико-механических свойств отложений было минимальным. Ударные трубки были неэффективными на площадях развития мощных песчаных отложений.

Вторым основным средством пробоотбора был ковш-дночерпатель «Океан-25», который применялся для получения более полной информации о самом верхнем слое осадков (на борт поднимался монолит мощностью 15-30 см и площадью до 0,25 м<sup>2</sup>. Были отобраны большеобъёмные пробы песков.

Пробоотбор сопровождался подводным фотографированием. Были получены высококачественные изображения поверхности дна. Обзор 10-20м<sup>2</sup>, что позволило значительно повысить достоверности литологической характеристики пород дна.

Непрерывное геолого-геоморфологическое эхолотирование эхолотом обеспечило изображение рельефа.

Геолокационное профилирование производилось с помощью опытного образца геолокатора (ВСЕГЕИ) и обеспечивало детальное изучение внутреннего строения толщи рыхлых осадков. Прослежены устойчивые литофизические границы, как правило, совпадающие с границами выделенных литолго-стратиграфических комплексов. Глубинность метода определялась положением кровли акустического фундамента (морена, дочетвертичные осадочные и кристаллические породы).

Непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСП) позволило охарактеризовать рельеф и строение дочетвертичного фундамента, ограничить области распространения кристаллических и осадочных образований платформенного чехла, иногда наметить положение разрывных нарушений; изучить строение разреза четвертичных отложений; охарактеризовать площадное распространение и оценить мощность ледниковых образований, выделить сейсмогеологические комплексы в составе надморенных осадков.

Электоропрофилирование. электроразведочные работы выполнялись методом многоразносного профилирования, который позволяет успешно решать задачи изучения строения разреза осадочных образований шельфа.

Таким образом, в процессе исследования впервые для целей ГСШ-200 было применено непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСП), которое позднее стало ведущим в комплексе геофизических методов ГСШ. Также впервые были применены гидролокатор бокового обзора (ГЛБО) и подводная телевизионная установка. Разрабатывались и совершенствовались различные методы геологического пробоотбора (трубки, ковши-дночерпатели, драги, вибрационные установки, работы в легководолазном снаряжении), а также бурения, в том числе колонкового. В дальнейшем в комплекс ГСШ-200 были включены новые модификации НСП и ГЛБО, гидромагнитная, радиометрическая и гравиметрическая съемки, а также электроразведочные работы, подводное фотографирование дна и телевизионные наблюдения. Впервые для целей геологической съемки были использованы обитаемые подводные аппараты.

В тот период были заложены многие методологические основы, которые используются в настоящее время при изучении шельфовых зон с инженерно-геологических позиций.

В 90-х годах прошлого века в силу известных причин работы подобного рода в Онежском заливе не проводились. Последующие этапы комплексного изучения Онежского залива, в отличие от других районов Белого моря, проводились с целью уточнения его геологического строения, геоморфологических условий, других характеристик, и не отличались подобным детальным и глубоким изучением физико-механических свойств донных отложений, и для оценки инженерно-геологических условий отдельных его участков использовались результаты ранее проведенных исследований. Отдельные виды работ, сосредоточенных на некоторых участках Онежского залива, проводились на закрытых объектах, и результаты их исследований недоступны для ознакомления. В тоже время, значительная часть полученной информации по физико-механическим свойствам донных отложений Онежского залива, как было отмечено выше, содержится в соответствующих документах различных организаций, и в основном, в фондах ВСЕГЕИ.

## **Глава 2. Инженерно – геологические условия Онежского залива Белого моря**

### **2.1 Основные представления об инженерно–геологических условиях шельфовых зон**

#### **2.1.1 Инженерно-геологические условия территорий**

Инженерно-геологические условия — это совокупность природных геологических условий территорий, рассматриваемых для освоения. Они определяют планирование и размещение на нем различных видов строительства, рациональное использование данной территории, выбор мест для расположения различных сооружений, устойчивость и нормальную их эксплуатацию, условия производства строительства и горных работ (Ломтадзе, 1978).

Инженерно-геологические условия слагаются из отдельных природных элементов (особенности рельефа, геологическое строение, гидрогеологические исследования, геологические процессы и явления и инженерно геологическая деятельность человека) взаимосвязанных между собой, и при проведении инженерно-геологической оценки территории необходимо рассматривать все эти элементы в комплексе.

Одним из наиболее важных элементов инженерно-геологических условий территории являются горные породы, участвующие в ее геологическом строении. Горные породы являются естественным основанием, средой или строительным материалом для различного типа сооружений. Они определяют рельеф местности. В них протекают геологические процессы и явления. Поэтому, изучая инженерно-геологические условия территории, необходимо, прежде всего, рассмотреть закономерности распространения на ней горных пород, различающихся составом, строением и свойствами.

Результаты изучения природы физико-механических свойств горных пород указывает на то, что определяющим фактором в формировании их инженерно-геологического облика является тектонический режим. Под действием тектонических сил породы подвергаются различным деформациям, которые в значительной степени вызывают различные изменения пород: текстуру, упругость, вязкость, хрупкость и твердость. Поэтому в первую очередь, при оценке ИГУ территории необходимо учитывать ее принадлежность к определенной тектонической структуре, что будет определять её степень сложности. Именно, тектоническое развитие территории управляет формированием всех элементов ИГУ. Также, важную роль в формировании ИГУ выполняют унаследованные или вновь возникшие неотектонические движения, формирующие основные формы современного рельефа, распределение подземных

и поверхностных вод, растительного и животного мира, а также развитие и интенсивность современных геологических процессов.

На инженерно-геологические условия территории оказывают влияние геологические процессы и явления. Они проявляются в образовании и разрушении горных пород, изменении их физического состояния и условий залегания, формировании и изменении рельефа, строении земной коры и внутренней структуры Земли в целом. Распространение различных геологических процессов определяется климатом, географическими условиями, рельефом, распространением определенных комплексов горных пород, а также расположением тектонических структур.

При оценке ИГУ необходимо учитывать гидрогеологические условия территории: условия формирования и залегания подземных вод, их химический состав, агрессивность, коррозионные свойства, положение областей питания и разгрузки и направление стока вод.

Особое влияние на ИГУ территорий приобретает техногенное воздействие, соизмеримое с природными геологическими процессами.

Таким образом, закономерности формирования и изменения ИГУ территории определяются в значительной степени её историей геологического развития в новейшее и современное геологическое время, в течение которого ИГУ территорий приобретали характерные свойственные им черты.

ИГУ территории характеризуются неоднородностью и изменчивостью, которые определяют степень сложности условий для строительства на данной территории, а также методику инженерно-геологических исследований. Неоднородность и изменчивость ИГУ территорий инженерно определяются неоднородностью и изменчивостью элементов, которые их слагают. Поэтому, при инженерно-геологической оценке территории нужно изучить каждый природный элемент, что позволит по признакам сходства и различия выделить отдельные однородные участки с определённым рельефом, геологическими процессами и явлениями, оценить условия строительства на территории сооружений, а также способы использования и охраны геологической среды.

### **2.1.2 Инженерно-геологические условия шельфовых зон**

Шельфы являются одним из крупных элементов подводного рельефа, среди которых также выделяются континентальные или материковые склоны и абиссальные пространства ложа океана. Из этого следует, что шельфы являются подводными окраинами материков, то есть продолжением их геологической структуры в море. Строение земной коры на шельфе такое же, как и на суше. Рельеф обычно представляет собой узкую ровную площадку, которая характеризуется средним уклоном в 7-8°, простирающийся до глубины в 200 метров.

Встречаются и шельфы с расчлененным рельефом, подводными каньонами и долинами, впадинами и котловинами (Логвиненко, 1980).

Происхождение шельфов различается. Одни образуются в результате длительной абразии волн и течений на их поверхности с последующей аккумуляцией. Другие же образуются преимущественно благодаря аккумуляции осадочного материала против устьев крупных рек. А третьи создаются деятельностью ледника или тектоникой.

С точки зрения геологии, шельфовая зона – это затопленная часть суши. Основываясь на этом, можно заключить, что для инженерно-геологической оценки условий шельфовых зон решающее значение приобретает изучение геологических структур, история развития шельфа и прилегающей к нему суши. Учитывая это, инженерно-геологические условия шельфовых зон необходимо рассматривать, как результат новейших и современных тектонических движений земной коры в зоне взаимодействия суши и моря. Следует учитывать взаимосвязь прибрежных и глубоководных типов природных обстановок, и при инженерно-геологической оценке подобных территорий изучать их взаимодействие между собой (Возовик, 1981).

Таким образом, шельфовая зона занимает конкретное геологическое пространство, сложенное определенными комплексами горных пород, которые являются главным элементом инженерно-геологических условий данной территории. Различные типы осадков, слагающих шельфовую зону, имеют свои характерные черты и отличия.

Седиментация и характер осадков в морях определяются физико-географическими, биологическими и геологическими условиями, а именно: глубинами и расстоянием разных участков от суши, гидрологическим и гидрохимическим режимом, климатом, развитие флоры и фауны, геологическим строение и геоморфологией суши, тектоническими и прочими геологическими процессами. Также надо отметить, что условия образования различных осадков в шельфовой зоне более переменны, в более глубоководных участках.

На границе суша-моря интенсивно протекают процессы взаимодействия основных оболочек Земли – литосферы, гидросферы и атмосферы. Обломочный материал литосферы, образовавшийся в результате ряда экзогенных и эндогенных процессов, перемещается с континентов на подводную окраину, благодаря действию флювиальных, эоловых, гравитационных и абразионных процессов. В береговой зоне и в пределах верхней части шельфа мощные волновые процессы измельчают, окатывают, истирают, дифференцируют и распределяют в соответствие с гидравлической крупностью снесенный обломочный материал (Ионин и др., 1981).

Такому многообразию процессов в шельфовой зоне соответствует вещественное, литологическое и генетическое разнообразие отложений. В шельфовых зонах распространены осадки всех гранулометрических типов (от глыбово-валунных до глинистых). Преобладают

осадки хорошо сортированные и хорошо отмытые. Отмечается уменьшение крупности зерен осадков от берега к бровке шельфа, что объясняется уменьшением гидродинамической активности в этом же направлении. Сильные придонные течения влияют на погребение осадка, вплоть до грубозернистых песков и гравия. Волнение может достигать дна на всей глубине шельфа и препятствовать осаждению глинистых частиц (Фролов, 1984).

Условия образования осадков различаются в прибрежной зоне и более глубоководной. В прибрежной зоне в зонах с повышенной гидродинамической активностью, на берегах с уклоном более 0,025, образуются скопления валунов, гальки на глубинах в несколько метров ниже уровня воды. На больших глубинах осаждается песок, а на глубинах свыше 50-80 метров идет накопление глинистых и суглинистых илов. На отмелях берегах, с уклоном 0,004-0,025, с небольшой гидродинамической активностью до глубины в несколько метров накапливаются разнозернистые пески, ниже песчано-супесчаные осадки, а на глубинах более 7 метров суглинистые и глинистые илы. В прибрежных зонах, защищенных от волнового воздействия, с пологим уклоном подводного берегового рельефа (менее 0,005), в основном развиты глинистые осадки.

Таким образом, в прибрежной зоне развиты и песчано-галечные и глинистые отложения. Основой фактор, способствующий образованию песчано-галечных отложений, является большая скорость воды, обусловленная действием волн, течениями, приливами и отливами. Ширина зон распространения прибрежных песчано-галечных отложений зависит от рельефа прилегающей суши, уклона подводного берегового склона, размеров бассейна, и редко превышает первые километры.

Для образования же глинистых отложений главным фактором выступает отсутствие значительных движений воды. Благоприятными для накопления прибрежных глинистых осадков являются низкие берега, сложенные глинистыми осадками. Более глубоководные отложения, образовавшиеся на глубине от 20 до 200 метров, характеризуются меньшей фациальной изменчивостью, более плавными переходами между фациями. Для них характерен глинистый и песчано-глинистый состав, горизонтальная волнистая и косая слоистость (не грубая), хорошая или средняя сортировка, встречаются линзы ракушечников, фораминиферовые или диатомовые илы.

Прибрежные и глубоководные отложения могут иметь в своем составе различные примеси, в зависимости, от содержания которых осадки бывают терригенными, биогенно-хемогенными и вулканогенными. Терригенные примеси – это преимущественно обломки минералов и горных пород, образующиеся в результате абразии берегов и поступающие в море с речным стоком, в результате разноса льдов и ветра. Биогенные примеси – это остатки различной флоры и фауны. Хемогенные примеси – это вещества, выпадающие из растворов

(карбонаты, гидроокислы и тд.). Вулканогенные примеси – это обломки вулканического происхождения. Взаимоотношение этих веществ во время процесса седиментации и определяет состав осадков шельфовой зоны, особенности их диагенетического преобразования и формирование их физико-механических свойств.

Из перечисленных в вещественном составе осадков примесей особое влияние на инженерно-геологические особенности формирующихся отложений оказывают органические вещества различного происхождения и химические компоненты. Из последних следует отметить железо и марганец. Железо находится в морской воде в виде органических соединений и коллоидов гидроокиси. В результате процесса гидролиза органических соединений образуются коллоидные гидроокислы железа, которые в результате коагуляции превращаются в гелевые агрегаты, осаждение которых происходит одновременно с глинистыми частицами, чем и объясняется повышенное содержание железа в глинистых осадках. Также железо усваивают диатомовые водоросли, после отмирания которых железо выпадает в осадок. Поведение марганца повторяет поведение железа, за тем исключением, что его концентрация в отложениях намного меньше, он более подвижен и более растворим.

Учитывая, что инженерно-геологические условия различных по месторасположению шельфовых зон отличаются, при их оценке необходимо учитывать климатические условия и принадлежность к определённой тектонической структуре.

Климатические условия оказывают влияние на характер и состав осадков шельфовой зоны. Они определяют рифогенную деятельность морских организмов, разнос обломочного материала льдом и другие явления, свойственные исключительно определенному климатическому поясу, также определяют характер образования рельефа и седиментации в прибрежно-шельфовой зоне.

Как было отмечено в 2.1.1, особая роль при формировании ИГУ принадлежит тектоническому фактору, что в значительной степени определяет его влияние на формирование инженерно-геологических особенностей горных пород также и шельфовых зон. Прежде всего, следует учитывать, что древние тектонические процессы привели к формированию определённых структур рельефа. Роль современных тектонических движений - это первичное распределение глубин дна и неровностей рельефа, что определяется их направленностью и интенсивностью (Павлидис и др., 1981). Современная тектоника через рельеф контролирует волны и течения, а, следовательно, и ход субаквальных абразионно-аккумулятивных процессов. Течения, скорость и направления их во многом зависят от тектонически predetermined форм рельефа, в большой степени влияют на распределение зон транзита и аккумуляции осадочного материала. Они могут размывать дно и создавать характерные формы аккумулятивного рельефа.

Неотектонические движения являются одной из главных причин трансгрессий и регрессий. В результате влияния трансгрессий, отличающихся в новейшее время большими амплитудами, происходило образование глубоких эрозионных врезов, получили развитие такие береговые формы, как лиманы, эстуарии, фиорды, шхеры (Леонтьев, 1961). Также важное влияние на инженерно-геологические условия шельфовых зон оказывают сейсмические явления. В Белом море отмечаются крупные рельефные уступы, связанные с разломами, по которым проходят современные дифференцированные движения земной коры (Бутылин и др., 1982).

В поздне-последледниковую трансгрессию были созданы условия для выравнивания и выполаживания рельефа, резко отличающиеся на положительных и отрицательных морфологических структурах. Колебания уровня Мирового океана в четвертичное время создавали цикличность в процессах формирования рельефа и осадочных толщ на шельфе, которая связана с последледниковой сменой субэвральными условиями субаквальными. В результате этих процессов на шельфах получили широко распространение реликтовые формы рельефа ледникового, карстового, волнового и т.п. происхождения (Ионин и др., 1981). Это в большой степени повлияло на инженерно-геологические условия шельфовых зон.

Важное влияние на инженерно-геологические условия шельфовых зон оказывают процессы подмыва и разрушения берегов, оползни и обвалы. В основном они отмечаются в прибрежной полосе. На склонах берегов проявляются процессы солифлюкции. В результате стекания или сползания талой, насыщенной водой горной породы вниз, в прибрежную зону поступает большое количество обломочного материала. Они играют большую роль в современной седиментации.

Не менее существенное влияние на инженерно-геологические условия шельфовых зон оказывают гидрогеологические условия, так как происходит значительный обмен между сушей и морем и попутно переносимыми водой веществами, что способствует изменению химического состава поровых вод осадков при их диагенезе. Также деятельность подземных вод контролирует многие современные геологические процессы.

Особая роль в формировании ИГУ инженерно-геологических условий шельфовых зон принадлежит техногенным факторам, связанным, как со строительством различного типа сооружений в прибрежной зоне, так и освоением глубоководных участков (добыча полезных ископаемых, прокладка подводных кабелей и др.)

Таким образом, рассмотренные факторы, определяющие ИГУ шельфовых зон, тесно взаимосвязаны между собой, что требует детального изучения каждого из них. Особое внимание в представленной работе уделено основному элементу ИГУ – оценке вещественного

состава, физико-механических свойств грунтов, слагающих выбранные участки Онежского залива и особенностям их диагенетического преобразования.

## 2. 2 Особенности инженерно – геологических условий Онежского залива Белого моря

Онежский залив расположен в южной части Белого моря, внутреннего моря на севере Европейской части России, относящегося к Северному Ледовитому океану. Площадь поверхности моря составляет 90 тыс. км<sup>2</sup>. Его акватория делится на несколько частей: Онежская губа (Онежский залив), Двинская губа, Мезенская губа и Кандалакшский залив, Бассейн, Горло и Воронка. Онежский залив является самым мелководным заливом, с глубинами от 5 до 80 метров. На севере он отделяется от центральной части моря отдельной грядой Соловецких островов. С запада ограничен Поморским берегом, а с востока Онежским берегом (часть между рекой Онега и мысом Летний Орлов называется Лямецким берегом) (рис. 1).



Рисунок 1. Районы Белого моря и местные названия его берегов (Невеский Е.Н. и др., 1977).

Белое море расположено в двух климатических зонах: субарктической и арктической. Климат от умеренно континентального на юге, до морского полярного на севере. Температура воздуха колеблется в пределах от  $-14^{\circ}$  до  $+14^{\circ}$  С. Поверхностные воды заливов и центральной части моря в летний период прогреваются до  $15\text{—}16^{\circ}$ С. В то же время в Онежском заливе она составляет не выше  $9^{\circ}$ С. Зимой температура поверхностных вод понижается до  $-1,3\text{...}-1,7^{\circ}$ С в центре и на севере моря, в заливах — до  $-0,5\text{...}-0,7^{\circ}$ С.

Как было отмечено (2.1.1 и 2.1.2), сложность инженерно-геологических условий территории определяется её принадлежностью к конкретной тектонической структуре, и важным фактором в их формировании является тектонический режим, определившим формирование всех элементов их слагающих. В рассматриваемом регионе особую роль выполнял неотектонический этап на северо-востоке Балтийского щита, который начался в олигоцене, его первая стадия продолжалась весь олигоцен и затронула начало миоцена, что в итоге привело к образованию впадины Белого моря. В целом, для района Белого моря характерно большое разнообразие неотектонических условий. Дно моря представляет мозаику блоков, которые испытывают активные и разнородные подвижки.

В пределах Онежского залива, как и на всей территории Белого моря, новейшие тектонические движения определили особенности строения рельефа и тем самым закономерности распространения донных отложений четвертичного возраста. Основной неотектонической тенденцией площади Онежского залива в голоцене был подъем, происходивший неравномерно. На некоторых участках – в приустьевых зонах рек Онеги и Выга, в проливе между островом Анзорским и восточным берегом отмечены признаки неотектонического погружения в голоцене (рис. 2).



Рисунок 2. Схема тектонических движений Онежского залива (Невесский Е.Н. и др., 1977).

Характеризуя строение рельефа дна Онежского залива важно отметить следующее (Невесский и др., 1977). Дно представляет собой крупную депрессию, вытянутую с юга-востока на северо-запад, параллельно простиранию основных геологических структур. В поперечном профиле исследуемой территории выделены: Центральная область - наиболее

глубоководная, и две террасовидные возвышенные поверхности, опоясывающие Центральную область уступами до 10-15 метров.

В Центральной области наибольшим распространением пользуется морской аккумулятивный рельеф при локальном распространении ледникового аккумулятивного и эрозионно-тектонического. В морском аккумулятивном рельефе выделяются плоская, слаборасчлененная аккумулятивная и аллювиально-морская равнины. Плоская аккумулятивная равнина, расположенная в северо-западной половине Центральной области, на глубине около 50-60 метров, представляет собой очень пологоволнистую поверхность с превышениями от 1 до 5 метров, сменяющуюся на холмисто-грядовую на севере. На юге она сменяется слаборасчлененной равниной и отделяется от нее уступом, хорошо выраженным как в современном рельефе, так и в рельефе дочетвертичных пород. Слаборасчлененная равнина, расположенная на глубине 30-35 метров, представляет собой поверхность с небольшим количеством холмов с развитым небольшими валообразными повышениями, составляющими в среднем 5-6 метров. Склоны имеют очень пологие углы. Плоскую аккумулятивную и слаборасчлененную равнины пересекает крупная линейная ложбина с глубинами до 70 метров, приуроченную к зонам разломов. Она вытягивается от устья реки Лямца до мыса Чесменский.

Устьевая часть залива разделена грядой Соловецких островов на два пролива – Западно-Соловецкая Салма и Восточно-Соловецкая Салма. В данной части залива отмечаются донные пороги. Глубина в этой части 5-10 метров, но в обоих проливах присутствуют ложбины с глубиной до 35 м. На большей части Онежского залива глубина не превышает 50 метров, а в средней его части есть обширные районы с глубинами меньше 20 метров.

Юго-восточная часть Онежского залива – это аллювиально-морская равнина, которая отделяется от слаборасчлененной равнины областью развития холмов и гряд ледникового конечно-моренного комплекса. Отдельно следует выделить аллювиально-морскую равнину, которая занимает приустьевую часть реки Выг.

Геологическое строение территории в значительной степени обусловлено тектоническим развитием Балтийского кристаллического щита и покровными четвертичными оледенениями. В её геологическом разрезе выделяется три яруса: нижний ярус – архейский кристаллический фундамент, средний – верхнепротерозойский платформенный чехол, верхний – чехол новейших (четвертичных отложений).

Породы архейского возраста беломорской серии (AR bl), развитые в западной части подводной территории, являются продолжением древних образований беломорской серии, отмечаемых на Карельском берегу, где они образуют однородную поверхность, которая

полого погружается к северо-востоку и перекрыта чехлом платформенных образований (Геология СССР, 1960).

Осадочный чехол платформенных образований представлен породами верхнего протерозоя и кайнозоя. Породы верхнего протерозоя (отложения валдайской серии вендского возраста - PR<sub>3</sub> vd) широко распространены в пределах Онежского залива. Они представлены зеленовато-серыми алевритами и аргиллитами с базальной пачкой конгломератов и грубозернистых песчаников и слагают прибрежную террасу вдоль Лямецкого берега. Их кровля полого погружается на юго-запад до глубины 35 метров. В юго-восточной части залива они располагаются в 3-5 метрах от поверхности воды и обнажены на морском дне. Горизонтально лежащие аргиллиты венда формируют своеобразные формы рельефа – возвышенности с крутыми склонами.

Непосредственно на древних кристаллических и осадочных породах верхнего протерозоя залегают четвертичные отложения, имеющие повсеместное распространение в Онежском заливе. Расчленение четвертичного покрова проведено по стратиграфо-генетическому принципу, в основу которого положено выделение генетических типов осадков (Джиноридзе и др., 1979; Рыбалко и др. 1987).

Мощность четвертичного разреза составляет от первых метров до 35-45 метров. В его основании залегает комплекс ледниковых образований, наиболее важное значение среди них имеет валдайская морена (gIII vd<sub>3</sub>). Отложения представлены глинистыми, суглинистыми и песчаными разностями, содержащими гальку и гравий, их мощность изменяется от 3 до 8 метров. Это – абляционная морена, сформированная во время таяния ледника.

Также в Онежском заливе встречаются отдельные холмы, сложенные моренными отложениями, среди которых выделяется три комплекса:

- 1) Соловецко-Онежская гряда, являющаяся естественным продолжением Онежского конечно-моренного комплекса;
- 2) Гряда из изолированных поднятий, сложенных в ядре мореной, которая протягивается от мыса Чесменский к Большой Мягостровской мели.
- 3) Лянецкий комплекс грядово-холмистых ледниковых образований, которые расположены между островом Кондостровом и устьем реки Лямца.

Ледниковые отложения перекрываются плейстоценовыми водно-ледниковыми осадками валдайского возраста, которые имеют широкое распространение на исследуемой территории. Они представлены ледниково-озерными, флювиогляциальными и ледниково-морскими отложениями. Полная их мощность варьирует от первых метров до 40-50 метров, а максимальные мощности зафиксированы в террасовидном уступе вдоль Онежского Берега.

На всей площади Онежского залива развиты отложения верхнеплейстоценового-голоценового возраста: подводно-элювиальные отложения и морские отложения. Образование подводно-элювиальных отложений связано с разрушением морены и пород дочетвертичного субстрата, которое началось в момент отступления ледникового покрова. Представлены грубообломочными и песчаными отложениями маленькой мощности. Формирование морских отложений, развитых на поверхности разновозрастных и литологически разновозрастных верхнечетвертичных отложений, связано как с разрушением подстилающих отложений, так и с накоплением материала в условиях современного морского бассейна. Верхнеплейстоценово-голоценовые морские осадки ( $m_1$  III-IV) залегают на ледниково-морских осадках, с которыми часто связаны постепенным переходом. Они представлены зеленовато-серыми и серыми глинами с редкими прослоями и линзами суглинков и супесей, мощностью до 4 метров. Начало формирования данных осадков на различных участках началось асинхронно и связано с постепенным распространением морских вод в кутовую часть залива.

Голоценовые морские осадки ( $m_2$  IV) залегают на верхнеплейстоцено-голоценовых морских и плейстоценовых водно-ледниковых отложениях и представлены различными генетическими типами: от тонкозернистых глинистых отложений до песков и галечников. Мощности данных осадков отражают целый ряд процессов и условий осадконакопления, имеющие место в это время в Онежском заливе и в среднем составляет от 0,5 до 1 метра. На отдельных участках песчаные отложения образуют «песчаные волны» мощностью до 5-8 метров.

Важное влияние на инженерно-геологические условия рассматриваемой территории оказывает гидрологический режим моря: водообмен с Баренцевым морем, приливно-отливные явления, речной сток.

В связи с закрытым положением моря, волновой режим Белого моря близок к режиму крупных озерных водоемов. Приливная волна из Баренцева моря имеет полусуточный характер. Средняя высота наибольших приливов колеблется от 0,6 до 3 метров, в некоторых узких заливах достигает 7 метров. Несмотря на небольшую площадь поверхности моря, на нём развита штормовая деятельность, особенно осенью, когда во время штормов высота волн достигает 6 метров. Сгонно-нагонные явления в холодное время года достигают на море величины 75 -90 сантиметров. Ежегодно на 6-7 месяцев море покрывается льдом. У берега и в заливах образуется припай, центральная часть моря обычно покрыта плавучими льдами, достигающими толщины 35—40 сантиметров, а в суровые зимы — до полутора метров. Характерной особенностью гидродинамического режима Белого моря, который играет значительную роль в литодинамических процессах, являются приливо-отливные течения,

которые вызываются периодическими колебаниями уровня. В результате этого возникают приливы, охватывающие всю толщу воды и проникающие до самого дна, а также, мощные течения, скорости которых в Онежского губе достигают 0,8-1,0 м/сек.

Важное влияние оказывает жидкий материковый сток, который осуществляется реками Кемь, Онега, Выг и множеством мелких рек. Он значительно опресняет воды моря, что наиболее сказывается в заливах, в том числе и в Онежском заливе.

Таким образом, инженерно-геологические условия Онежского залива сформировались под воздействием выше перечисленных факторов. В свою очередь, эти факторы обусловили формирование различных генетических групп отложений со специфическим составом и физико-механическими свойствами.

### Глава 3. Особенности распространения и залегания донных отложений Онежского залива

Геологическая история осадкообразования на рассматриваемой территории в ледниковый, позднеледниковый и послеледниковый периоды обусловила закономерности распространения донных отложений четвертичного возраста. Это определило характерную фациальную изменчивость осадков и их приуроченность к определенным формам рельефа (Бутылин и др., 1982; Рыбалко и др., 1979).

В пределах Онежского залива четвертичные отложения имеют пластовый выдержанный характер залегания, что связано с бассейновым накоплением в течение данного периода. Исключение составляют ледниковые отложения, особенности их залегания и распространения рассмотрены в 2.2.

Водно-ледниковые отложения широко распространены в Онежском заливе и могут быть подразделены на ледниково-озерные (lg III) и ледниково-морские (mg III). Они залегают в основном на моренных образованиях базального основания.

Ледниково-озерные отложения распространены почти по всей площади залива, за исключением мест, где на поверхность выходят ледниковые отложения. В Западно-Соловецкой Салме ледниково-озерные представлены супесями и суглинками (lg III), которые непосредственно перекрывают морену и местами фациально замещены флювиогляциальными песками. Практически везде они перекрыты более молодыми ледниково-морскими или морскими осадками и только в некоторых местах ледниково-озерные супеси вскрыты вблизи поверхности. Ледниково-озерные отложения (lg<sup>2</sup> III), представленные типичными ленточными глинами, повсеместно распространены в юго-восточной части залива, где перекрывают ледниковые. На большей части площади ледниково-озерные ленточные глины перекрыты ледниково-морскими осадками (вскрыты скважинами и прослежены на глубинах 1-8 м от поверхности дна). В некоторых местах они обнаруживаются на поверхности дна: между м. Глубокий и о. Кондостров во впадинах маренного рельефа и к югу-западу от м. Каменного на дне глубоководной ложбины. Средняя мощность ледниково-озерных отложений в заливе составляет 4-6 м, а максимальные мощности до 10 м прослеживаются в локальных понижениях рельефа.

Ледниково-морские отложения (mg III) широко распространены по площади, но одновременно довольно прерывисто. Их залегание, в основном, приурочено к понижениям ледниково-озерного и ледникового рельефа. Они заполняют мелкие впадины и достигают максимальной мощности до 2,5 м в Западно-Соловецкой Салме, в то время, как минимальная

мощность до 0,5 м отмечается в Центральной части залива. Обнажения ледниково-морских глинистых осадков отмечены в северной части залива, в районе Соловецких островов. Здесь они распространены повсеместно, исключая прибрежные части. На самом севере залива ледниково-морскими глинами сложены останцевые гряды в Западно-Соловецкой Салме. Также обнажения прослеживаются в районе ледниковых поднятий к северу от о. Большой Жужмуй и к северо-востоку от о. Малый Жужмуй вдоль края террасовидной поверхности на глубинах около 20 м. В Центральной части данные отложения выходят на поверхность в районе развития конечно-моренных образований. На значительной части площади залива ледниково-морские глины перекрыты более молодыми осадками морского происхождения.

Морские отложения, как верхнеплейстоценово-голоценовые ( $m_1$  III-IV), так и голоценовые ( $m_2$  IV) занимают большую часть площади Онежского залива. Верхнеплейстоценово-голоценовые ( $m_1$  III-IV) представлены в основном зеленовато-серыми, серыми глинами с редкими прослоями и линзами суглинков и супесей. Они имеют довольно широкое распространение по площади и залегают в основном на ледниково-морских осадках, с которыми часто связаны постепенными переходами. Данные осадки занимают примерно 80% площади Онежского залива и отсутствуют лишь в местах выхода на поверхность более древних позднеледниковых, ледниковых осадков и дочетвертичных пород. Мощность морских осадков весьма изменчива, в отдельных местах составляет до 3,5 м. Сильная изменчивость мощности обусловлена условиями седиментации в голоцене, в ходе которого было большое количество неотектонических движений. Вследствие этого, в некоторых частях залива прослеживаются мощные слои морских осадков по причине тектонического опускания этой части, а в некоторых частях морские осадки наоборот имеют небольшую мощность из-за тектонического подъема.

В Онежском заливе на всех поперечных профилях (рис. 3 I-I) отмечается возрастание мощности морских осадков с северо-востока на юго-запад. В продольном профиле (рис. 3 II-II) возрастание мощностей морских осадков отмечается от зон развития конечно-морских образований на северо-запад.

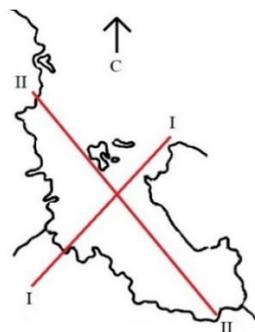


Рисунок 3. Поперечные (I-I) и продольные (II-II) профили (Невесский и др., 1977).

Также в Онежском заливе широким распространением пользуются голоценовые морские отложения ( $m_2$  IV). Они покрывают большую часть Центральной области залива, залегая в виде слоя небольшой мощности, и образуют аккумулятивные тела у берегов и в зонах интенсивных течений. За распределение данных осадков ответственен современный гидродинамический режим, который обусловил формирование и распределение по площади следующих типов осадков: прибрежных, глубоководных и, сформированных под воздействием приливно-отливных течений.

Прибрежные осадки представлены преимущественно мелко-среднезернистыми хорошо сортированными песками. Их формирование происходило при воздействии волновых колебаний на морское дно, что определило процессы размыва, переноса и аккумуляции осадков. Они распространены вдоль северо-восточного берега Онежского залива от м. Лиственный до восточной границы залива в виде узкой полосы на глубине до 10 м. также отмечаются неподалёку от устья р. Лямцы, где они резко приближаются к берегу и имеют мощность порядка 10-20 см.

Глубоководные морские осадки голоценового возраста приурочены к наиболее глубоким участкам Онежского залива. Отличительной чертой данных осадков является их смешанный состав (песчаный, глинистый), что наиболее заметно в верхних частях разреза. Хорошо выделяется связь гранулометрического состава с рельефом дна. На поднятиях – это преимущественно песчаный и супесчаный состав, а в понижениях рельефа песчаные осадки сменяются суглинками и глинами. Наиболее распространенные осадки данного типа – песчаные и супесчаные разности приурочены к глубинам 20-50 м и образуют сплошные поля в Центральной ложбине Онежского залива. Также они отмечаются в локальных депрессиях в пределах Лямецкой гряды и шхерском районе. Суглинистые и глинистые же разности развиты на больших глубинах (40-60 м) в Центральной части залива, где они расположены небольшими участками. И супесчаные и суглинистые разности формируются в зонах современной неинтенсивной глинистой аккумуляции, где седиментация осуществлялась преимущественно за счет размыва соседних участков морского дна.

К морским осадкам (голоцен) глубоководного типа также относятся осадки приустьевых рек Онеги и Выга. Наиболее интересным является участок в районе Сорокской губы (приустьевая часть р. Выг), где мощность морских осадков резко увеличена по сравнению с соседними участками. Ни одно бурение для отбора проб не достигло кровли ледниково-морских осадков, что может быть связано либо с опусканием дна, либо наоборот с его стабильностью, что в совокупности с аллювиальным выносом р. Выг сформировало мощную пачку морских голоценовых глинистых осадков. Осадки, сформированные под воздействием приливно-отливных течений распространены в зонах интенсивных течений. Их

характерной чертой является тесная связь с подводными обнажениями морены или флювиогляциальных осадков, которые служат источником поступления обломочного материала. Они образуют локальные аккумулятивные тела, сложенные хорошо сортированным мелко-среднезернистым песком, полностью лишённые глинистой фракции. Залегают резко несогласно на абразионной поверхности ледниковых и ледниково-морских образований.

Интенсивные приливно-отливные течения в проливах Западно-Соловецкая Салма и Восточно-Соловецкая Салма привели (наряду с глинистыми осадками в ложбинах), к формированию особых аккумулятивных форм песчаного состава – песчаных волн (гряд) и лент, которые имеют ассиметричную форму и высоту гряды от 2-3 м до 5-6 м.

Таким образом, особенности распространения, форма и залегание донных отложений в пределах Онежского залива чётко указывают, что процесс седиментации на разных участках залива был разнообразным. Это сказалось на формировании различных групп осадков со своим вещественным составом, строением и свойствами на разных участках (Спиридонов и др. 1984).

## Глава 4. Вещественный состав и физико-механические свойства различных генетических типов отложений Онежского залива

### 4. 1 Вещественный состав отложений

#### 4. 1.1 Минеральный состав

Исследование минерального состава в осадках Онежского залива показало следующее (Калиненко и др., 1974). Во фракции осадков  $<0,001$  мм Онежского залива обнаружены следующие глинистые минералы: монтмориллонит, гидрослюда, каолинит, хлорит, смешанонослюдные образования Монтмориллонит и гидрослюда являются основными, остальные же присутствуют как примеси. Монтмориллонит распределен по всей площади мелководного Онежского залива, везде, где развиты пески, роль монтмориллонита во фракции  $<0,001$  мм оказалась совершенно незначительной, содержания редко достигают 10%, а в большинстве случаев монтмориллонит в осадках просто отсутствует. Абсолютные количества монтмориллонита также характеризуются ничтожными величинами, что связано с низкими содержаниями этого минерала в тонкопелитовой фракции песков и с их общей небольшой глинистостью. Гидрослюда во фракции  $<0,001$  мм осадка распределена строго противоположно монтмориллониту. В мелководном Онежском заливе высокие содержания гидрослюды (до 80%) прослеживаются практически на всей площади дна. Абсолютные количества гидрослюды сильно отличаются от определённого во фракции 0,001 мм. В Онежской губе в зонах с высокими содержаниями гидрослюды во фракции 0,001 мм наблюдаются весьма небольшие количества гидрослюды в расчете на весь осадок (менее 10%). Каолинит во фракции  $<0,001$  мм осадков присутствует в небольших количествах (10-20%). Хлорит во фракции 0,001 мм отмечается содержанием от 10 до 15%.

Результаты изучения минерального состава отложений, развитых в пределах исследуемых участков, показали их характерные особенности (Бутылин и др., 1982; Рыбалко и др., 1979). В минеральном составе тонкодисперсной части ледниково-озерных отложений (ленточные глины) содержится от 35 до 45% глинистых минералов, кроме них в значительной степени присутствует кварц, плагиоклаз, калиевый полевой шпат и амфибол. В глинистую фракцию попадают и слабогидротированные слюды (биотит), количественное содержание которых оценить трудно, но на рентгенограммах отчетливо выражен рефлекс, характерный для биотита (рис. 5 Обр. №1). Основным глинистым минералом является иллит 80-95% от суммы всех глинистых минералов, выделяется присутствие хлорита, незначительная примесь каолинита и минералов с разбухающей структурой.

Минеральный состав тонкодисперсной части ледниково-морских осадков очень близок к составу вышеописанных ледниково-озерных отложений, развитых в пределах данной площади (рис. 4 Обр. №2).

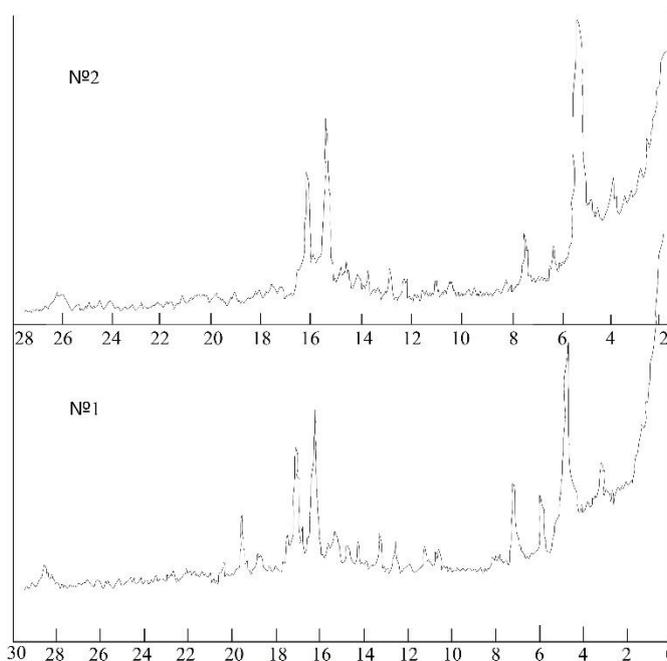


Рисунок 4. Изменение состава глинистых минералов фракции <0,001 мм в различных горизонтах четвертичных отложений; Обр. №1 – ледниково-озерные осадки, Обр. №2 – ледниково морские осадки.

В минеральном составе морских верхнеплейстоценово-голоценовых осадков резко возрастает выход тяжелых минералов: 50-60% во фракции 0,25-0,1 мм и до 50% во фракции 0,1-0,05 мм, где до 90% - это фракция представлена пиритом. Он имеет комковатый облик или представлен в виде скопления микроолитов и цилиндрических образований. В отдельных колонках удалось выделить сажистые образования гидротроиллита. Для рассматриваемых отложений характерен тот же комплекс глинистых минералов, что и в ленточных глинах. Преобладает иллит, значительна примесь хлорита, установлено присутствие монтмориллонита, смешанно-слойных минералов, редко каолинита (рис. 5).

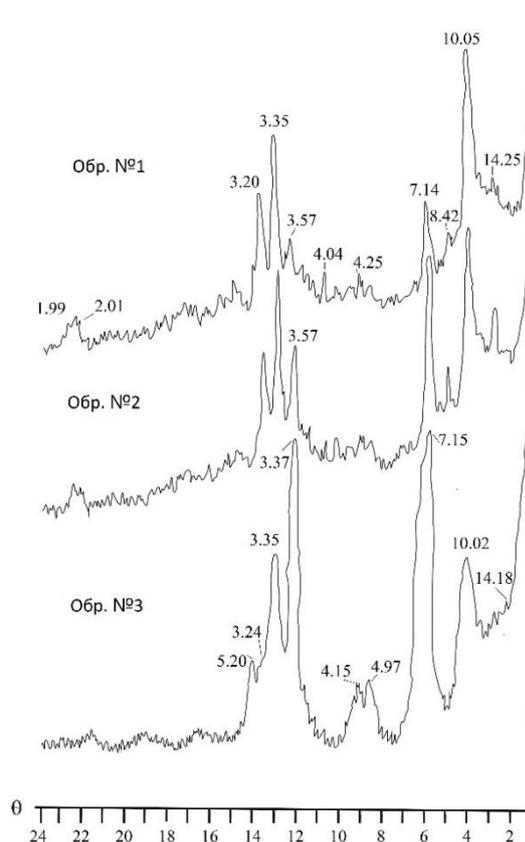


Рисунок 5. Минеральный состав фракции <0,001 мм голоценовых морских осадков (преобладает галлит, большое содержание хлорита, присутствует монтмориллонит, смешаннослойные минералы, редко каолинит).

Для голоценовых морских осадков Онежского залива характерен весьма однообразный минеральный состав песчаной фракции, что определяется однообразием минерального состава пород области сноса. Во фракции 0,25-0,1 и 0,1-0,5 мм резко преобладает кварц 80-98%, содержание полевых шпатов изменяется от 1 до 15%, иногда в небольших количествах присутствует биотит, обломки пород, кальцитовые зерна (органогенные остатки), редко раковины фораминифер. Общее содержание тяжелых минералов в супесях и песках составляет от 4 до 5%. В наиболее застойных зонах бассейна – Центральная часть Онежского залива, где преобладают суглинистые и глинистые осадки, содержание тяжёлых минералов в этих отложениях может снижаться до 1-2%.

Изучение минерального состава тонкодисперсной части осадков этого комплекса показало следующее. Результаты термического анализа (рис. 6) свидетельствуют, что тонкодисперсная часть исследуемых образцов представлена в основном гидрослюдой, которая фиксируется тремя эндотермическими реакциями в интервале температур 100-200°C, 500-600°C и слабым эффектом в интервале 800-900°C. В качестве примеси присутствует: закисное

железо, о наличии которого свидетельствует экзотермический эффект в интервале 400-500°C; кварц и органическое вещество.

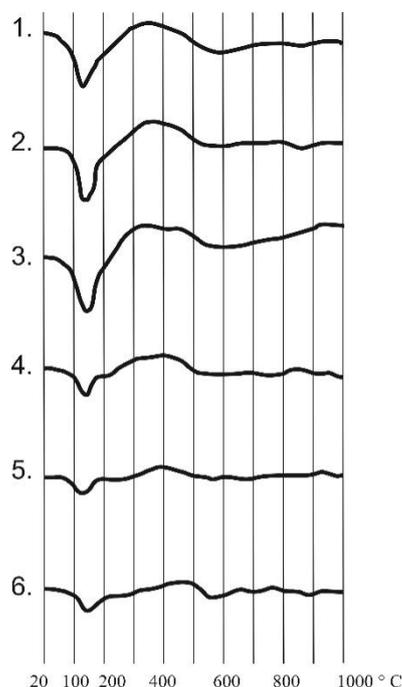


Рисунок 6. Кривые нагревания минералов морских голоценовых осадков; 1-3 Центральная часть Онежского залива, 4 – пролив Западно-Соловецкая Салма, 5-6 пролив Восточно-Соловецкая Салма.

Таким образом, для минерального состава морских голоценовых осадков характерен тот же состав, что и в водно-ледниковых отложениях. Это совпадение определяется едиными и неизменными за время накопления верхнечетвертичных отложений источниками сноса. При этом, возрастание в составе тонкодисперсной части роли собственно глинистых минералов, заметное снижение содержания кварца, полевых шпатов, увеличение степени гидратации слюдяных минералов указывает на изменение условий, существовавших в периоды формирования ленточных глин и морских осадков.

#### 4.1.2 Гранулометрический состав отложений

Ледниковые отложения (gIII). Данных о составе и физико-механических свойств ледниковых отложений Онежского залива очень мало. Данные есть в основном для северо-западной части залива, где они представлены щебнистыми отложениями с песчано-супесчаным заполнителем (Боровик и др., 1964). Однако, свойства ледниковых отложений на прилегающей суше в пределах района изучены подробно и характеризуют их следующим образом (Левкин и др., 2002). Ледниковые отложения представлены комплексом осадков

валдайского оледенения: суглинками с включением грубообломочного материала. По данным петрографии обломочная часть содержит до 30% кварца, 19% полевых шпатов, 19% известняков и кальцита, а также обломки интрузивных и эффузивных пород. Цементирующая часть составляет 17% от общей массы породы и представлены буровато-серым глинисто-карбонатным веществом. Глинистая фракция представлена гидрослюдой с примесью хлорита.

Результаты изучения гранулометрического состава водно-ледниковых и морских отложений исследуемых участков показали следующее (Рыбалко и др., 1979; Бутылин и др., 1982.).

Водно-ледниковые (ледниково-озёрные и ледниково-морские) отложения, как было отмечено, присутствуют в разрезе участков 1 и 2, а на участке 3 при пробоотборе до глубины около 6 м, они не были обнаружены. При этом отмечается некоторое отличие в их гранулометрическом составе на данных участках.

Гранулометрический состав ледниково-озёрных отложений, развитых на Участке 1 (пролив Западно-Соловецкая Салма), представлен в основном, суглинистыми и супесчаными разностями, часто содержащими гравий и мелкую гальку. Как следует из графика, точки состава сосредоточены в поле суглинков и супесей (рис. 7). Ледниково-озёрные отложения Участка 2 (Центральная часть Онежского залива) представлены ленточными глинами, характеризующимися чередованием глинистых и песчаных слоев. Слоистость - обычно горизонтальная. В разрезе они выделяются по типичной слоистой текстуре и представлены глинами и суглинками, что подтверждается скоплением точек состава в основном в поле глин пылеватых и в некоторых случаях – в поле суглинков (рис. 7).

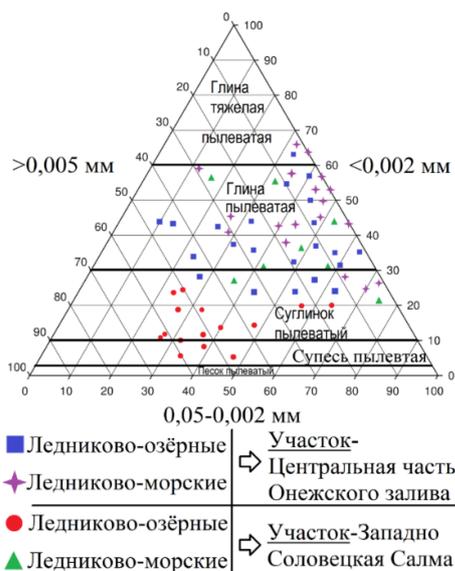


Рисунок 7. Треугольная диаграмма для гранулометрического состава ледниково-морских и ледниково-озёрных осадков различных участков Онежского залива. (составлена по данным Корвет Н.Г.)

Гранулометрический состав ледниково-морских отложений, распространённых в пределах участка 1 и участка 2, характеризует их следующим образом. На участке 1 они представлены в основном слоистыми глинами (слоистость обусловлена послойным распределением органики), и суглинками, что подтверждает график (рис. 7). По гранулометрическому составу – это глинистые и суглинистые разности. (рис. 7). На участке 2 распространены более однородные глины, кое-где в значительной степени обогащенными органическим веществом, распределение которого имеет послойный характер. По гранулометрическому составу эти осадки мало отличаются от вышеописанных ленточных глин и представлены также преимущественно глинами и суглинками, при этом отмечается некоторое возрастание глинистой фракции, а в отдельных слоях - незначительное возрастание содержания песка.

Гранулометрический состав морских отложений исследуемых участков в значительной степени обусловлен влиянием гидродинамического режима, существовавшим в период их формирования.

Специфической чертой седиментации на участках 2 и 3 является ослабленный гидродинамический режим, что выразилось в накоплении в их пределах сходных по гранулометрическому составу морских осадков. На этих участках, характеризующихся устойчивым накоплением, формируются глинистые и суглинистые разности, в которых часто отмечаются примеси органического вещества и встречены отдельные створки раковин. Большинство изученных разрезов характеризуется двухчленным строением, где суглинистые осадки с гнёздами песка и зёрнами гравия в верхней части, сменяются глинистыми осадки в нижней части горизонта. Это подтверждают графики: точки состава верхней части пачки образуют чёткое скопление в поле суглинков пылеватых, а нижней – в поле глин (рис. 8 1, 2).

Также отмечается различие гранулометрического состава нижней пачки осадков этого генетического типа, распространённых на различных глубинах залива. Оценка гранулометрического состава нижней пачки осадков, распространённых на больших глубинах (45-60 м), чем предыдущие, показала, что они относятся к глинам тяжёлым и лёгким пылеватым, что подтверждают графики, где точки результатов анализов нижней части горизонта располагаются в виде полосы от глин тяжёлых до лёгких пылеватых (рис. 8 3).

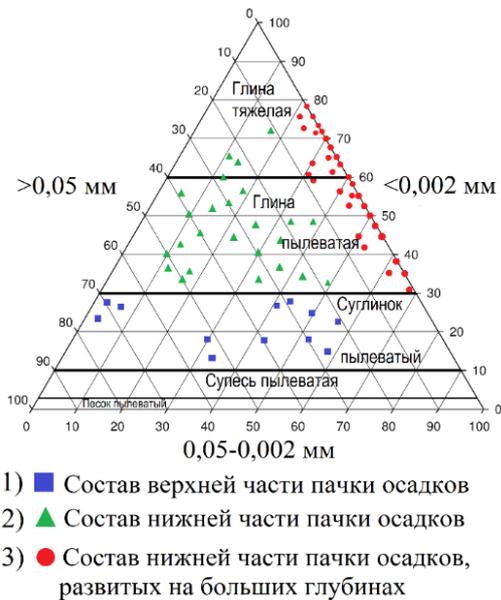


Рисунок 8. Треугольная диаграмма для гранулометрического состава морских осадков на участках 2 и 3 (составлена по данным Корвет Н.Г.).

Характеризуя гранулометрический состав морских осадков, развитых на участке 1 (пролив Западно-Соловецкая Салма), можно отметить следующие его особенности. Он отличается значительной неоднородностью в пределах исследуемого разреза (о. Соловецкий - юго-западное направление к берегу), что обусловлено приуроченностью морских осадков к различным формам донного рельефа (чередование ложбин и возвышенных участков) и влиянием придонных течений. Его изучение показало присутствие в составе значительного количества глинистых частиц и отсутствие песчаных (рис. 9). При этом, фиксировались чёрные сажистые примазки органического вещества, количество которых различно по отдельным разрезам, вплоть до появления глин, резко обогащённых органикой.

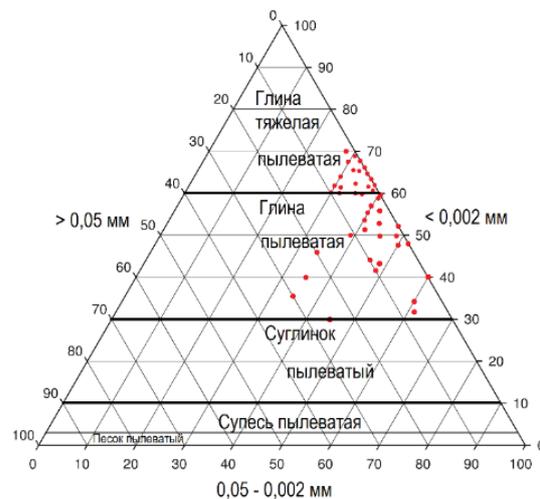


Рисунок 9. Треугольная диаграмма для гранулометрического состава морских осадков участка 1 – Западно-Соловецкая Салма (составлена по данным Корвет Н.Г.).

Анализируя некоторое различие в гранулометрическом составе морских осадков на изученных участках, видно, что отчётливо прослеживается его связь с условиями их формирования.

На глубоководных участках Центральной части Онежского залива и Сорокской губе состав этих осадков (содержание глинистых частиц от 50 до 80%, остальную часть составляют пылеватые, а песчаные практически отсутствуют (рис. 10 а, б), указывает на сравнительно спокойные гидродинамические условия в период их формирования. На участках с относительно небольшими глубинами моря в этих осадках уменьшается содержание глинистых частиц и появляются песчаные, что указывает на обстановку более повышенной гидродинамической активности (рис. 10 в). Изучение изменения состава этих осадков в пределах рассмотренных участков по глубине указывает, что содержание в них глинистых частиц изменяется мало и в среднем составляет 50-70% (рис. 10 а, б), что указывает на устойчивые условия осадконакопления. В районе проливов (Западно-Соловецкая Салма) с глубиной увеличивается содержание глинистых частиц при уменьшении пылеватых и песчаных (рис. 10 в), что объясняется уменьшением скоростей течений с глубиной.

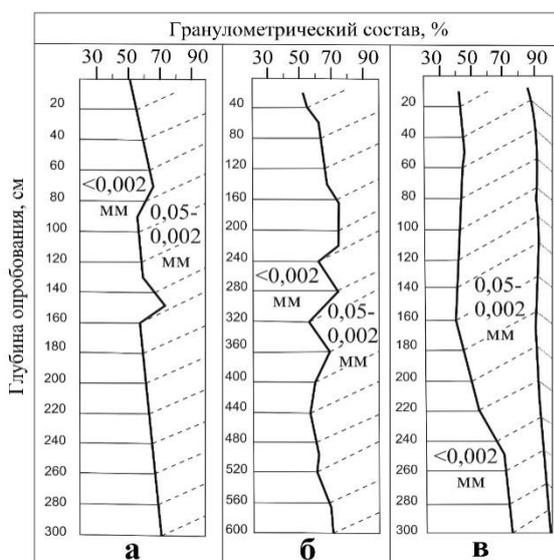


Рисунок 10. Графики изменения гранулометрического состава морских осадков с глубиной на исследуемых участках: а – Центральная часть Онежского залива, б – Сорокская губа, в – Западно-Соловецкая Салма (составлена по данным Корвет Н.Г.).

#### 4.1.3 Содержание органических и химических компонентов в исследуемых отложениях

Содержание органического вещества и химических компонентов в донных отложениях играет важную роль при изучении особенностей формирования их физико-механических свойств, а также изменения под воздействием различных как природных, так и техногенных

факторов. Также их важно изучать с целью региональных палеогеографических реконструкций. Прежде всего, необходимо принимать во внимание, что состояние грунтов и главным образом его геохимическая характеристика, как самая чувствительная, резко реагирующая на техногенное загрязнение любыми компонентами, является одним из важнейших показателей геоэкологической обстановки (Зеленковский и др., 2005; Корвет и др., 1997). Важно учитывать, что поведение геохимических компонентов является отражением диагенетического преобразования донных осадков. В связи с этим, ниже дана оценка содержания этих компонентов в отложениях исследуемых участков и их распределения по глубине разреза, которая была установлена в результате обработки материалов опубликованных литературных источников и фондовых материалов, предоставленных при прохождении практики.

Общие представления о содержании в отложениях Онежского залива таких компонентов органического происхождения, как карбонат кальция, органогенный аморфный кремнезём, углерод органического вещества, дают схемы их распределения, где отмечены исследуемые участки 1,2, и 3 (рис. 11 А, Б., рис. 12).

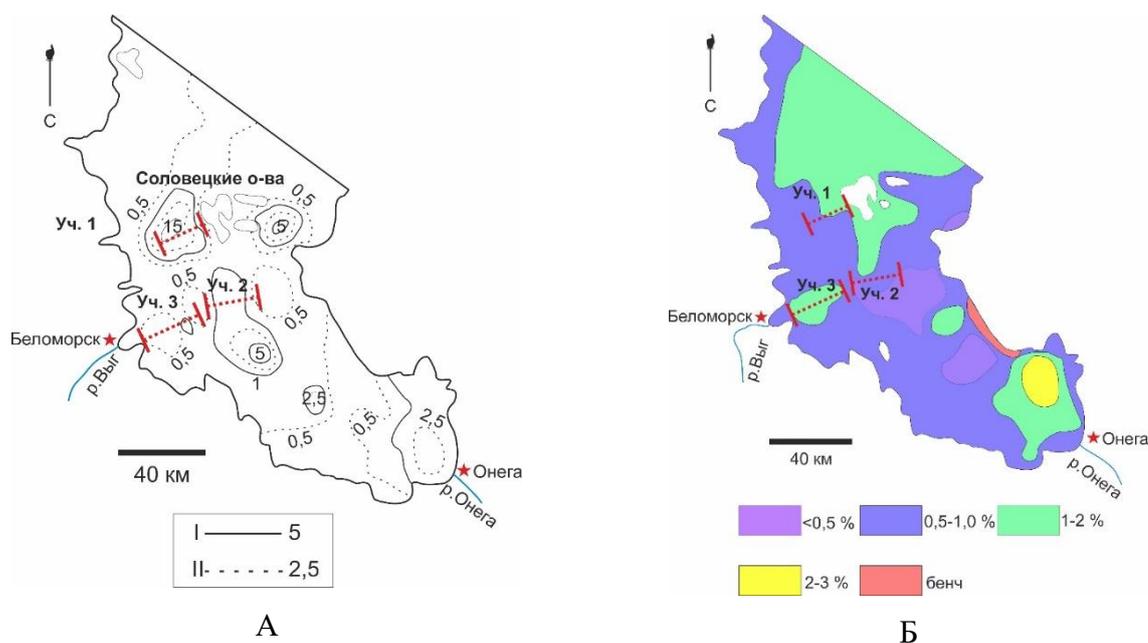


Рисунок 11. А – содержание карбоната кальция в отложениях залива: I – основные изолинии содержаний через 5%; II - дополнительные изолинии содержаний 0,5 и 2,5%; Б – содержание аморфного кремнезема на дне залива (Невесский, 1977).

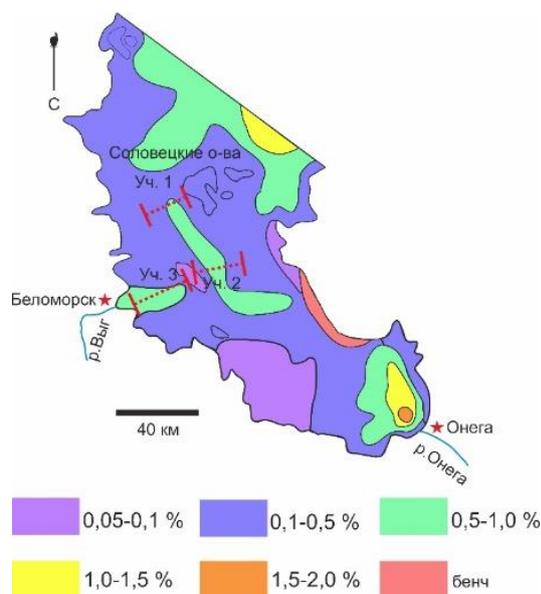


Рисунок 12. Содержание  $c_{орг}$  на дне залива (Невеский Е.Н. и др., 1977).

Распределение карбоната кальция по площади Онежского залива, как и по площади всего Беломорского бассейна, характеризуется неравномерностью и очень слабо зависит от гранулометрического состава осадков (рис. 11 А). Общий фон карбоната кальция в Онежской губе находится на уровне 0,5-1%. Наибольшие значения концентрации отмечаются для грубозернистых разностей осадка (присутствует большое количество ракушек и раковинного детрита) и приурочены к прибрежным частям. Важно отметить, что повышенное содержание карбоната кальция в осадках наблюдается в местах с максимальной гидродинамической активностью среды – в проливах. По данным пробоотбора, на участке 1 его содержание в осадках достигает более 50% (рис. 13). Также некоторое повышение содержания  $CaCO_3$  наблюдается в приустьевых частях рек, где в глинистых осадках в спокойной гидродинамической обстановке раковины отмерших моллюсков остаются на месте обитания.

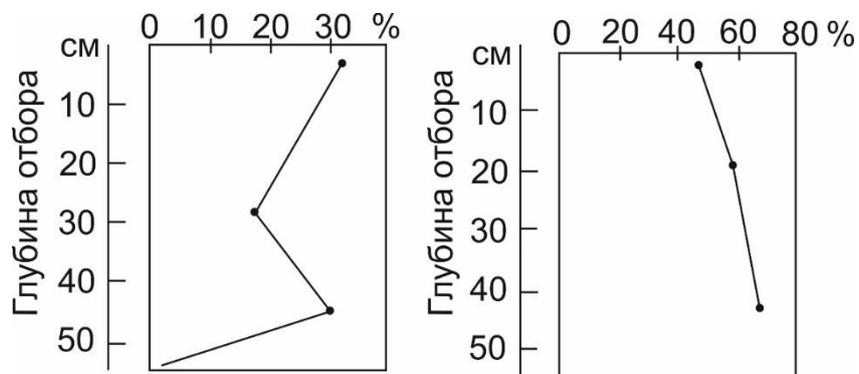


Рисунок 13. Графики изменения с глубиной содержания  $CaCO_3$  в морских голоценовых осадках пролива Западно-Соловецкая Салма (участок 1) (Рыбалко и др., 1979; Бутылин и др., 1982).

В распределении содержания в осадках аморфного кремнезема и углерода органического вещества отмечаются одинаковые закономерности, которые контролируются, прежде всего, гранулометрическим составом осадочной толщи, и тяготеют к верхним горизонтам морских осадков. В осадках Онежской губы прослеживаются однотипные содержания аморфного кремнезема в пределах 0,5-1%, в некоторых местах менее 0,5% (рис. 11 Б). Содержания углерода органического вещества лежат в диапазоне от 0,1 до 0,5% (рис. 12).

Для углерода органического вещества характерна связь с отложениями речных выносов рек Онеги и Выга, где наблюдается его повышенное содержание, достигающее 1,5-2%, что является максимальными значениями для всего Белого моря. Определение содержания углерода органического вещества (потери при прокаливании) в морских голоценовых осадках приустьевого пространства реки Выг (Сорокская губа) в среднем составляет 5-7% и достигает максимальных значений 10-12% (Рис. 29); в центральной части Онежского залива – 4-5% (Рис. 28). Связь накопления органического вещества в устьях рек позволяет говорить о поступлении органического вещества в море через речной сток.

Для аморфного кремнезема картина перед устьями рек Онега и Выг (Сорокская губа) также отмечается немного повышенные концентрации, что можно объяснить поступлением питательных веществ в приустьевые районы с речным стоком.

Характеризуя особенности распределения содержания органического углерода в отложениях Онежского залива, можно отметить следующее.

Водно-ледниковые плейстоценовые отложения в целом характеризуются пониженным содержанием органических компонентов, хотя и отмечается их увеличение по сравнению с подстилающими ледниковыми отложениями. Содержание органического углерода ( $C_{орг}$ ) увеличивается от 0,2 до 0,4-0,5 % (рис. 26),  $SiO_{2аут}$  – с 0,7 до 0,8-1,1 %, отложения практически бескарбонатны, содержание  $CaCO_3$  составляет 0,05-0,1 %.

Верхнеплейстоценово-голоценовые морские осадки характеризуются увеличением содержания органического углерода до 1,1 %, что можно объяснить развитием органической жизни в морском бассейне. Несмотря на общую неравномерность распределения органического углерода, отмечается увеличение его содержания вверх по разрезу. Голоценовые морские осадки характеризуются наибольшим обогащением органическим веществом. В содержании углерода органического вещества ( $C_{орг}$ ) отмечается отчетливая связь с гранулометрическим составом осадков: с увеличением размера фракции уменьшается количество органического углерода.

Установленные закономерности в распределении органического вещества в осадках исследуемых участков, свидетельствуют об общем небольшом его содержании в них, что

объясняется низкой биологической продуктивностью бассейна и является характерной чертой полярного литогенеза.

Как указано выше, при изучении процессов диагенеза донных отложений, необходимо знать содержание в них таких элементов, как железа, марганца, которые относятся к числу геохимических индикаторов раннего диагенеза (рис. 14 А, Б).

Общие представления о содержании этих элементов в отложениях Онежского залива, дают схемы их распределения, где также отмечены исследуемые участки 1,2, и 3 (рис. 14 А, Б).

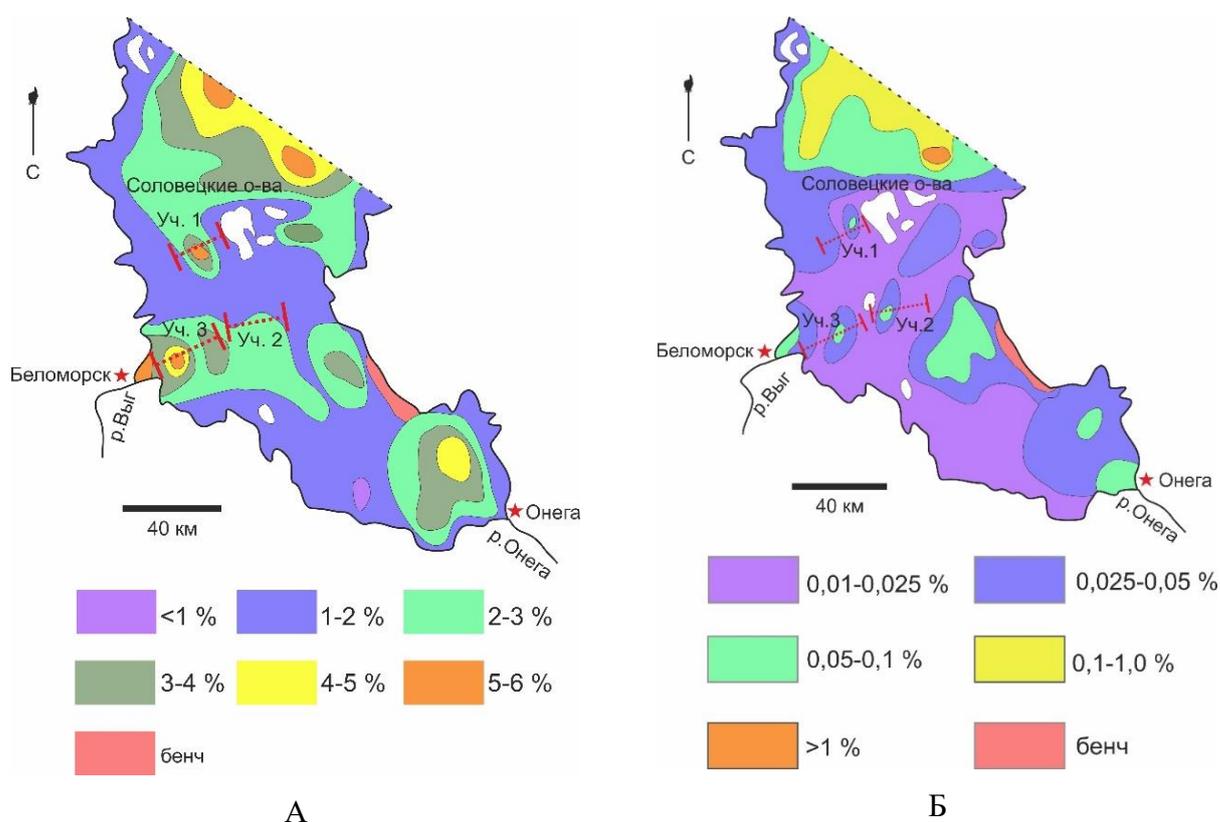


Рисунок 14. А – содержание железа (Fe) в осадках, %, Б – содержание марганца в осадках (Mn), %.

Исследования геохимической характеристики осадков Онежского залива показали что распределения в них содержаний таких элементов как железо, марганец связаны в основном с гранулометрическим составом осадка (Страхов и др., 1954).

В осадках Онежской губы на фоне общих невысоких концентраций железа (1-2%) вырисовываются пятна с повышенными содержаниями (от 2 до 5%), вызванными особым источником питания терригенным материалом (рис. 14 А). Невысокие концентрации отмечаются на большой площади дна в южной части Онежского залива, а также в ее северной части (до Соловецких островов) и составляют 1-2%. Пятна высоких содержаний железа (от 2 до 5% и даже больше 5%) расположены перед устьями рек Онега и Выга (Сорокская губа) и

связанны с привносим железистых взвесей в составе материала, выносимого этими реками. Также отмечается пятно содержаний железа в 2-3% в восточной части губы, связанное с абразионным размывом ледниковых суглинков. Последнее пятно содержаний железа на уровне 4% можно отметить в районе участка 1 – Западно-Соловецкая Салма, связанное с размывом ледниковых отложений к северу от того же острова, вследствие постоянных циркуляций водных масс, а также приливно-отливными течениями.

Распределение марганца в исследуемых осадках имеет много общего с железом. На значительной части залива содержания марганца весьма низкие и составляют 0,01-0,025%, в каких-то местах <0,01%, что является типичными содержаниями для песков. Если принять данные содержания за фоновые, то на карте (рис. 14 Б) можно выделить пятна с более высокими содержаниями от 0,025 до 0,05, от 0,05 до 0,1% и, в редких случаях, выше 0,1%. Участки повышенных содержаний марганца почти полностью совпадают с таковыми у железа, и расположены перед устьями рек Выга (Сорокская губа – участок 3) и Онеги, что связано с речными выносами.

Анализ распределения железа в слое осадков мощностью до 450-500см показал следующее (табл. 1). Самый верхний буро-охристый слой осадков мощностью обычно 5-10 см более обогащен железом и марганцем, чем вся нижележащая многометровая толща осадков. К этому верхнему слою снизу примыкает такой же по мощности или более мощный горизонт, где в осадках отмечается некоторый дефицит данных элементов.

Таблица 1.

Вертикальная геохимическая зональность распределения железа в осадках Белого моря (Составлена по данным Калиненко, 1975)

Геохимические зоны	Мощность, см	Тип осадка	В какой форме присутствует Fe
Окислительная	5 – 10	Верхний слой бурых осадков по всей площади	Fe <sup>+3</sup> (80-100 %) – сопутствует Mn <sup>+4</sup>
			Fe <sup>2+</sup> раств. – небольшое кол-во
			Fe <sup>2+</sup> сульф. – не характерно
Переходная	4 (иногда отсутствует в разрезе)	Буровато-серые осадки	Fe <sup>3+</sup> (5—70 %)
			Fe <sup>2+</sup> раств. (27-38 %)
			Fe <sup>2+</sup> сульф. (0-12 %)
Восстановительная	Изучена до 450 – 500	Зеленовато-серые осадки	Резко преобладает закисные формы Fe.

			Fe <sup>2+</sup> раств. Лептохлоритов и карбонатов (65-96 %)
			Fe <sup>2+</sup> сульф. (1-18 %) – увеличивается к низам разреза.
			Реликты Fe <sup>3+</sup> (10-45 %) – отмечены в верхах этой зоны, исчезают к низам разреза.
			Mn <sup>+2</sup> – только в такой форме.

На основе установленной геохимической зональности распределения железа в исследуемых осадках можно сделать выводы о довольно слабом течении восстановительных процессов в этих осадках. Это можно объяснить относительно низким содержанием в них органического вещества и пониженной концентрацией сульфатов в морской воде. Указанные геохимические черты являются результатом диагенетического перераспределения железа и марганца по вертикали разрезов. Происходит накопление легкоподвижных ионов двухвалентного железа, которые при диагенетическом перераспределении вещества поступают из нижних горизонтов в поверхностный слой осадков и здесь в окислительной зоне переходят в малоподвижную трёхвалентную форму.

#### 4.1.4 Химический состав и минерализация поровых вод в осадках Онежского залива

Изучение основного солевого состава поровой воды донных осадков даёт возможность получить косвенное представление об интенсивности окислительно-восстановительных процессов в них, что также даёт представление о протекании диагенетических процессов в них. Как было показано выше, в исследуемых осадках содержатся новообразования – сульфидные минералы: гидротроиллит и пирит, наличие которых является непосредственным доказательством этих процессов. Их содержание в морских отложениях значительно выше, чем в водно-ледниковых, что указывает на более активный процесс диагенеза в толще морские осадки.

Результаты исследования химического состава и минерализации поровых вод осадков исследуемых отложений Онежского залива, представленные в таблицах 15, 16, 17 выявили основные закономерности в изменении отдельных компонентов поровых вод в разрезе донных осадков (от ледниковых до современных морских), слагающих различные участки (Иванова и др., 1982).

*Ледниковые отложения.* Состав поровых вод характеризует их как хлоридно-натриевый с минерализацией 28,1-29,3 г/л. Физико-химическая обстановка зависит от глубины их залегания под дном моря и мощности перекрывающих осадков. В моренных отложениях Eh составляет – 317-181 mv, и обстановка характеризуется, как восстановительная. Во флювиогляциальных супесчаных отложениях отмечаются положительные значения Eh - + 84 mv, реакция среды близка к нейтральной или к слабо щелочной: рН составляет 7.0-7.3.

*Ледниково-озёрные и ледниково-морские отложения.* Поровые воды в них относятся к хлоридно-натриевому типу. Наблюдаются лишь небольшие изменения в содержании отдельных компонентов, практически не влияющие на её состав. При этом, наблюдаются следующие закономерности: до глубины 25 см (самые верхние горизонты) среда характеризуется, как окислительная (Eh +523 mv, рН -7.04), а на глубине 120-140см – как восстановительная (Eh - 44 mv, рН -7.40). Сравнивая минерализацию поровых вод и минерализацию воды из придонного слоя, можно отметить, что их значения близки между собой. Происходит небольшое изменение с глубиной концентраций натрия и калия, увеличение содержания кальция и уменьшение магния. По колонке наблюдается увеличение биогенных компонентов (концентрации аммония от 0,1 до 15,75 мг/л и кремнезёма от 0,01 до 0,76 мг/л (табл. 15).

*Морские отложения.* По составу воды относятся к хлоридно-натриевому типу, минерализация их изменяется от 27,37 до 30 г/л. Физико-химическая обстановка в зонах стабильного осадконакопления (глубоководные участки) характеризуются как восстановительная: Eh везде имеет отрицательные значения от -241 до -104 mV, рН изменяется от 7,00 до 7,72.

Результаты химических анализов поровой воды этих осадков (табл. 16, 17), их сравнение по отдельным компонентам и по геохимическим коэффициентам с морской водой из придонного слоя свидетельствует об активных процессах сульфатредукции, о существенно увеличении в толще современных морских отложений щелочного резерва. Коэффициент сульфатредукции  $Alk/SO_4^{2-}$  увеличивается от 0,044 мг-экв/л до 0,358 мг-экв/л, щелочной резерв увеличивается в 6 раз от 2,129 до 12,32 мг-экв/л. Изменение в анионном составе поровых вод достаточно интенсивны, изменения в катионном составе, которые характеризуются с помощью коэффициентов метаморфизации  $Ca^{2+}/Mg^{2+}$  и  $Ca^{2+}/Na^+$  менее заметны, хотя отчетливо наблюдается уменьшение магния. Одновременное уменьшение анионного и катионного состава поровых вод морских отложений указывает на тенденцию преобразования хлоридно-натриевого типа поровой воды в гидрокарбонатно-хлоридно-натриевую.

Также, на основании проведённых исследований, были сделаны выводы об увеличении содержания биогенных компонентов от ледниковых к морским осадкам.

Аналогичные закономерности отмечены в изменении щелочного резерва. Щелочной резерв поровых вод изменяется в широких пределах: от 2,22 до 12 мг-экв/л, увеличиваясь от ледниковых отложений к голоценовым (табл. 18). При этом необходимо отметить определенную закономерность: с повышением содержания органического углерода щелочной резерв повышается (табл. 19), что обусловлено более интенсивным развитием окислительно-восстановительных процессов сульфатами и органическим веществом в морских осадках. Это указывает на то, что диагенетические процессы в морских осадках выражены более ярко, чем в водно-ледниковых, но учитывая малое содержание Сорг, как было отмечено выше, эти изменения незначительны по сравнению с южными морями.

Таким образом, анализ содержания органического вещества в донных отложениях, геохимических индикаторов раннего диагенеза, таких как железо, марганец, химический состав и минерализация поровых вод в них, указывает на следующее.

Низкие концентрации органического вещества в донных осадках Онежского залива, слабое развитие аутигенного минералообразования нашли свое отражение и в химическом составе поровых вод. Процессы диагенеза не изменили их химический состав. Во всех случаях видна лишь тенденция к преобразованию хлоридно-натриевых вод в гидрокарбонатно-хлоридно-натриевые.

Это можно объяснить следующими причинами. Ведущим фактором изменения вещества при диагенезе является разложение органических веществ. Данный процесс протекает достаточно интенсивно при непрерывном поступлении кислорода из придонного слоя воды бассейна седиментации, а также за счет редукции богатых кислородом минеральных соединений (к примеру,  $Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$ ) в условиях восстановительной среды. Не взирая на то, что по сравнению с ледниково-морскими осадками содержание сульфидного железа повышено, тем не менее его общее малое содержание в них 1-18% (табл. 1) свидетельствует о слабом течении диагенетических процессов в осадках Онежского залива – редукция железа останавливается в основном на лептохлоритной стадии –  $Fe^{2+}$  раствор Лептохлоритов и карбонатов 65-96 % (табл. 1).

Таким образом, особенности содержания органического вещества в донных отложениях и их изменения от ледниковых к морским, изменение отдельных компонентов поровых вод в разрезе донных осадков, поведение «геохимических индикаторов раннего диагенеза», таких как железо, марганец, позволяют сделать вывод о слабом процессе диагенетического преобразования исследуемых осадков, что подтверждается приведёнными выше данными.

## 4.2 Физико-механические свойства осадков исследуемых участков

### 4.2.1 Физические свойства осадков

Изучение физико-механических свойств осадков исследуемых участков показало следующее (Боровик и др., 1964; Захаров и др., 1989; Прочухан, 1967).

Оценка физических свойств осадков включала определение таких показателей, как плотность ( $\rho$ , г/см<sup>3</sup>), плотность минеральной части ( $\rho_s$ , г/см<sup>3</sup>), плотность скелета ( $\rho_d$ , г/см<sup>3</sup>), естественную влажность ( $W$ , %), влажностей, соответствующих предельным состояниям на границах текучести и раскатывания ( $W_L$  и  $W_p$ ), числа пластичности ( $I_p$ , %). Результаты их определений приведены в таблицах 2-9. Также устанавливалось влияние вещественного состава осадков на их физические свойства, что демонстрируют приведённые ниже графики.

Ледниковые отложения в районе Сумских шхер (табл. 2), проливе Западно-Соловецкая Салма и Центральной части Онежского залива (табл. 2), являются очень плотными: плотность варьирует от 2,22 до 2,25 г/см<sup>3</sup>; характерна невысокая влажность от 8 до 15%; характерна низкая пористость от 18 до 39%.

Таблица 2.

Физические свойства ледниковых отложений, развитых на различных участках Онежского залива

-	Кол-во определений	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$W_e$ , %	$n$ , %
Р-н Сумских шхер	50	2,22-2,25	10-15	-
Западно-Соловецкая Салма	15	-	8-12	18-39
Центральная часть Онежского залива	10	-	10-14	20-24,5

Из данных о физических свойствах ледниковых отложений из таблицы видно, что плотность минеральной части породы достаточно велика и соответствует ее минеральному составу. Плотность и плотность минерального скелета отвечает сложению средней плотности и плотной, что подтверждается низкими значениями пористости. Число пластичности соответствует гранулометрическому составу суглинков.

Таблица 3.

## Физические свойства ледниковых отложений

Параметр	W <sub>e</sub> , %	ρ, г/см <sup>3</sup>	ρ <sub>s</sub> , г/см <sup>3</sup>	ρ <sub>d</sub> , г/см <sup>3</sup>	n	e	W <sub>T</sub>	W <sub>P</sub>	I <sub>n</sub>
Кол-во определений	71	71	70	70	70	70	70	70	70
Среднее арифметическое	II	2,22	2,73	1,94	28	0,382	22	13	9
Среднеквадратичное отклонение	3	0,07	0,09	0,12	5,16	0,08	-	-	-
Медиана	14	2,27	2,73	1,97	28	0,387	22	12	9
Мода	12	2,26	2,73	2,06	27	0,332	21	12	9
Максимальное	18	2,31	2,77	2,07	39	0,470	29	19	13
Минимальное	9	2,01	2,66	1,75	22	0,301	18	10	6

Физические свойства водно-ледниковых осадков представлены в таблицах 2, 3, 4. Как можно судить из таблицы 4 **водно-ледниковые** осадки участка – Западно-Соловецкая Салма характеризуются более высокими значениями плотности и низкими значениями влажности, чем водно-ледниковые осадки участка – Центральная часть Онежского залива.

Таблица 4.

Физические свойства водно-ледниковых осадков (составлена по данным Корвет Н.Г.)

Участок	ρ, г/см <sup>3</sup>	W, %	e	W <sub>L</sub> , %	W <sub>P</sub> , %	I <sub>p</sub> , %
<b>Ледниково-озёрные осадки</b>						
1. Западно-Соловецкая Салма	$\frac{1,78 - 2,08}{11}$	$\frac{24 - 46}{30}$	$\frac{0,67 - 1,20}{6}$	$\frac{19 - 28}{6}$	$\frac{15 - 17}{6}$	$\frac{6 - 14}{6}$
2. Центральная часть Онежского залива	$\frac{1,52 - 1,69}{15}$	$\frac{54 - 84}{48}$	$\frac{1,55 - 2,34}{5}$	$\frac{30 - 56}{16}$	$\frac{16 - 30}{16}$	$\frac{14 - 28}{16}$
<b>Ледниково-морские осадки</b>						
1. Западно-Соловецкая Салма	$\frac{1,78 - 1,90}{10}$	$\frac{38 - 48}{20}$	$\frac{0,96 - 1,24}{10}$	$\frac{34 - 45}{8}$	$\frac{21 - 26}{8}$	$\frac{13 - 19}{8}$
2. Центральная часть Онежского залива	$\frac{1,46 - 1,82}{10}$	$\frac{42 - 85}{20}$	$\frac{1,13 - 2,46}{10}$	$\frac{35 - 48}{10}$	$\frac{16 - 26}{10}$	$\frac{13 - 25}{10}$

В числителе указаны значения количества определений, в знаменателе – число определений.

Анализ влияния гранулометрического состава этих осадков на их физическое состояние показал, что и для ледниково-озёрных и ледниково-морских осадков характерно следующее.

Установлена четкая зависимость увеличения влажности, влажности на границе текучести, влажности на границе раскатывания и числа пластичности от содержания глинистых частиц в осадке (рис. 15). В тоже время, с увеличением глинистых частиц происходит уменьшение плотности грунта и плотности скелета грунта, при этом, происходит увеличение значений коэффициента пористости (рис. 16).

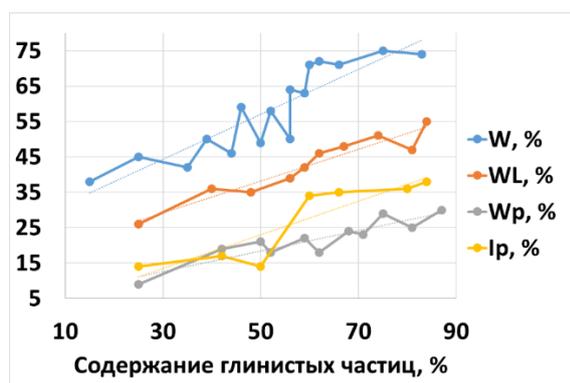


Рисунок 15. График влияния гранулометрического состава водно-ледниковых отложений на их физические свойства, где:  $W$  – влажность, %  $W_L$  – влажность на границе текучести, %  $W_p$  – влажность на границе раскатывания, %  $I_p$  – число пластичности, %.

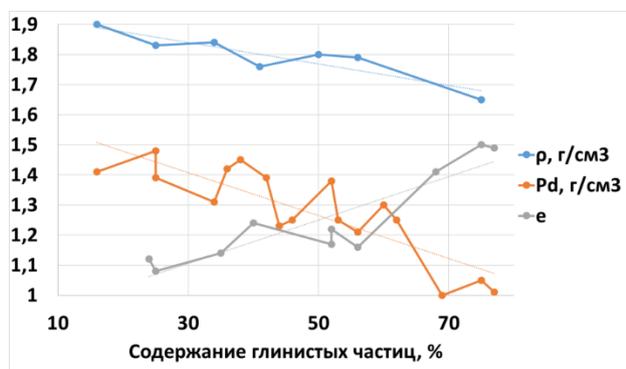


Рисунок 16. График влияния гранулометрического состава водно-ледниковых отложений на их физические свойства, где:  $\rho$  – плотность грунта, г/см<sup>3</sup>  $\rho_d$  – плотность скелета грунта, г/см<sup>3</sup>,  $e$  – коэффициент пористости.

Исследование физического состояния **морских** осадков на всех трех участках показывает, что осадки участка – Западно-Соловецкая Салма также характеризуются более высокими значениями плотности и более низкими значениями влажности, чем на других участках (табл. 5).

Таблица 5.

Физические свойства морских осадков (составлена по данным Корвет Н.Г.)

Место отбора проб	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	W, %	e	W <sub>L</sub> , %	W <sub>p</sub> , %	I <sub>p</sub> , %
Западно-Соловецкая Салма	$\frac{1,37 - 1,76}{46}$	$\frac{46 - 123}{46}$	$\frac{1,36 - 3,59}{26}$	$\frac{30 - 65}{46}$	$\frac{15 - 29}{46}$	$\frac{13 - 36}{46}$
Центральна часть Онежского залива	$\frac{1,29 - 1,72}{46}$	$\frac{67 - 143}{164}$	$\frac{2,02 - 9,81}{22}$	$\frac{37 - 72}{30}$	$\frac{20 - 36}{30}$	$\frac{11 - 48}{30}$
Сорокская губа	$\frac{1,27 - 1,72}{45}$	$\frac{55 - 144}{74}$	$\frac{1,16 - 3,64}{44}$	$\frac{31 - 80}{52}$	$\frac{20 - 65}{52}$	$\frac{11 - 40}{52}$

В числителе указаны значения количества определений, в знаменателе – число определений.

Анализ влияния вещественного состава на физическое состояние морских отложений, показал, что оно обусловлено содержанием в них органического вещества, что демонстрируют графики изменения их физических свойств от содержания органического вещества (рис. 17 А, Б).

Также отмечается, что с увеличением содержания органического вещества, в отложениях Сорокской губы немного увеличиваются показатели влажности естественной (W, %), на границе текучести (W<sub>L</sub>, %) на границе раскатывания (W<sub>p</sub>, %) и число пластичности (I<sub>p</sub>, %). Для Западно-Соловецкой Салмы данные показатели возрастают значительно (Рис. 17 А, Б).

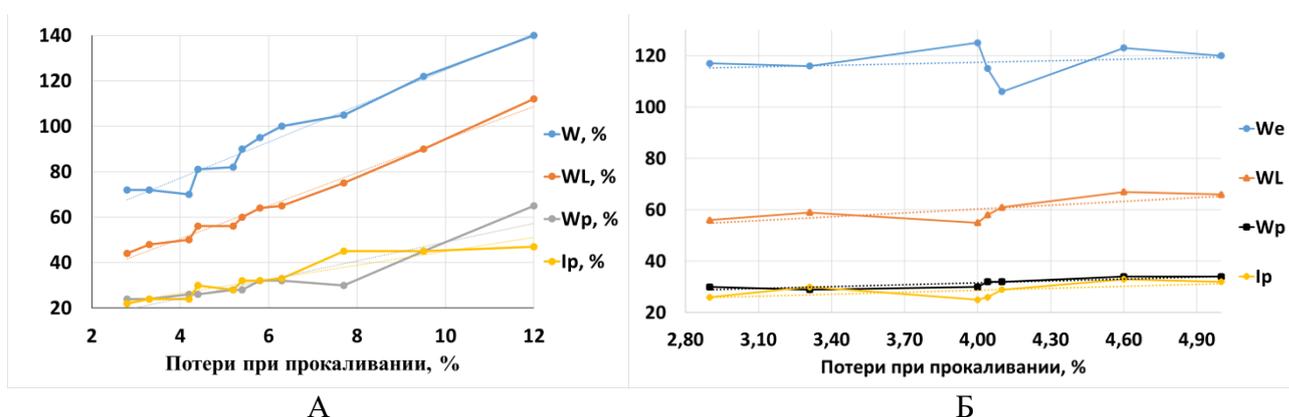


Рисунок 17. Зависимость изменения показателей влажности (We); влажностей, соответствующих предельным состояниям на границах текучести и раскатывания (W<sub>L</sub> и W<sub>p</sub>), числа пластичности (I<sub>p</sub>) от содержания органического вещества в морских донных отложениях (А – участок Западно-Соловецкая Салма, Б- участок Сорокская губа).

На графиках ниже (рис. 18 А, Б) представлена зависимость изменения показателя консистенции (текучести) от содержания органического вещества в морских донных отложениях, которая демонстрирует уменьшение показателя консистенции (текучести) с ростом содержания органического вещества.

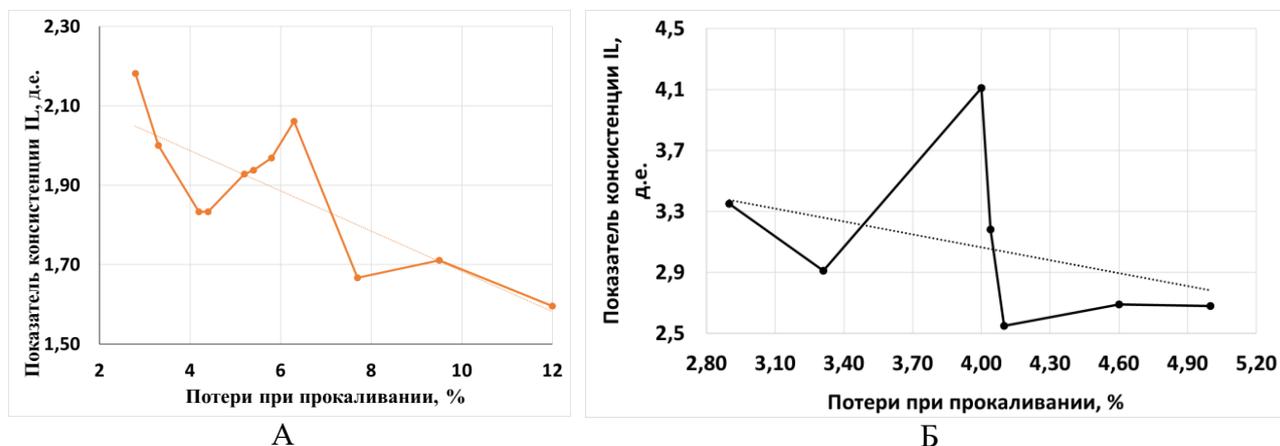


Рисунок 18. Зависимость изменения показателя консистенции (текучести) от содержания органического вещества в морских донных отложениях (А – участок Западно-Соловецкая Салма, Б- участок Сорокская губа).

На графиках ниже (рис. 19 А, Б) видно, что с увеличением содержания органического вещества в отложениях Сорокской губы наблюдается небольшое уменьшение плотности грунта и плотности скелета грунта, тогда как для Западной Соловецкой Салмы также эти значения уменьшаются куда значительнонее.

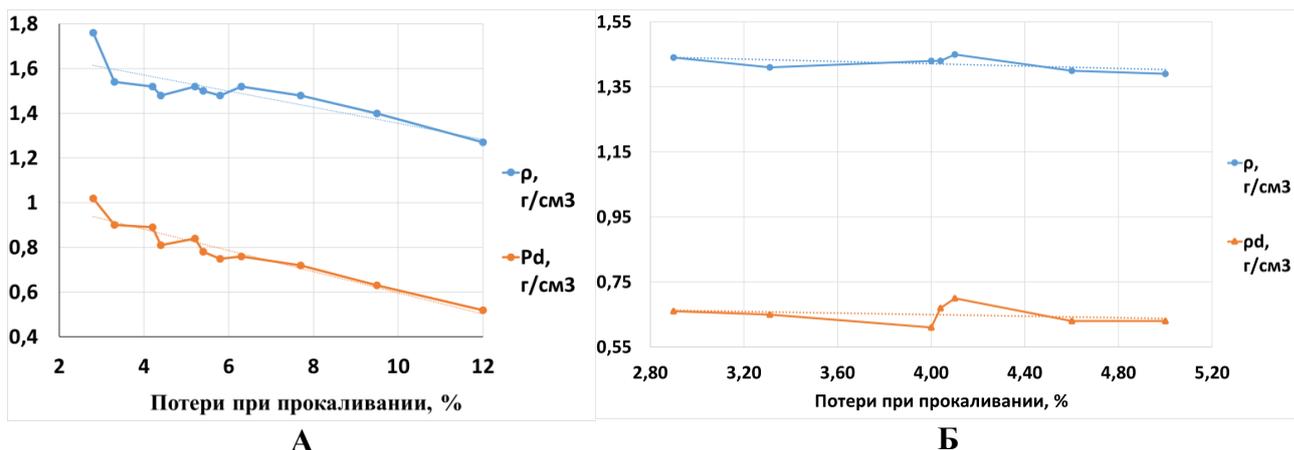


Рисунок 19. Зависимость изменения показателей плотности  $\rho$ , г/см<sup>3</sup> и плотности скелета грунта  $\rho_d$ , г/см<sup>3</sup> от содержания органического вещества в морских донных отложениях (А – участок Западно-Соловецкая Салма, Б- участок Сорокская губа).

Для оценки устойчивости консистенции для отложений исследуемых участков производился расчёт показателя их относительной влажности ( $W_{отн} = W/W_L$ ), позволяющий судить об относительной дегидратированности отложений.

Если  $W_{отн}$  больше единицы, то грунты являются сильно влажными, в избытке содержат свободную воду и при нарушении естественного сложения приобретают текучую консистенцию. Чем меньше этот показатель, тем более дегидратирован грунт, тем более устойчива его консистенция (Ломтадзе, 1984). Оценка значений этого показателя для исследуемых отложений показала, что он больше единицы (табл. 5), и указывает, что отложения в избытке содержат свободную воду, и при нарушении естественного сложения приобретают текучую консистенцию.

Как установлено многими исследованиями, на пластичность глинистых грунтов значительное влияние оказывает минеральный состав тонкодисперсной (глинистой) части и активное взаимодействие её с водой. Связь между составом глинистых грунтов, их коллоидно-химическими свойствами и пластичностью, выражает показатель коллоидной активности ( $A_k$ ), который характеризует относительное содержание в тонкодисперсной части глинистой породы минералов с различной коллоидно-химической активностью.  $A_k = I_p/M_c$ , где  $M_c$  – содержание глинистых частиц (<0.002 мм),  $I_p$  – число пластичности грунта. По данному показателю производят классификацию грунта, пользуясь таблицей 6.

Высокая коллоидная активность характерна для высокоактивных гидрофильных глин, обычно монтмориллонитовых, а низкая коллоидная активность – для неактивных, слабогидрофильных глин, обычно каолинитовых (Ломтадзе, 1984).

Таблица 6.

Классификация глинистых грунтов по показателю коллоидной активности

Значение показателя $A_k$	$A_k > 1,25$	$1,25 > A_k > 0,75$	$A_k < 0,75$
Коллоидная активность грунта	высокая	средняя	низкая

В связи с этим, производилась оценка этого показателя для отложений исследуемых участков, результаты которой приведены ниже в таблицах 7, 8, 9. Как показывает оценка показателя активности ( $A_k$ ), его значения различаются для исследуемых отложений, как на различных участках, так и в пределах участков на разных глубинах отбора образцов.

Таблица 7.

Показатель коллоидной активности отложений участка 1 (Западно-Соловецкая Салма)  
(составлена по данным Корвет Н.Г.)

Точки отбора пробы	Глубина взятия образца	Mc, %	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	W, %	W <sub>L</sub> , %	W <sub>p</sub> , %	A <sub>к</sub>	W <sub>отн</sub> , %	I <sub>L</sub> , д.е.	I <sub>p</sub> , %
1	10	45	1,75	55	42	21	0,89	1,39	1,62	21
2	23	43	1,65	53	41	22	0,95	1,32	1,63	19
3	50	46	1,75	54	40	21	0,93	1,45	1,74	19
4	90	45	1,77	56	42	18	0,89	1,41	1,58	24
5	160	36	1,75	55	36	24	0,45	1,54	2,58	12
6	220	56	1,60	74	47	22	0,81	1,74	2,08	25
7	245	68	1,55	100	45	22	0,62	2,39	3,39	23
8	280	64	1,53	97	54	23	0,75	1,85	2,39	31

Как показывает оценка показателя A<sub>к</sub> (табл. 7), его значения практически во всех случаях находится в промежутке 1,25 - 0,75 и указывают на среднюю коллоидную активность исследуемых глинистых отложений, а также на средний потенциал набухания. Эти данные также подтверждаются наличием в минеральном составе гидрослюд (рис. 6). Из общего ряда выделяется одно значение в точке 5, в ней показатель A<sub>к</sub> меньше 0,75, что указывает на низкую коллоидную активность глинистых отложений, а также на низкий потенциал набухания. Это можно объяснить повышением содержания каолинита в составе.

Анализируя показатель текучести грунта (I<sub>L</sub>), который во всех образцах больше единицы, определяем состояния грунтов как текучее (ГОСТ-25100-2011). Как видно из таблицы 7, показатели консистенции исследуемых грунтов выше единицы, достигая значений 3.39.

Анализируя данные можно отметить повышение значений показателя текучести в интервале точек 5-8 (до 3,39 д.е.), а также общую тенденцию возрастания данного показателя с глубиной. В интервале точек 6-8 это обуславливается высокими значениями естественной влажности (от 74 до 100 %). В пределах точек 6-8 отмечается увеличение содержания глинистых частиц (от 56 до 68%), а также уменьшение плотности грунта (от 1,60 до 1,53 г/см<sup>3</sup>).

Анализируя показатель текучести грунта (I<sub>L</sub>), который во всех образцах больше единицы, определяем состояния грунтов как текучее (ГОСТ-25100-2011). Как видно из таблицы 7 показатели консистенции исследуемых грунтов намного выше единицы. В точке 1 отмечается очень высокий показатель текучести (3,80 д.е.), связанный в данной точке с

высокой влажностью (125 %). Также в точке 5 наблюдается повышенное содержание глинистых частиц (75 %) и повышенная плотность (1,50 г/см<sup>3</sup>).

Таким образом, основная часть рассмотренных отложений участка 1 характеризуется средней коллоидной активностью и средним потенциалом набухания. Лишь для одной точки отмечается низкая коллоидная активность и низкий потенциал набухания.

Таблица 8.

Показатель коллоидной активности отложений участка 2 (Центральная часть Онежского залива) (составлена по данным Корвет Н.Г.)

Точки отбора образца	Глубина взятия пробы	Мс, %	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	W, %	W <sub>L</sub> , %	W <sub>p</sub> , %	Потери при прокаливании	Ак	W <sub>отн</sub> , %	I <sub>L</sub> , д.е.	I <sub>p</sub> , %
1	30	55	1,40	125	55	30	4	0,44	2,27	3,80	25
2	75	65	1,37	120	66	34	5	0,49	1,82	2,69	32
3	95	53	1,42	116	59	34	4,3	0,5	1,98	3,28	25
4	135	57	1,40	122	65	32	4,7	0,55	1,84	2,73	33
5	150	75	1,50	123	56	25	3,7	0,45	2,07	3,16	31
6	165	55	1,40	117	57	28	3,8	0,52	1,97	3,07	29
7	200	60	1,42	108	62	31	4	0,48	1,74	2,48	31

Для глинистых отложений участка 2 (Центральная часть Онежского залива) значения показателя Ак во всех точках меньше 0,75, что свидетельствует о низкой коллоидной активности, а также о низком потенциале набухания. Это может свидетельствовать о повышенном содержании в составе осадка каолинита, который отмечается в осадках на рентгенограммах (рис. 4, 5).

Анализируя показатель текучести грунта (I<sub>L</sub>), который во всех образцах больше единицы, определяем состояния грунтов как текучее (ГОСТ-25100-2011). Как видно из таблицы 8 показатели консистенции исследуемых грунтов намного выше единицы, что согласуется с показателем относительной влажности, характеризующим эти отложения, как отложения с неустойчивой консистенцией. В точке 1 отмечается очень высокий показатель текучести (3,80 д.е.), связанный в данной точке с высокой влажностью (125 %) и одновременно небольшим числом пластичности (25 %).

Также в точке 5 наблюдается повышенное содержание глинистых частиц (75 %) и повышенная плотность (1,50 г/см<sup>3</sup>).

Таким образом, все рассмотренные отложения участка 1 характеризуется низкой коллоидной активностью и низким потенциалом набухания, а состояние грунтов характеризуется как текучее.

Таблица 9.

Показатель коллоидной активности отложений участка 3 (Сорокская губа) (Составлена по данным Корвет Н.Г.)

Точки отбора образца	Глубина взятия образца	Мс, %	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	W, %	W <sub>L</sub> , %	W <sub>p</sub> , %	Потери при прокаливании	Ак	W <sub>отн</sub> , %	I <sub>L</sub> , д.е.	I <sub>p</sub> , %
1	1,1-1,4	65	1,48	97,2	61	28	5,6	0,5	1,39	2,10	33
2	1,3-1,7	75	1,46	109	63	31	5,8	0,43	1,73	2,44	32
3	1,4-1,8	75	1,5	98,9	56	31	5,7	0,33	1,77	2,72	25
4	1,9-2,3	32	1,27	144,3	112	65	11,5	1,47	1,29	1,69	47
5	2,3-2,7	63	1,42	116,5	55	31	5,1	0,38	2,12	3,56	24
6	2,5-2,8	70	1,49	91,1	53	27	5	0,37	1,72	2,47	26
7	2,5-2,9	71	1,52	94,6	50	26	5,6	0,48	1,89	2,86	24
8	3,1-3,4	49	1,52	93,3	54	28	5,3	0,53	1,73	2,51	26
9	3,3-3,7	69	1,42	112,5	66	33	4,6	0,48	1,7	2,41	33
10	3,7-4,0	60	1,57	73,3	48	24	3,3	0,4	1,53	2,05	24
11	4,1-4,5	44	1,5	103,2	55	27	6,4	0,64	1,88	2,72	28
12	4,4-4,8	72	1,44	104,7	65	33	6,4	0,44	1,61	2,24	32
13	4,8-5,2	55	1,48	87,2	80	31	12	0,89	1,09	1,15	49
14	5,0-5,3	71	1,45	95,8	58	32	5,3	0,37	1,65	2,45	26

Для глинистых отложений участка 3 (Сорокская губа) значения показателя Ак в подавляющем большинстве точек меньше 0,75, что свидетельствует о низкой коллоидной активности, а также о низком потенциале набухания (табл. 9). Это может говорить о повышенном содержании в составе осадка каолинита, который отмечается по рентгенограммам (рис. 4, 5).

Из общего ряда выделяются два значения - в точках 4 и 13. В точке 4 показатель Ак больше 1,25, что указывает на высокую коллоидную активность глинистых отложений, а также высокий потенциал набухания. Это указывает на присутствие в составе монтмориллонита и гидрослюд, что подтверждается по графику кривых нагревания на рисунке 6 и рентгенограмме на рисунках 4,5. Также, в данной точке это можно связать с довольно низким процентом глинистых частиц (Мс=32%) в пробе и, одновременно, довольно большим числом пластичности (I<sub>p</sub>=47%).

В точке 13 показатель Ак находится в промежутке 0,75 – 1,25, что указывает на среднюю активность глинистых отложений и средний потенциал набухания. В данной точке на данный показатель оказывает влияние только большое число пластичности (I<sub>p</sub>=49%).

Анализируя показатель консистенции (текучести) грунта (I<sub>L</sub>), который во всех образцах больше единицы, определяем состояния грунтов как текучее (ГОСТ-25100-2011). Как видно

из таблицы 9 показатели консистенции исследуемых грунтов практически во всех точках больше 2 д.е., кроме точек 4 и 13, в которых данный показатель составляет 1,69 д.е. и 1,09 д.е. соответственно. В точках 4 и 13 это объясняется высокой естественной влажностью (144,3 и 87,2 % соответственно) и одновременно большим числом пластичности (47 и 49 % соответственно). Также в точках 4 и 13 наблюдается большой процент потерь при прокаливании (11,5 и 12 % соответственно), что указывает на увеличение содержания органического вещества, способствующее повышению влажности.

Таким образом, основная часть рассмотренных отложений участка 3 характеризуется низкой коллоидной активностью и низким потенциалом набухания. Для незначительной части исследуемых отложений характерна высокая и средняя коллоидная активность. Также, все исследование отложения характеризуют состояние грунтов как текучее.

#### 4.2.2 Механические свойства осадков исследуемых участков

Ледниковые отложения, развитые в районе Сумских шхер, характеризуются достаточно высокими прочностными показателями: угол внутреннего трения в среднем составляет  $39^\circ$ , модуль общей деформации  $4 \cdot 10^7$  Па. Результаты испытаний моренных суглинков на сдвиг естественной влажности и сложения (табл. 10) и результаты на сдвиг этих же суглинков, предварительно уплотненных под водой (табл. 11), сходны, что указывает на хорошую водоустойчивость морены.

Таблица 10.

Результаты испытаний на сдвиг моренных суглинков естественной влажности и сложения (без предварительного уплотнения) (составлено по результатам лабораторных испытаний СПБГИ (ЛГИ))

Значения	$\tau$ ( $10^5$ Па) при $\delta$ $10^5$ Па)				
	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
Кол-во определений	П	58	33	46	27
Медиана	0,35	1,20	1,13	1,50	1,90
Максимальное	0,68	2,61	2,95	2,93	3,05
Минимальное	0,17	0,21	0,40	0,60	0,37

Таблица 11.

Результаты испытаний на сдвиг моренных суглинков, предварительно уплотненных под водой

Значения	$\tau$ ( $10^5$ Па) при $\delta$ $10^5$ Па)		
	2	4	6

Кол-во определений	9	II	II
Медиана	1,28	1,88	2,64
Максимальное	2,72	3,36	5,0
Минимальное	0,64	0,86	1,0

Результаты компрессионных испытаний показали, что морена слабо и средне сжимаема (табл. 12).

Таблица 12.

Компрессионные свойства моренных суглинков

Значения	Коэффициент относительной сжимаемости, % (в интервале нагрузки $10^5$ Па)						
	0,0-0,5	0,5-1,0	1,0-2,0	2,0-3,0	3,0-4,0	4,0-5,0	5,0-6,0
Кол-во определений	19	19	19	19	19	19	19
Среднее арифметическое	0,71	0,31	2,48	3,18	3,70	4,19	4,62
Медиана	0,51	1,59	2,11	2,71	3,55	3,94	4,05
Мода	-	-	1,10	2,71	-	-	-
Максимальное	1,95	2,76	4,52	5,71	5,74	6,66	7,60
Минимальное	0,00	0,00	0,84	1,25	1,55	1,95	2,20

Приведённые ниже значения характеристик физического состояния (влажность, плотность, пористость, показатели консистенции) ледниково-морских и морских отложений на всех участках, показали, что они являются высокодисперсными отложениями, изучение механических свойств которых проводить стандартными методами практически невозможно. При оценке их прочности, которая очень незначительная, для таких грунтов нецелесообразно разделение их сдвигу на трение и сцепление. В связи этим, в лабораторных условиях для оценки прочностных характеристик определялось условное предельное сопротивление сдвигу –  $P_m$  (пластическая прочность) методом пенетрации, посредством погружения в грунты конуса (Ломтадзе, 1984.). Результаты определений приведены в таблице 13.

Таблица 13.

Результаты определения условного предельного сопротивления сдвигу ( $P_m$ ) в донных отложениях исследуемых участков (составлена по данным Корвет Н.Г.)

Участок	Условное предельного сопротивление сдвигу ( $P_m$ ), кПа		Индекс чувствительности	Количество определений
	Ненарушенного	Нарушенного		
			-	-

	сложения	сложения		
<b>Морские отложения</b>				
Западно-Соловецкая Салма	39	9-20	1,8-4,2	15
Центральная часть Онежского залива	19	6-7	1,5-4,8	20
<b>Ледниково-морские отложения</b>				
Западно- Соловецкая Салма	38	13-27	1,5-2,6	20
Центральная часть Онежского залива	22	9-13	1,2-2,8	20

Как можно судить по приведённым в таблице данным, они характеризуют исследуемые отложения, как грунты очень низкой прочности.

Также производился расчёт индекса чувствительности (коэффициента структурной прочности), представляющий отношение прочности на одноосное сжатие (в данном случае для слабых грунтов – прочность при внедрении конуса) грунтов естественного сложения и влажности к прочности грунтов нарушенного сложения (табл. 14). Он характеризует влияние нарушения естественного сложения и структурных связей глинистых грунтов на консистенцию и прочность, и классифицирует грунты в соответствии с данными таблицы 14 (Ломтадзе, 1984.).

Таблица 14.

Классификация грунтов по показателю чувствительности

Показатель чувствительности грунта ( $I_F$ )	Классификация грунта
2-4	Грунт средней чувствительности
4-8	Чувствительный грунт
>8	Очень чувствительный грунт

Индексы чувствительности ледниково-морских отложений на участках Западно-Соловецкой Салмы и Центральной части Онежского залива весьма схожи и находятся в пределах от 1,8 до 4,8. Это характеризует данные отложения как чувствительные и средне

чувствительные и указывает на значительно влияние нарушения естественного сложения и структурных связей в них на консистенцию и прочность (табл. 13).

Индексы чувствительности морских отложений на участках Западно-Соловецкой Салмы и Центральной части Онежского залива также схожи между собой и находятся в пределах от 1,5 до 2,8. Это характеризует данные отложения как грунты низкой и средней чувствительности, что указывает на влияние нарушения естественного сложения и структурных связей в них на консистенцию и прочность в несколько меньше степени, чем в предыдущих отложениях (табл. 13).

Таким образом оценка физического состояния и механических свойств всех исследуемых отложений, показала, что они являются высокодисперсными отложениями слабой степени литификации.

## **Глава 5. Формирование инженерно-геологических особенностей донных отложений исследуемых участков**

### **5.1 Особенности формирования свойств горных пород**

#### **5.1.1 Основные факторы, влияющие на формирование физико-механических свойств горных пород**

Необходимость изучения закономерностей формирования свойств горных пород определяется постановкой инженерно-геологических исследований для целей строительной практики, разработки месторождений полезных ископаемых, охраны окружающей среды и многих других. Их знание позволяет решить многочисленные задачи, основные из которых позволяют оценивать прочность и устойчивость горных пород с целью прогноза условий строительства сооружений или улучшения территорий, а также учитывать возможность проявления современных геологических процессов. Кроме того, знание особенностей формирования свойств пород, помогает в разработке методики улучшения их свойств и определении рационального состава и методики их лабораторных и полевых исследований.

При этом важно учитывать, что формирование физического состояния и свойств горных пород происходило в течение длительного времени под воздействием многочисленных факторов, которые и обусловили их современный вещественный состав и физико-механические свойства. К этим факторам относятся следующие:

- 1) Способ и условия образования горных пород, которые определяют их структуру, текстуру, петрографический тип условия и форму залегания;
- 2) Вещественный состав, структура, текстура, сложение, характер и прочность структурных связей, влияющие на физико-химическую активностью горной породы при взаимодействии с окружающей средой.
- 3) Приуроченность горных пород к складчатой области, платформе, глубине залегания в земной коре, определяющее их естественное напряженное состояние и степень нарушенности залегания;
- 4) Физико-географические условия, в которых находятся горные породы, которые определяют их влажностный и температурный режим, гидрогеологических условия, характер и интенсивность экзогенных процессов;
- 5) Геологические процессы, под воздействием которых горные породы постоянно подвергаются изменениям;

- 6) Техногенные факторы, возникающие при разработке месторождений полезных ископаемых, при осушении и изменении влажностного режима, при усилении или ослаблении действий подземных и поверхностных вод, изменении температурного режима горных пород;
- 7) Физическое состояние горных пород (естественная влажность, плотность, пористость, трещиноватость и другие) (Ломтадзе, 1984).

### **5.1.2 Особенности диагенетического изменения субаквальных осадков**

В процессе формирования осадочных пород, (с аккумуляции осадков до их изменения) выделяются две стадии – диагенез и катагенез. Изменение осадков субаквального и субаэрального происхождения имеет свои особенности и различия, которые отражаются и на формировании их инженерно-геологических особенностей (строительных свойств).

При диагенезе осадков субаквального происхождения изменяются их состав, состояние и свойства, которые развиваются одновременно, но различаются по своему характеру. Физико-химическая обстановка в зоне диагенеза глинистых осадков резко отличается от обстановки в слоях воды над осадками. Осадки характеризуются высокой влажностью (90-100% и более), и в них происходит развитие разнообразных бактерий, активизируются различные геохимические процессы. Характерной их чертой является высокая концентрация в поровой воде ряда химических элементов, во много раз превышающая содержание их в слое воды близь дна.

Также, важными характеристиками физико-химической обстановки современных глинистых осадков являются окислительно-восстановительный показатель  $Eh$  и показатель кислотно-щелочных условий  $pH$ . В самых верхних горизонтах осадков, на глубине до 25 см, среда окислительная ( $Eh$  от +300 до 0), ниже становится все более восстановительной ( $Eh$  до -500). Наиболее низкие значения  $Eh$  отмечаются в верхних десятках сантиметров восстановительной зоны. Активная реакция  $pH$  осадков также значительно отличается от активной реакции вод бассейна.  $pH$  осадков всегда несколько выше  $pH$  наддонной воды. Воды морей и океанов обычно имеют щелочную реакцию ( $pH=7,8-8,2$ ). Таким образом, свежееотложившиеся глинистые осадки попадают в обстановку новую, своеобразную в физико-химическом отношении. Это предполагает их диагенетическое изменение.

Если создаются фациальные и гидродинамические условия, при которых происходит аккумуляция только грубообломочного материала (щебнистый, гравелистый, песчаный), который отличается малой дисперсностью, малой удельной поверхностью, хорошей водопроницаемостью, физико-химические условия в толще осадка мало отличаются от наддонных условий бассейна, диагенетические процессы протекают здесь своеобразно. В результате волноприбойных явлений материал перемывается и переотлагается, а также

происходит его дробление и перетираание. Гидродинамические процессы способствуют более плотной укладке осадка (т.е. более плотного сложения), так как создаются колебательные движения в осадках. В данных условиях преобладают механические процессы, которые мало сказываются на изменении вещественного состава осадка. Такие процессы диагенеза протекают в небольшом слое осадков, здесь зона диагенеза составляет единицы метров.

Наиболее существенные изменения при диагенезе претерпевают глинистые осадки. Попадая в зону диагенеза, они образуют микроагрегаты в результате прилипания минеральных частиц друг к другу под влиянием сил взаимного притяжения, склеивания их коллоидными пленками или цементация осадка. В результате этого процесса изменяется степень дисперсности осадка, его гранулометрический состав и, соответственно, влагоемкость, водопроницаемость и другие свойства. Также изменяется минеральный состав глинистых осадков. В их составе основная масса породобразующих глинистых минералов имеет терригенное происхождение. Эти глинистые минералы могут разрушаться и переходить в новые, попадая в новые физико-химические условия. Одновременно с этим в результате диагенеза могут образовываться новые минералы. Важное значение в формировании минерального состава глинистых осадков имеет органическое вещество.

В период накопления глинистых осадков в водном бассейне свободная вода в них преобладает над связанной, и их влажность составляет около 90-100% и более. При данной влажности глинистые осадки находятся в сильно гидратированном состоянии (текущем или скрытотекущем). К низам разреза влажность осадков заметно уменьшается. Дегидратация глинистых осадков начинается обычно с момента их отложения и состоит в высвобождении сначала свободной, а затем и физически связанной воды, в переходе ее в свободную. Этому способствует возникновение и развитие явлений синерезиса – сближения частиц под влиянием поверхностных сил при частичном вытеснении воды.

Дегидратация осадка вызывает изменение его физического состояния и свойств. В самых приповерхностных горизонтах осадки имеют очень высокую влажность, которая с глубиной уменьшается. В результате потери осадками значительного количества свободной воды при уплотнении, структурные связи их упрочняются и придают им некоторую прочность и устойчивость. При нарушении естественного сложения, при механическом разрушении структурных связей они переходят в текучее состояние без изменения влажности. Также изменяется пористость осадков: в самых приповерхностных горизонтах она достигает 85%, а с глубиной 4 метра она становится меньше 70%. Изменяется и плотность: от 1,2 до 1,5 г/см<sup>3</sup>. В результате диагенеза осадки теряют значительное количество влаги, уменьшается их пористость, возникают и постепенно упрочняются структурные связи.

Одновременно с изменением состояния глинистых осадков изменяются и их свойства. В зоне диагенеза современных глинистых осадков с глубиной уменьшается их пористость и, соответственно, увеличивается плотность, прочность и уменьшается сжимаемость.

Таковы основные закономерности изменения вещественного состава и физико-механических свойств глинистых отложений в зоне диагенеза – их диагенетического преобразования (Ломтадзе, 1984).

## **5.2 Формирование физико-механических свойств глинистых отложений исследуемых участков Онежского залива**

В главе 2 были рассмотрены основные факторы, влияющие на формирование инженерно-геологических условий рассматриваемой территории, которые определили её значительную неоднородность, и отдельные её участки существенно различаются между собой по инженерно-геологическим условиям. Особенности распространения, форма и залегание донных отложений в пределах Онежского залива чётко указывают, что процесс седиментации на разных участках залива был разнообразным (глава 3). Это сказалось на формировании различных групп осадков со своим вещественным составом, строением и свойствами на разных участках.

Исходя из этого, на примере исследуемых участков (рис. 20), каждый из которых имеет характерные особенности инженерно-геологических условий, рассмотрены схемы формирования физико-механических свойства отложений, которые их слагают. Учитывая, что одной из задач, поставленных в работе, является исследование закономерностей диагенетического преобразования осадков, основное внимание уделено формированию свойств глинистых разностей, в которых этот процесс протекает более явно.

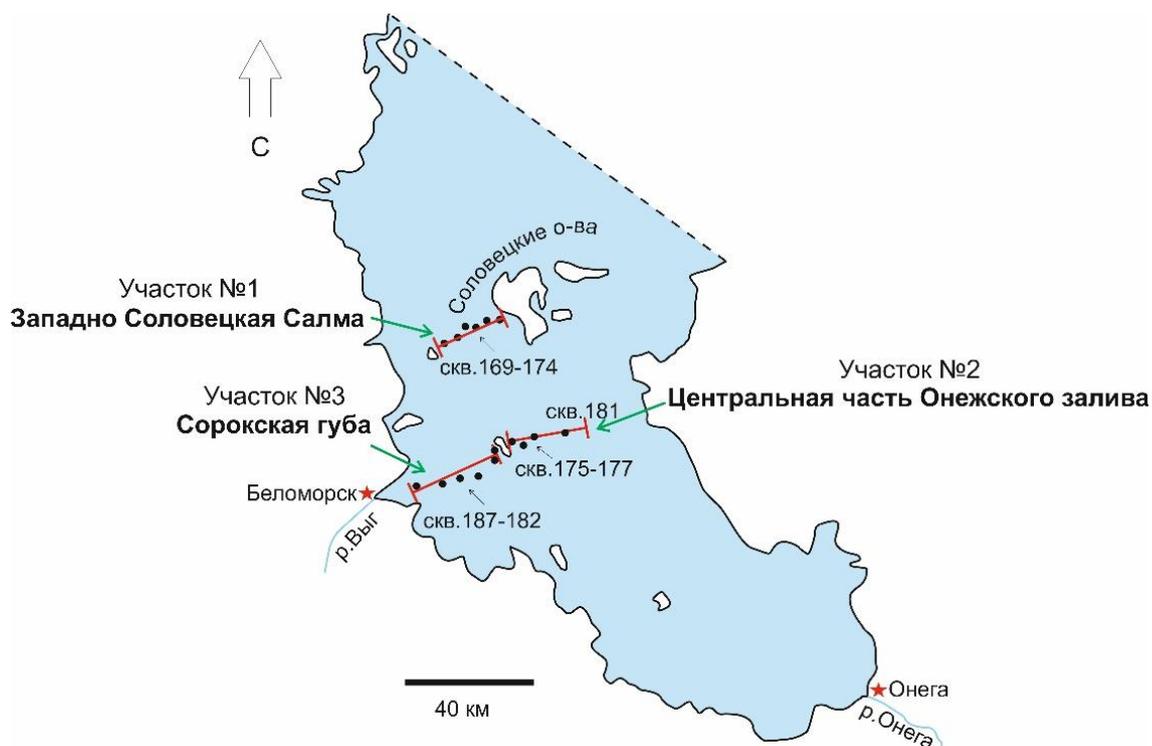


Рисунок 20. Расположение исследуемых участков в пределах Онежского залива.

#### Участок 1

На участке 1, представляющего собой пролив в Северо-Западной части залива, инженерно-геологические условия резко отличаются от исследуемых участков 2 и 3. Его разрез до глубины опробования (6-7 метров) представлен толщей морских и водно-ледниковых осадков (рис. 21)

На рисунке 22 представлен схематический разрез верхней части отложений с показателями содержания органических и химических компонентов (по данным Невесского Е. Н.)

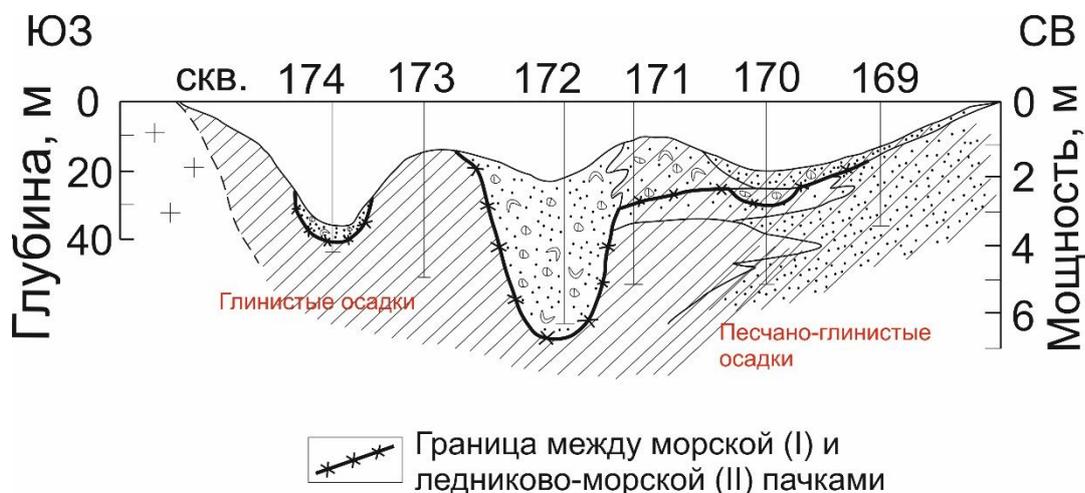


Рисунок 21. Схематический геологический разрез участка 1 – Западно-Соловецкая Салма (I - граница между морской и ледниково-морской толщей, II - граница с базальным основанием).

На этом участке толща глинистых осадков на больших глубинах моря фациально переходит в толщу более грубозернистых осадков в направлении острова Соловецкий. На меньших глубинах осадки представлены мелкозернистыми песками с галькой.

Особенности их вещественного состава детально рассмотрены в главе 4, где отмечено, что разрез отличается значительной неоднородностью и контролируется в значительной степени условиями формирования, связанными с влиянием гидродинамического режима (влиянием придонных течений) существовавшего в период их образования. В отличие от участков 2 и 3, в составе верхней части глинистых осадков отмечено уменьшение содержания глинистых частиц, указывающего на более активную гидродинамическую обстановку. В тоже время с глубиной увеличивается содержание глинистых частиц при уменьшении пылеватых и песчаных, что объясняется, по-видимому, уменьшением скоростей течения с глубиной (рис. 7, 10).

На рисунке 22 представлен схематический разрез верхней части отложений с показателями содержания органических и химических компонентов (по данным Невесского Е. Н.)

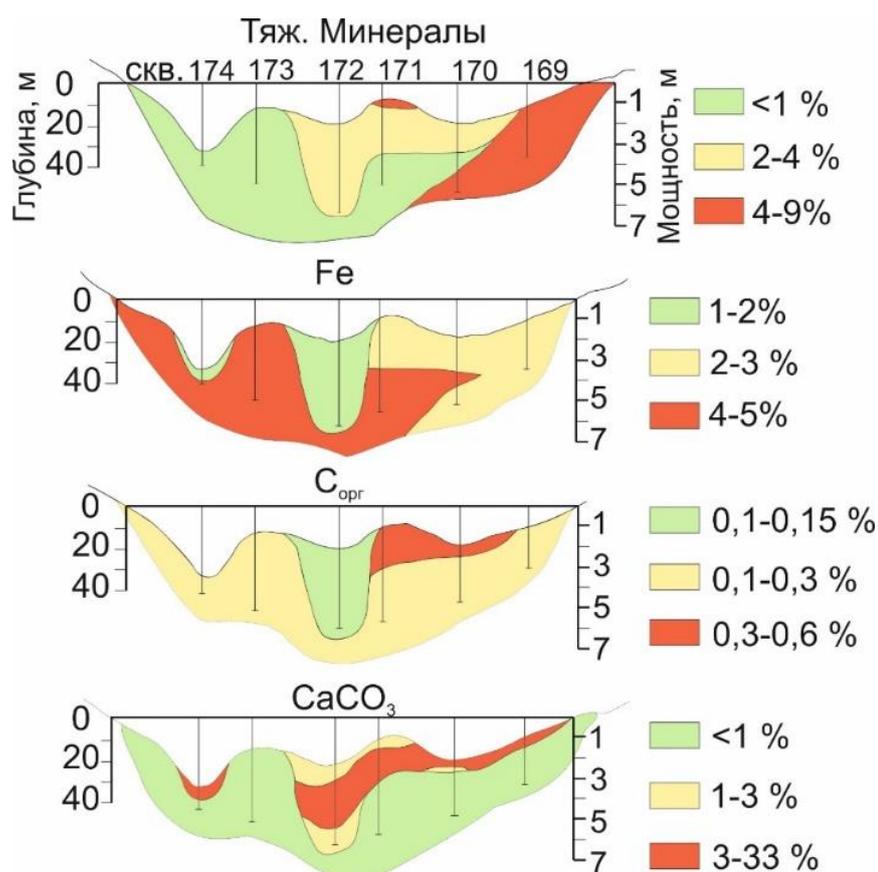


Рисунок 22. Схематический разрез Участка 1 до глубины 40 метров с содержанием органических и химических компонентов.

Распределение содержания органических и химических компонентов в исследуемых отложениях участка 1 также согласуется с особенностями условий их формирования и показаны на рисунках 11 А, 12, 14 А. Здесь отмечается повышенное содержание карбоната кальция в осадках, что связано с максимальной гидродинамической активностью в проливах (рис. 11 А, 13). В тоже время содержание в осадках аморфного кремнезема и углерода органического вещества по сравнению с осадками участков 2 и 3, отличается пониженными значениями (рис. 11 Б, 12).

Как отмечается в главе 4, геохимические особенности (содержание железа, марганца) осадков Онежского залива связаны в основном с гранулометрическим составом осадка, вызванного особым источником питания терригенным материалом. На фоне их невысоких концентраций, отмеченных на большой площади дна в Онежском заливе, на данном участке выделяется пятно содержаний железа на уровне 4%, связанное с размывом ледниковых отложений (к северу от о. Соловецкий), вследствие постоянных циркуляций водных масс, а также приливно-отливными течениями (рис 14 А, Б).

Характеризуя инженерно-геологические особенности осадков участка 1, на основании их изучения, следует отметить, что глинистые разности характеризуются невысокими (по сравнению с аналогичными осадками других участков) значениями влажности, что можно объяснить более грубозернистым их составом и очень небольшим содержанием органического вещества. Это объясняется тем фактором, что данные осадки хорошо аэрируются, находятся в окислительной обстановке, которая препятствует развитию сульфатредуцирующих бактерий. В тоже время, с глубиной наблюдается увеличение содержание глинистых частиц при уменьшении пылеватых и песчаных, что можно объяснить большим влиянием течения в верхней части осадков.

Формирование глинистых осадков более грубозернистых, чем на других исследуемых участках, объясняется повышенной гидродинамической активностью в этой части залива. Частое взмучивание слоя жидкого осадка приводило к замедленному осаждению глинистого материала, так как способность взвесей выпадать в осадок напрямую зависит от гидродинамических условий. В районах с очень активным гидродинамическим режимом осаждение элементов и биогенных компонентов, находящихся в толще воды в виде взвеси, практически не происходит. В осадке остается лишь та часть элементов, которая связана с инертными минеральными обломками (обломочная форма).

Анализируя влияние вещественного состава глинистых осадков водно-ледниковых на физические свойства, можно увидеть, что существует четкая зависимость увеличения влажности, влажности на границе текучести, влажности на границе раскатывания и числа пластичности от содержания глинистых частиц в осадке для водно-ледниковых отложений.

В тоже время, влияние вещественного состава на физическое состояние морских глинистых осадков показало, что оно обусловлено содержанием в них органического вещества. (рис. 9, 17 А, 18 А, 19 А; табл. 5, 7). Как видно из таблицы 5 и рисунка 17 А, морские глинистые осадки этого района характеризуются невысокими (по сравнению с аналогичными осадками других участков) значениями влажности, что можно объяснить более грубозернистым их составом и очень небольшим содержанием органического вещества (так как данные осадки хорошо аэрируются, находятся в окислительной обстановке, которая препятствует развитию сульфатредуцирующих бактерий). С глубиной увеличивается содержание глинистых частиц при уменьшении пылеватых и песчаных, что можно объяснить большим влиянием течения в верхней части осадков.

Анализируя полученные данные, видно: естественная и относительная влажность морских осадков указывает, что с глубиной происходит незначительное равномерное ее уменьшение. Также с глубиной повышается уплотнённость осадков, и они приобретают новые характеристики физического состояния. Это свидетельствует о нормальных диагенетических преобразованиях, что согласуется с теорией диагенетического изменения осадков субаквального происхождения (5.1.2). Характеризуя их общие инженерно-геологические особенности, важно учитывать их высокую влажность, низкую плотность, низкую прочность, что со строительной точки зрения относит их к достаточно слабым грунтам.

### Участок 3

Участок 3 (Сорокская губа) расположен в зоне, приуроченной к приустьевой части реки Выг. На подобных участках можно изучить формирование морских донных отложений, которое начинается с мобилизации осадочного вещества в водной толще, происходящей при взаимодействии внешних и внутренних геосфер. Как отмечают исследователи, зоны смешения речных и морских вод, в которых трансформируется осадочный материал (в результате речного стока), являются ключевым звеном геохимической миграции осадков и носят название маргинальных фильтров (Лисицын и др., 1983; Лисицын, 1994; Демина и др., 2005).

В переходной зоне (в данном случае - это приустьевой участок р.Выг) очень отчётливо проявляется влияние геохимического фактора на особенности состава и свойств грунтов, слагающих приустьевые участки. В этих осадках происходит значительная концентрация взвешенного материала различного происхождения, в том числе, и техногенного. В связи с этим, показатели вещественного состава материала, поступающего в моря и океаны с речным стоком, а затем преобразованного в осадок, являются тем индикатором, который будет контролировать все процессы, происходящие с системой «грунт-вода» на последующих этапах её существования (Корвет и др., 1997; Корвет, 1998).

На участке 3 отмечена сравнительно большая мощность глинистых отложений, состав и свойства которых были изучены и представлены в таблицах и графиках (рис. 8; табл. 9).

Его разрез до глубины опробования (6-7 метров) представлен толщей морских осадков (рис. 23).



 Граница между морской (I) и ледниково-морской (II) толщами

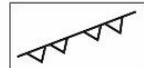
 Граница с базальным основанием

Рисунок 23. Схематический геологический разрез участка – Сорокская губа (I - граница между морской и ледниково-морской толщей, II - граница с базальным основанием).

На рисунке 24 представлен схематический разрез верхней части отложений участка 3 с показателями содержания органических и химических компонентов (по данным Невеского Е. Н.).

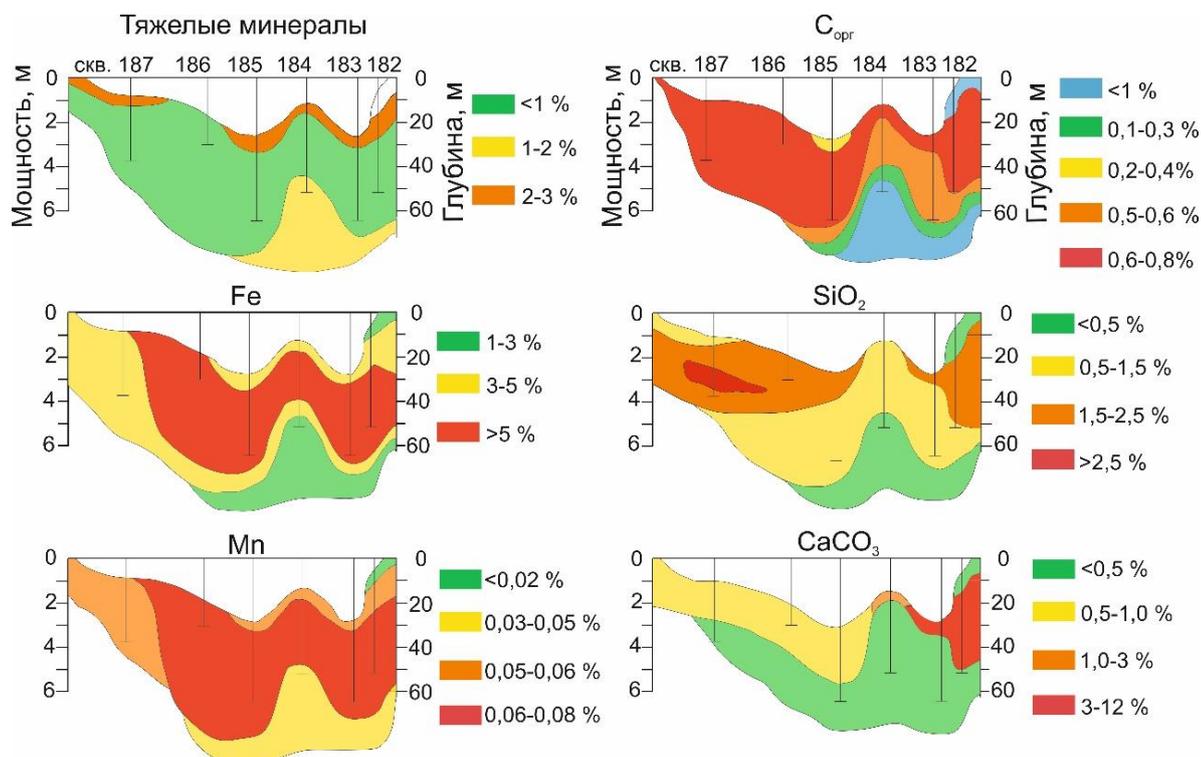


Рисунок 24. Схематический разрез верхней части отложений участка 3 с показателями содержания органических и химических компонентов (по данным Невесского Е. Н.).

Рассматривая особенности инженерно-геологических условий участка 3 необходимо отметить следующее. Как было показано в главе 2, основной неотектонической тенденцией Онежского залива в голоцене был подъем, который происходил неравномерно, но на участке Сорокская губа отмечены признаки неотектонического погружения дна. В связи с этим, подобные области, приуроченные к отрицательным морфологическим структурам, к которым и относится участок 3, занимают особое место по литологическому характеру разреза. Предположительно, участки дна Сорокской губы являются либо стабильными, либо опускающимися, что в совокупности с аллювиальным выносом реки Выг привело к накоплению здесь мощной толщи морских осадков (рис. 23).

Особые условия седиментации на этих участках (ослабленный гидродинамический режим, аллювиальный вынос рек) существенно повлияли и на распределение отдельных минеральных и химических компонентов в осадочной толще. Характеризуя особенности их распределения для участка 3, подтверждаемые рисунками (рис. 11 А, Б, 12, 14 А, Б) можно отметить следующее.

Для углерода органического вещества характерна связь с отложениями речных выносов рек Онеги и Выга, где наблюдается его повышенное содержание, достигающее 1,5-2%, что является максимальными значениями для всего Белого моря. Определение содержания углерода органического вещества (потери при прокаливании) в морских голоценовых осадках

приустьевое пространство реки Выг (Сорокская губа) в среднем составляет 5-7% и достигает максимальных значений 10-12% (рис. 29); в центральной части Онежского залива – 4-5% (рис. 28). Связь накопления органического вещества в устьях рек позволяет говорить о поступлении органического вещества в море через речной сток. Для аморфного кремнезема картина перед устьями рек Онега и Выг (Сорокская губа) также отмечается немного повышенные концентрации, что можно объяснить поступлением питательных веществ в приустьевые районы с речным стоком. Некоторое повышение содержания  $\text{CaCO}_3$ , наблюдаемое на этих участках, объясняется тем, что в приустьевых частях рек, в глинистых осадках в спокойной гидродинамической обстановке накапливаются раковины отмерших моллюсков, являясь источником  $\text{CaCO}_3$ .

Как можно видеть из рисунков (рис. 14 А, Б) по содержанию железа, и марганца в осадках участка 3, по сравнению с морскими осадками другим участков Онежского залива, являются исключениями. Fe до 8%, Mn до 0,08%. Пятна высоких содержаний железа (от 2 до 5% и даже больше 5%) расположены перед устьями рек Онега и Выга (Сорокская губа) и связаны с привносим железистых взвесей в составе материала, выносимого этими реками. Участки повышенных содержаний марганца почти полностью совпадают с таковыми у железа, и расположены перед устьями рек Выга (Сорокская губа – участок 3) и Онеги, что связано с речными выносами.

Основная масса осадочного материала в Сорокской губе поставляется речным стоком реки Выг. Данный участок является специфическим геохимическим барьером, в пределах которого переходит в донные осадки основная часть химических элементов, содержащихся в взвеси. (Корвет и др. 1997, Корвет, 1998). В результате и образуется повышенное содержание железа, марганца в составе морских осадков участка Сорокская губа. Известно, что при смешивании речных вод с морскими водами происходят разнообразные физико-химические явления и наблюдается коренная перестройка распределения элементов в водах: от речного к морскому. При этом наиболее важным показателем речного стока служит мутность или концентрация взвеси взвешенного материала (Лисицын и др., 1983). Ее количество резко возрастает в устьях рек, хотя Онежский залив относится к районам с малым содержанием взвеси. При этом в устье реки Выг (участок Сорокская губа), где возникают «илистые пробки», отмечены концентрации взвеси до 10 мг/л, по сравнению с 0,2-0,5 мг/л на других участках Онежского залива (Невеский и др., 1977).

Особенности геологического строения данного района сказались и на минеральном составе донных отложений. При этом для них характерен такой же минеральный состав, что и для осадков, формирующихся в более ранние этапы. Это свидетельствует о едином и неизменном для всего периода источника сноса. Тонкодисперсная часть осадков представлена

в основном гидрослюдой, в качестве примесей присутствуют закисное железо, кварц, органическое вещество, отмечается увеличение степени гидратации слюдистых минералов. Наблюдается обогащение осадков тяжелыми минералами, что обусловлено постоянным приносом материала с суши.

Рассмотрим наиболее вероятную схему формирования инженерно-геологических особенностей осадков на участке 3.

При попадании речных глинистых частиц в морскую среду происходит их коагуляция (Скопинцев, 1947). Частицы крупнее 0,002 мм при смешивании вод осаждаются по гидродинамическим законам. Частицы с меньшим размером, составляющие основную часть взвешенного речного материала (60-70%), удаляются из воды в результате коагуляции, вызываемой перезарядкой глинистых частиц или их нейтрализацией при попадании речных вод в новую среду, являющуюся сильным электролитом. В прибрежных водах происходит уменьшение отрицательного заряда частиц с увеличением солености.

Также, способностью к смене заряда с последующей коагуляцией обладают и органические коллоиды, ассоциированные с гидроокислами железа. На ранней стадии смешивания вод (соленость до 2 промилле), отмечается наиболее сильная коагуляция в результате нейтрализации отрицательного заряда взвешенных частиц катионами морской воды. При этом формируются коллоиды гидроокисного железа или железистые пленки на взвешенных частицах.

Важное влияние на формирование физико-механических свойств осадков оказывает соленость бассейна осадконакопления, предопределяя условия осаждения частиц и их коагуляцию. Анализ палеогеографических условий, существовавших во время накопления глинистых осадков в данном районе, показывает, что соленость бассейна осадконакопления не была достаточно высокой, концентрация электролитов была несколько выше в морском бассейне, чем в водно-ледниковом бассейне. При маленькой концентрации электролитов центры коагуляции приурочены к углам, ребрам, отдельным неровностям и повреждениям частиц. В результате коагуляции данного коллоидного раствора приводит к образованию беспорядочной сплошной структурной сетки и в отложившемся осадке отсутствует всякая ориентировка частиц (Ребиндер, 1949).

Так как терригенный тонкодисперсный материал, выносимый реками, имеет большие запасы свободной поверхностной энергии, благодаря этому, сформировавшийся на морском дне из этого материала осадок накапливает большие запасы влаги. Одновременно с осаждением терригенных частиц захватывается и органический материал в виде планктона водорослей. Интенсивной адсорбции вещества способствует присутствие в выносимом осадке повышенных содержаний железа. В результате такого процесса на дне моря в районе

приустьевых частей рек (участок Сорокская губа) формируются высокопористые очень слабые глинистые осадки.

Осадок характеризуется повышенной обводненностью и высокой пористостью. Влажность данного осадка зависит от содержания органического вещества (увеличение содержания органики приводит к увеличению влажности).

В гранулометрическом составе глинистых отложений участка отмечается повышенное содержание в их составе тонкодисперсных частиц, преобладающей фракцией является глинистая (50-80%), остальную часть составляют пылеватые, при незначительном содержании песчаных (рис. 8). До исследуемой глубины 6,00 метров не наблюдается изменений в гранулометрическом составе (рис. 10). С одной стороны, это может свидетельствовать о достаточно устойчивых условиях осадконакопления, обусловленных спокойным гидродинамическим режимом, с другой – что в переносимой рекой взвеси преобладали глинистые частицы, при попадании которых в морскую воду происходило свертывание тонкодисперсных частиц и последующая их коагуляция с образованием коагелей. Рассматривая геологическое строение прилегающей суши, можно отметить, что здесь широко развиты глинистые отложения, которые прослежены по долинам рек, впадающих в Онежский залив, в том числе и в долине реки Выг.

Оценка влияния вещественного состава на физическое состояние морских отложений, показал, что оно обусловлено содержанием в них органического вещества, что демонстрируют графики изменения их физических свойств от содержания органического вещества, достигающего значения до 12% при прокаливании (рис. 17 Б, 18 Б, 19 Б; табл. 5, 9).

Проведенный анализ изменений показателей физического состояния морских глинистых осадков приустьевой части реки Выг указывает на четкую их зависимость от содержания органического вещества. Они имеют достаточно высокую естественную влажность (от 55 до 144%), при этом она всегда больше предела влажности на границе текучести. Значения показателя относительной влажности превышает единицу, то есть все исследованные осадки в избытке содержат свободную воду. С увеличением содержания органического вещества в них значительно уменьшается плотность и увеличивается значение естественной влажности на границах текучести и раскатывания.

Показатель коллоидной активности, изменяющийся в пределах от 0,38 до 1,47, показывает, что здесь встречаются неактивные слабогидрофильные осадки, нормально активные осадки и осадки с высокой коллоидной активностью.

Таким образом можно сделать выводы, что основными факторами, влияющими на образование осадка в приустьевых частях реки Онега и Выга (участок Сорокская губа)

являются: неотектоническое опускание участков в голоцене, ослабленный гидродинамический режим и аллювиальные выносы рек.

Отмеченные инженерно-геологические особенности этих глинистых отложений показывают, что они являются высокодисперсными отложениями слабой степени литификации. В них наблюдается уменьшение влажности и повышение плотности с глубиной, что согласуется с теорией диагенетического изменения осадков субаквального происхождения и свидетельствует об их диагенетических преобразованиях.

#### Участок 2

Участок 2 расположен в Центральной части Онежского залива, специфической чертой осадконакопления которого является, как и на участке 3, ослабленный гидродинамический режим. Отличие заключается в том, что в разрезе этого участка были вскрыты и водно-ледниковые и морские осадки, в отличие от участка 2, где ни одна из колонок не дошла до кровли водно-ледниковых отложений (рис. 25).

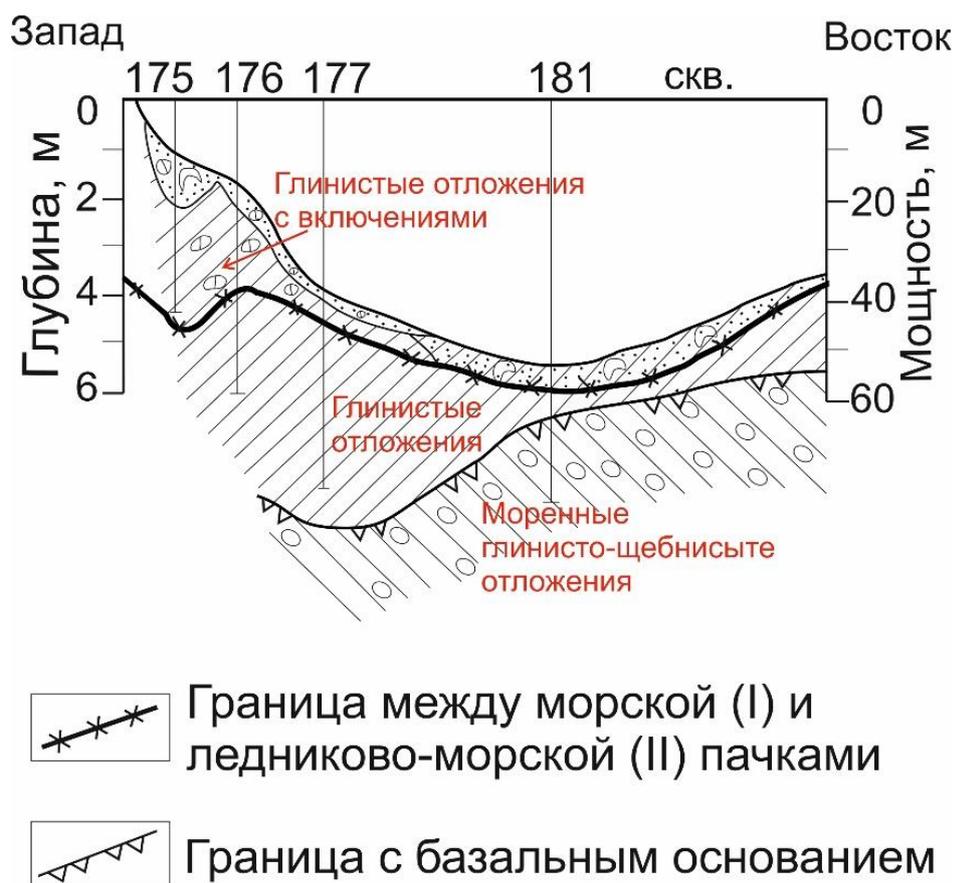


Рисунок 25. Схематический геологический разрез участка – Центральная часть Онежского залива (I - граница между морской и ледниково-морской толщей, II - граница с базальным основанием).

Это отразилось и на процессах накопления глинистых осадков в этой части Онежского залива, и исследования показали, что по составу и свойствам сформированные осадки в значительной степени схожи с осадками, развитыми в районе Сорокской губы.

На рисунке 26 представлен схематический разрез верхней части отложений с показателями содержания органических и химических компонентов (по данным Невесского Е. Н.).

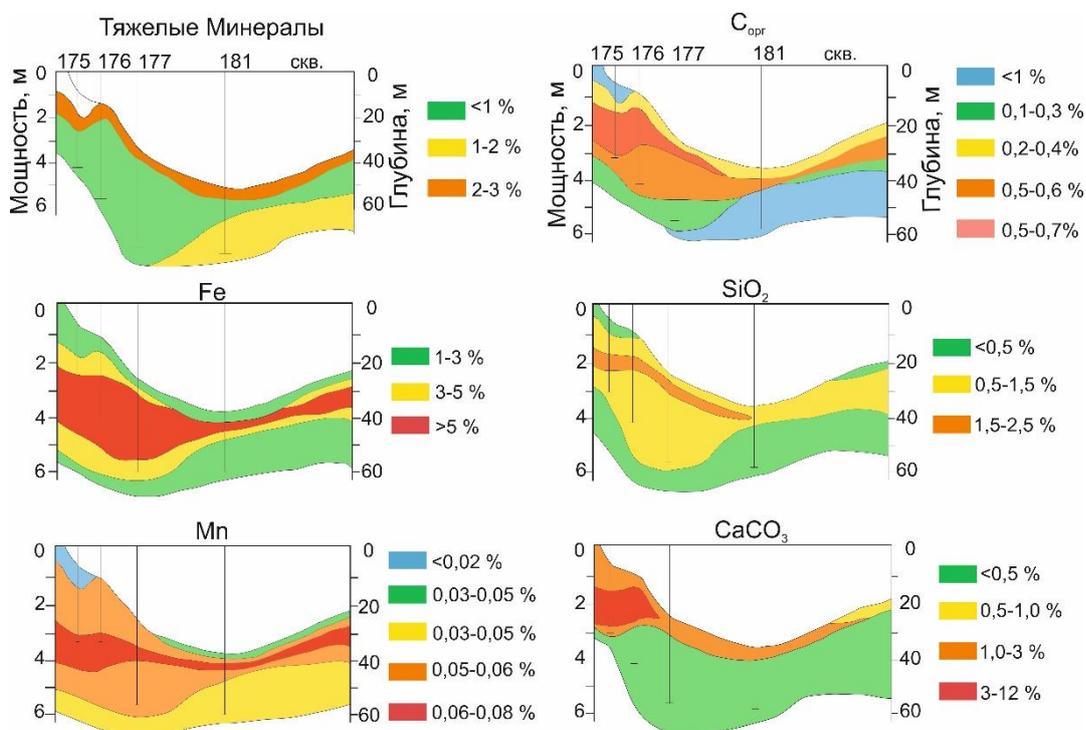


Рисунок 26. Схематический разрез Участка 2 до глубины 60 метров с содержанием органических и химических компонентов.

Распределение содержание органических и химических компонентов в исследуемых отложениях участка 2 согласуется с особенностями условий их формирования и показаны на рисунках (рис. 11 А, Б, 12, 14 А, Б). Здесь отмечают низкие содержания карбоната кальция в осадках (<1 %), что связано с наименьшей гидродинамической активностью на участке 2 (рис. 11 А).

Содержание в осадках аморфного кремнезема невелико (0,5-1,0 %), что можно связать с меньшим развитием здесь диатомовой флоры и ослабленным гидродинамическим режимом, так как отсутствует поступление питательных веществ (фосфаты, нитраты) с речным стоком или движением водных масс (рис. 11 Б). Углерод органического вещества характеризуется повышенными значениями 0,5-1,0 %. Это, по-видимому, связано с слабой гидродинамической активностью, а также с повышением глубины залива в данной области (рис. 12).

Геохимические особенности (содержание железа, марганца) исследуемых глинистых осадков также, как и для всех глинистых осадков Онежского залива, связаны в основном с гранулометрическим составом осадка (рис. 14 А, Б).

Как отмечалось в главе 4.1.2 гранулометрический состав водно-ледниковые отложения (ледниково-озёрные и ледниково-морские) характеризует их как глины и суглинки (рис. 7).

Гранулометрический состав морских отложений исследуемых участков в значительной степени обусловлен влиянием ослабленного гидродинамического режима, существовавшего в период седиментации на участках 2 и 3, что выразилось в накоплении в их пределах сходных по гранулометрическому составу морских осадков. Здесь формируются глинистые и суглинистые разности, в которых часто отмечаются примеси органического вещества (рис. 8).

Изучение физических свойств глинистых осадков этого участка показало, их значения сходны со свойствами осадков участка 3 и приведены в таблицах (табл. 5, 8).

Как видно из рисунка 28 для морских тонкозернистых осадков влажность в верхнем слое составляет от 100 до 130%. С глубиной она несколько снижается и на глубине после 200 см составляет 70-80%. Наблюдающаяся иногда увеличение влажности с глубиной может быть связано с возрастанием содержания Сорг. Плотность при этом колеблется в пределах 1,4-1,6 г/см<sup>3</sup>.

Наблюдается изменение значения влажности осадков (рис. 29), которая имеет тенденцию закономерно уменьшаться с глубиной, при относительно однородном составе. Также повсеместно с глубиной уменьшается коэффициент пористости, значения которого всегда больше единицы, максимальное значение достигает 9,81, а в среднем составляет 6. Это указывает на очень малую уплотненность осадка, особенно в верхних слоях. Показатель относительной влажности всегда больше единицы (табл. 8). Показатель коллоидной активности в среднем составляет 0,48, что говорит о слабой коллоидной активности и слабом потенциале набухания.

Для оценки прочностных характеристик определялось условное предельное сопротивление сдвигу –  $P_m$  (пластическая прочность) методом пенетрации, посредством погружения в грунты конуса. Результаты определений характеризует исследуемые отложения, как грунты очень низкой прочности (табл. 13). Индексы чувствительности ледниково-морских и морских глинистых отложений характеризуют данные отложения как чувствительные и средне чувствительные и указывают на значительно влияние нарушения естественного сложения и структурных связей в них на консистенцию и прочность (табл. 13).

Таким образом, оценка физического состояния и механических свойств всех исследуемых отложений, показала, что они являются высокодисперсными отложениями слабой степени литификации.

Схемы формирования инженерно-геологических особенностей осадков на участках 2 и 3 в значительной степени схожи и подробно рассмотрены выше на примере осадков участка 3. Происходящие в них процессы свидетельствует об их диагенетических преобразованиях.

Таким образом, проведенные исследования формирования физико-механических свойства отложений на исследуемых участках Онежского залива, определили различие в основных факторах, влияющих на этот процесс. Значительно влияние оказали особенности неотектонических движений, таяние ледника, трансгрессия Мирового океана гидродинамический и гидрохимический режим. Сложное сочетание этих факторов способствовало формированию осадков различного гранулометрического состава и физико-механических свойств. Изучение глинистых отложений исследуемых участков, как водно-ледниковых, так и морских показало, что они являются высокодисперсными отложениями, находящимися на самой ранней стадии формирования. Изученные в них процессы преобразования с глубиной, свидетельствует об их диагенетических преобразованиях.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной работе на основе изучения вещественного состава, физического состояния, физико-механических свойств донных отложений исследуемых участков Онежского залива, были выявлены основные факторы, влияющие на их формирование.

Проведённые исследования показали, что процесс седиментации на исследуемых участках залива отличается, и это сказалось на формировании в их пределах различных групп осадков со своим вещественным составом, строением и свойствами. Анализ влияния различных компонентов (органических и химических) на физическое состояние и свойства отложений продемонстрировал особенности преобразования свойств отложений с глубиной и дал оценку характера их диагенетических преобразований. Исходя из этого, в работе рассмотрены схемы формирования физико-механических свойства отложений, которые их слагают.

Особое внимание в работе уделено формированию морских глинистых отложений на участке, приуроченном к приустьевой части реки Выг, являющегося переходной зоной между сушей и морем, так как в этих осадках происходит значительная концентрация взвешенного материала различного происхождения, в том числе, и техногенного, что позволяет оценить возможность их загрязнения определёнными компонентами.

Таким образом, оценка инженерно-геологических особенностей исследуемых отложений Онежского залива Белого моря даёт возможность определить их взаимодействие с проектируемыми сооружениями, что имеет практическое значение. Рассмотренные схемы формирования физико-механических свойства отложений, их диагенетического преобразования, могут быть использованы на приустьевых участках различных районов Белого моря.

## Литература

### Монографии:

- 1) Геология СССР. Т. XXXVII. Карельская АССР. Часть I. геологическое писание М.Гсоттоптехиздат.1960. 740с.
- 2) Корвет Н.Г. Шельф Белого моря. Инженерная геология СССР. Шельфы СССР. /под ред. Джанджгавы К.И., Комарова И.С., Неизвестнова Я.В. – М.: Недра, 1990. С.51-58.
- 3) Левкин Ю.М., Серба Б.И, Самохвалов В.А, Антонов С.А.//Грунты Карелии. Петрозаводск.2002. 2012с.
- 4) Леонтьев О.К. Основы геоморфологии морских берегов. М.: МГУ, 1961, 418с.
- 5) Логвиненко Н.В. Морская геология. Л.: Недра, 1980, 343 с.
- 6) Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Специальная инженерная геология. Л., Недра, 1978. 496с.
- 7) Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная петрология. Л. Недра. 1984.511с.
- 8) Невесский Е.Н., Медведев В.С., Калинин В.В. Белое море - седиментогенез и история развития в голоцене. М: Наука, 1977. 235 с.
- 9) Неизвестнов Я.В., Корвет Н.Г., Зархидзе В.С. История формирования и закономерности пространственной изменчивости инженерно-геологических условий шельфа. Инженерная геология СССР. Шельфы СССР /под ред. Джанджгавы К.И., Комарова И.С., Неизвестнова Я.В. – М.: Недра, 1990.С.58-70.
- 10) Ребиндер П.А., Конспект общего курса коллоидной химии. М. МГУ. 1949. 112с.
- 11) Фролов В.Т. Генетическая типизация морских отложений. М.Недра.1984.222с.

### Статьи:

- 1) Возовик Ю.И. Пространственно - временные соотношения факторов осадкообразования на шельфе. Климатическая зональность и осадкообразование. М. Наука.1981. С.53-61
- 2) Демина Л.Л., Филиппева К.В., Шевченко В.П. и др., Геохимия донных осадков в зоне смешения реки Кемь (Белое море). Океангеология. 2005, том 45, №6, с. 1-15.
- 3) Джиноридзе Р.Н., Кириенко Е.А., Калугина Л.В. Стратиграфия верхнечетвертичных отложений северной части Беого моря. Позднечетвертичная история и седиментогенез окраинных и внутренних морей. М. Наука. 1979. С.34-39.

- 4) Дудлер И.В., Воронцов Е.А., Лярский С.П. Приоритетные направления развития инженерной геологии в XXI веке. Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. М. Номер 8-2. 2015 г.С.194-200.
- 5) Захаров М.С., Каган А.А., Корвет Н.Г., А.А., Москаленко П.Е., Неизвестнов Я.В., Рыбалко А.Е. Инженерно-геологические условия гляциальных шельфов Беломорско-Балтийской депрессии. Зап. ЛГИ т.118. 1989. С.55-63.
- 6) Зеленковский П.С., Холмянский М.А., Анохин В.М., Опекунов А.Ю. Формирование современных донных отложений водных объектов северо-запада России. Восемнадцатая ежегодная конференция «Сергеевские чтения» памяти академика Е.М.Сергеева. «Инженерная геология и геоэкология». Фундаментальные проблемы и прикладные задачи. М.2016. С.45-48.
- 7) Иванова Г.А., Рыбалко А.Е., Спиридонов М.А. Геохимия поровых вод донных отложений арктических морей. Гидрогеологические и мерзлотные условия Арктического континентального шельфа Евразии. Л.: ПГО Севморгеология, 1982. С. 52 – 61.
- 8) Ионин А.С., Медведев В.С., Павлидис Ю.А. Типы морфолитогенеза на шельфах мирового океана// Континентальные и островные шельфы. Рельеф и осадки. М.: Наука, 1981. С.5-33
- 9) Калинин В.В. Железо в осадках Белого моря. Проблемы геологии шельфа. М. Наука .1975. С.91-95.
- 10) Корвет Н.Г., Холмянский М.А., Шрёдер Н. Геофизические и инженерно-геологические исследования при изучении барьерных зон на шельфе // Российский геофизический журнал.7-8, 97. С-Петербург. ВИРГ-Рудгеофизика. 1997. С.82-96.
- 11) Корвет Н.Г. Инженерно-геологическая и геоэкологическая оценка приустьевых участков Онежского залива. // Сб.: Надёжность оснований транспортных сооружений. СПб. Изд-во ПГУПС.1998.). С.68-77.
- 12) Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов// Океангеология. 1994. Т. 34. №5. С. 735-747.
- 13) Лисицын А.П., Дёмина Л.Л., Гордеев В.В. Геохимический барьер река-море и его роль в осадочном процессе. Биогеохимия океана. М.Наука. 1983.С.32-48.
- 14) Логвиненко Н.В. Морская геология. Л.: Недра, 1980.343 с.
- 15) Павлидис Ю.А., Бабаев Ю, М, Ионин А.С. и др. Особенности полярного морфолитогенеза на шельфе северо-востока СССР. Континентальные и островные шельфы. Рельеф и осадки. М.: Наука, 1981. С.33-96.

- 16) Прочухан Л.П. Инженерно-геологические условия строительства плотин на ледниковых отложениях в Карелии и на Кольском полуострове. Геология плотин. Т.V/М.Энергия.1967). С. 188-206.
- 17) Рыбалко А.Е., Спиридонов М.А., Спиридонова Е.А., Москаленко П.Е. Четвертичные отложения Онежского залива и основные черты его палеогеографии в плейстоцене-голоцене. – В кн.: Комплексные морские геолого-геофизические исследования внутренних морей гляциальных шельфов. Л., 1987.С. 38-52. (ВСЕГЕИ).
- 18) Скопинцев Б.А. О коагуляции гумусовых веществ речного стока в морской воде // Изв. АН СССР. Сер. геогр. и геофиз. 1947. Т. II. №1. 144 с.
- 19) Спиридонов М.А., Рыбалко А.Е., Захаров М.С., Корвет Н.Г. Особенности геологического развития гляциальных шельфов в позднем плейстоцене-голоцене и характерные черты формирования состава физико-механических свойств осадочного покрова (на примере Баренцева, Белого и Балтийского морей). Труды Международного симпозиума «Геология Чёрного и Балтийского морей. Изучение геологической истории и процессов современного осадконакопления». Киев, Наукова Думка. 1984. С.152-157.

#### **Фондовые материалы:**

- 1) Боровик О.В., Руссиян Г.Н. Технический отчёт о производственных инженерно-геологических изысканиях на объекте. Фонды института Ленморниипроект. Л.1964.
- 2) Бутылин В.П. и др. Морские геологические исследования с целью разработки и совершенствования инженерно-геологических методов при геологической съёмке шельфа. Фонды ВСЕГЕИ. Л. 1982.
- 3) Рыбалко А.Е. и др. Опытнo-производственные морские геологические работы в среднем и крупном масштабах с целью апробации методики геологической съёмки и поисков полезных ископаемых на прибрежном шельфе северо-западных морей СССР. Фонды ВСЕГЕИ. Л., 1979

#### **Нормативные документы:**

- 1) ГОСТ-25100-2011 ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация.

## Приложения

Таблица 15.

Состав поровой воды ледниково-водных отложений Онежского залива (мг – экв/л) (по Ивановой Г.А.)

Состав и геохимические коэффициенты	Морская вода в придонном слое	Вода из слоя на глубине от дна, см	
		30 – 40	120 – 140
		Cl <sup>-</sup>	443,35
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	42,75	44,85	24,73
Alk	2,076	2,436	2,776
Анионов (мг – экв/л)	488,176	488,546	486,466
Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	381,77	386,54	386,04
Ca <sup>2+</sup>	16,61	16,82	17,80
Mg <sup>2+</sup>	89,80	85,19	82,51
Катионов (мг – экв/л)	488,18	488,55	486,44
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> / Cl <sup>-</sup>	0,096	0,102	0,102
Alk / Cl <sup>-</sup>	0,0047	0,0065	0,0063
Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> / Cl <sup>-</sup>	0,861	0,876	0,879
Ca <sup>2+</sup> / Cl <sup>-</sup>	0,037	0,088	0,040
Mg <sup>2+</sup> / Cl <sup>-</sup>	0,202	0,183	0,187
Alk / SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,048	0,054	0,062
Ca <sup>2+</sup> / Mg <sup>2+</sup> /	0,198	0,197	0,216
Ca <sup>2+</sup> / Na <sup>+</sup>	0,0436	0,0435	0,0463

Таблица 16

Химический состав поровой воды современных морских осадков

Интервал, см	pH	Eh, mv	Формула Курлова
20 – 40	7,32	-188	M <sub>30</sub> $\frac{Cl\ 90,5\ SO_4\ 8,3\ HCO_3\ 1,1}{(Na + K)78,9\ Mg17,6\ Ca3,3}$
140 – 160	7,50	-159	M <sub>28,7</sub> $\frac{Cl\ 90,0\ SO_4\ 6,7\ HCO_3\ 2,3}{(Na + K)79,6\ Mg17,7\ Ca3,3}$

Таблица 17.

Состав поровой воды в морских голоценовых осадках Онежского залива (мг – экв/л) (по Ивановой Г.А.)

Состав и геохимические коэффициенты	Морская вода в придонном слое	Вода из слоя на глубине от дна, см		
		20 – 40	80 – 100	140 – 160

Cl <sup>-</sup>	468,23	470,32	467,18	466,14
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	48,21	43,28	37,86	34,36
Alk	2,029	5,932	6,083	12,32
Анионов (мг – экв/л)	518,669	519,532	514,023	512,81
Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	408,73	409,74	407,34	407,85
Ca <sup>2+</sup>	16,22	17,36	16,32	16,82
Mg <sup>2+</sup>	91,62	92,06	87,76	87,55
Катионов (мг – экв/л)	518,57	519,15	513,42	512,22
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> / Cl <sup>-</sup>	0,103	0,062	0,061	0,074
Alk / Cl <sup>-</sup>	0,004	0,013	0,019	0,026
Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> / Cl <sup>-</sup>	0,672	0,671	0,671	0,671
Ca <sup>2+</sup> / Cl <sup>-</sup>	0,039	0,037	0,039	0,036
Mg <sup>2+</sup> / Cl <sup>-</sup>	0,195	0,196	0,187	0,187
Alk / SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,044	0,137	0,237	0,358
Ca <sup>2+</sup> / Mg <sup>2+</sup> /	0,198	0,188	0,208	0,192
Ca <sup>2+</sup> / Na <sup>+</sup>	0,044	0,042	0,045	0,041

Таблица 18.

Щелочной резерв поровых вод донных осадков (по Ивановой Г.А.)

-	Alk, мг – экв /л	
	Пределы значений	Среднее
m IV	2,47 – 12,38	6,9
mg III	2,22 – 7,03	3,1
g III	2,43 – 3,27	2,8

Таблица 19.

Величина щелочного резерва и содержание органического углерода в донных осадках (по Ивановой Г.А.)

№ ст	Горизонт, см	Alk, мг – экв /л	C <sub>орг</sub>
------	--------------	------------------	------------------

17	0 – 30	2,86	0,24
	60 – 90	3,29	0,34
	150 – 170	3,34	0,37
37	0 – 20	3,72	0,79
	135 – 150	9,27	1,05
	230 – 250	10,32	1,32
28	10 – 30	2,75	0,32
	130 – 150	3,40	0,41
	190 – 210	3,65	0,45

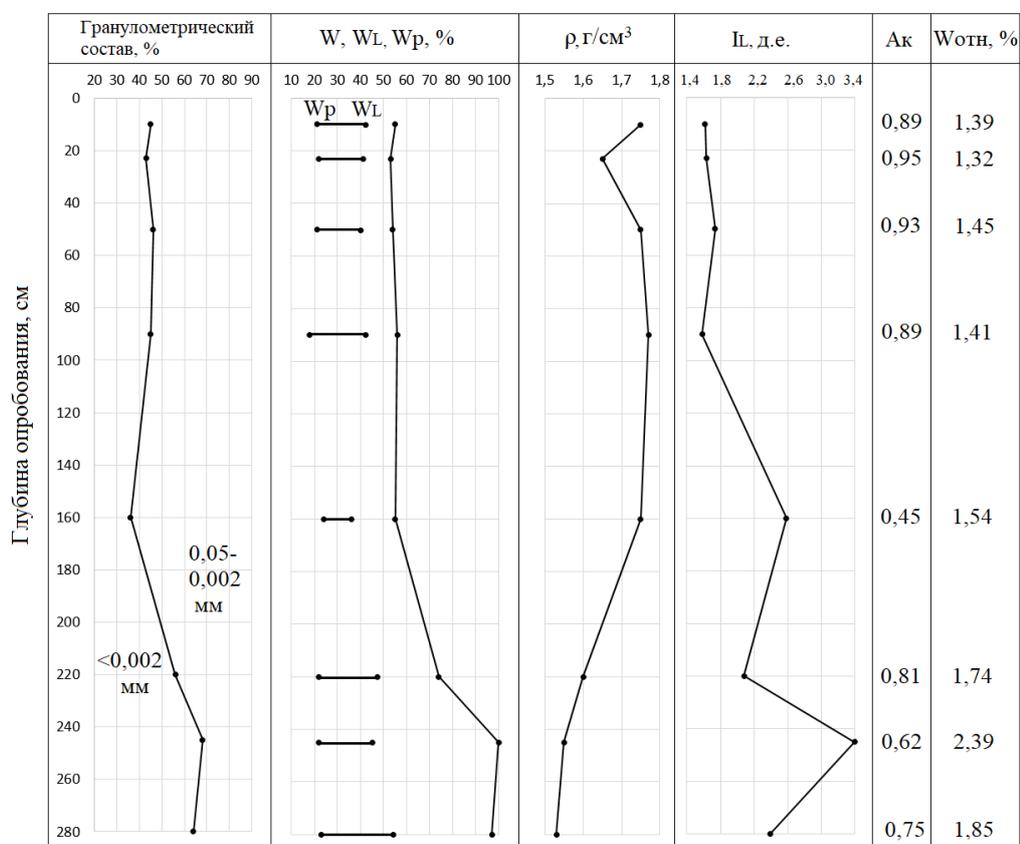


Рисунок 27. Графики изменения гранулометрического состава, влажности и плотности морских осадков участка 1 – Западно-Соловецкая Салма

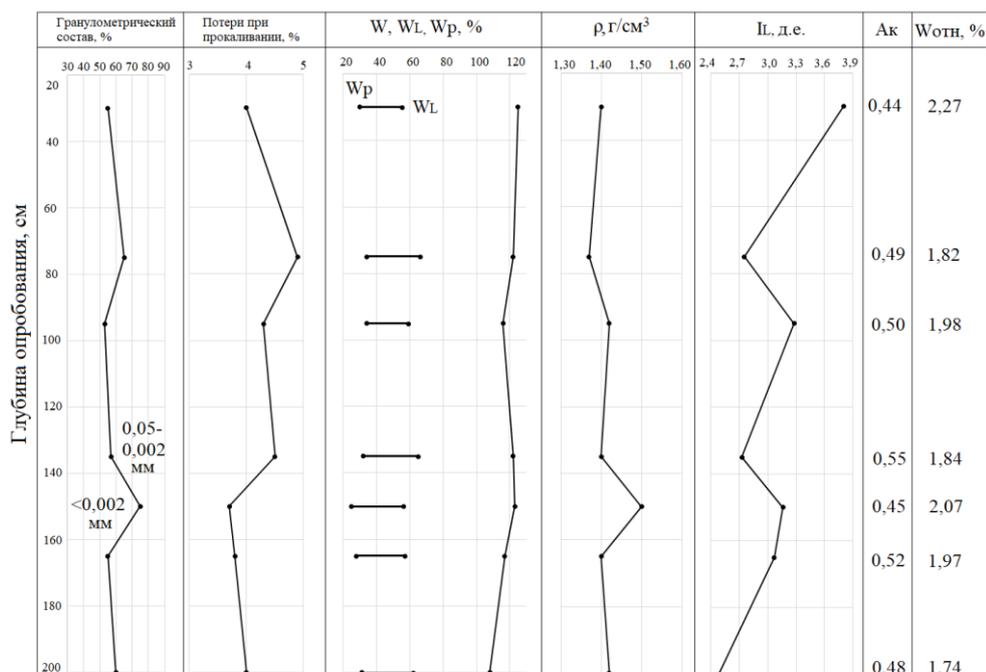


Рисунок 28. Графики изменения гранулометрического состава, влажности и плотности морских осадков участка 2 – Центральная часть Онежского залива.

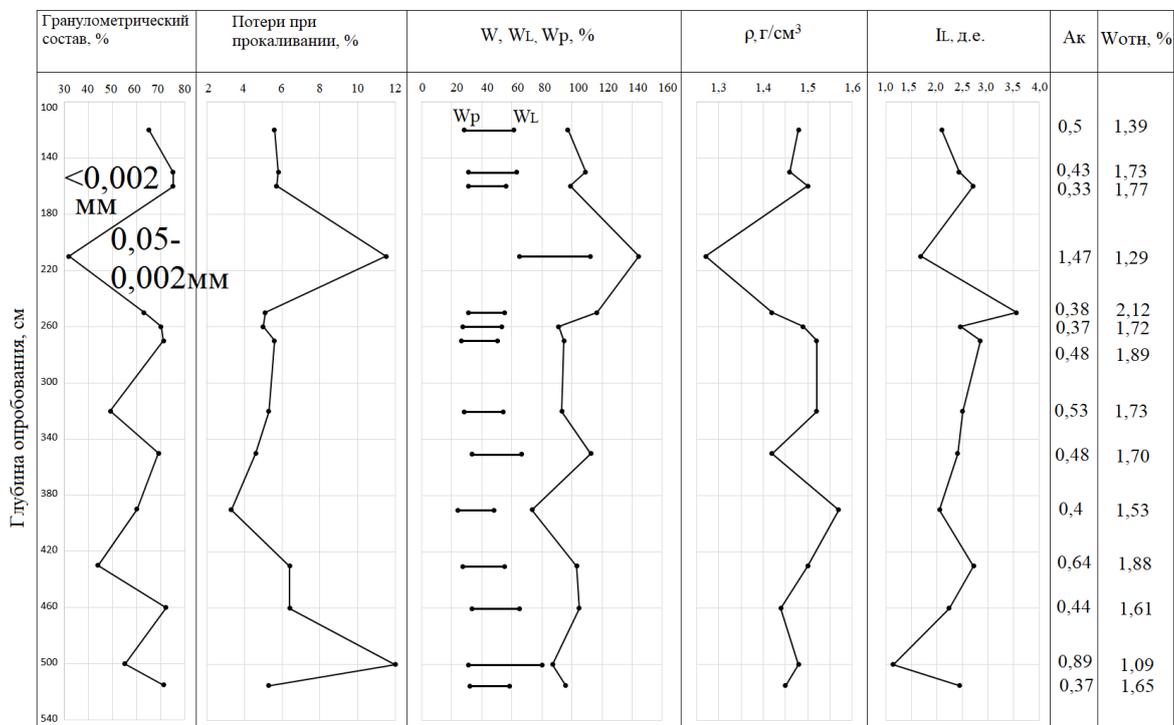


Рисунок 29. Графики изменения гранулометрического состава, влажности и плотности морских осадков участка 3 – Сорокская губа.